



2021 © Editorial Instituto Antioqueño de Investigación
Medellín - Antioquia

Edgar Serna M. (Editor)

Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad

Edgar Serna M. (Editor)

Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad

ISBN: 978-958-53278-4-9

Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad / editor, Edgar Serna M. -- Medellín:
Instituto Antioqueño de Investigación, 2021.
p. – (Ingeniería y Ciencia)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-53278-4-9

1. Ciencias - Investigaciones 2. Ciencias sociales - Investigaciones 3. Ciencias naturales - Investigaciones I. Serna M.,
Edgar, editor ed. II. Serie

CDD: 300.72 ed. 23

CO-BoBN- a1077814

Investigación Científica

ISBN: 978-958-53278-4-9

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.5139646>

Hecho el Depósito Legal Digital

Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad

Serie: Ingeniería y Ciencia

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Publicación electrónica gratuita

Edición 1: julio 2021

Copyright © 2021 Instituto Antioqueño de Investigación IAI™. Salvo que se indique lo contrario, el contenido de esta publicación está autorizado bajo Creative Commons Licence CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación es Marca Registrada del *Instituto Antioqueño de Investigación*. El resto de marcas mencionadas en el texto pertenecen a sus respectivos propietarios.

La información, hallazgos, puntos de vista y opiniones contenidos en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Instituto Antioqueño de Investigación IAI; no se garantiza la exactitud de la información proporcionada en este texto.

Ni los autores, ni la Editorial, ni el IAI serán responsables de los daños causados, o presuntamente causados, directa o indirectamente, por el contenido en este libro.

Maquetación: Instituto Antioqueño de Investigación IAI

Diseño, edición y publicación: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Compilador: Edgar Serna M.

Financiador de la publicación: Instituto Antioqueño de Investigación

Instituto Antioqueño de Investigación IAI

Medellín, Antioquia

<http://fundacioniai.org>

contacto@fundacioniai.org

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

<http://fundacioniai.org/index.php/editorial.html>

editorial@fundacioniai.org



Contenido

Prólogo	6
CIENCIAS NATURALES	
Plantas medicinales comercializadas en una zona altoandina del Perú como patrimonio biocultural <i>Walter Wilfredo Ochoa-Yupanqui y Maritza Rodríguez-Lizana</i>	9
Análisis al uso de combustibles limpios para reducir la contaminación del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA, Colombia <i>Ángel Aristides Vargas Velásquez</i>	17
Degradación de compuestos fenólicos presentes en residuos líquidos agroindustriales mediante fotocátalisis heterogénea <i>Alejandra Gallegos-Alcaíno, Nathaly Robles-Araya, Camila Avalos Briceño, Alexander Alfonso-Álvarez, Adriana Mera Benavides, Carlos Rodríguez, Norma Sánchez-Flores y Francisco Romero-Salguero</i>	27
Desarrollo de un reactor para la producción automatizada de películas delgadas de óxido de zinc por evaporación reactiva asistida por plasma, para ser usadas en la fabricación de celdas solares de área grande <i>Julián Peña-Bermúdez, Gerardo Gordillo-Guzmán y Juan Piña-Jaramillo</i>	40
<i>Agroclybe pediades</i> como bioindicador fúngico: Indicios de sensibilidad al herbicida Paraquat <i>Selena Silva-León, Alba Mónica Montiel González, Laura Verónica Hernández Cuevas y Jaime Marcial Quino</i>	52
Residuo de café transformado en bioplástico <i>Paulina Borunda Baquera, Angélica Hernández Quintero y Elsa Marcela Ramírez López</i>	59
Estudio de la propagación de epidemias en una red de libre escala tipo Barabasi Albert <i>Alexander Santos Niño, Angie Camila Urrego Mendivelso y Tatiana Milena Hernández Novoa</i>	73
Comportamiento micromagnético de nanodiscos de Fe en función del espesor <i>Mauricio Galvis Patiño, Johans Restrepo Cárdenas y Hernán David Salinas</i>	82
CIENCIAS HUMANAS	
Vivencias de afrontamiento para mejorar la calidad de vida en cuidadores primarios de pacientes en condición de discapacidad que generen dependencia <i>Greys Carolina Otero de Oro, Camila Vanessa Daza Alvernia, Lesby Johanna Lora Carrillo y Delia Karina Meza Rojas</i>	93
Discursos filosóficos en las universidades públicas mexicanas: Un análisis exploratorio <i>Ricardo Lindquist Sánchez y Rodolfo García Galván</i>	102
Elementos de política, normativa y prospectiva para un nuevo modelo educativo en México <i>Rodolfo García Galván</i>	115
Comprensión del concepto de derivada a partir de las construcciones de Newton y de Leibniz en el marco de la Enseñanza para la Comprensión: Un estudio de caso de profesores en formación <i>América María Cardona Arias y Zaida Margot Santa Ramírez</i>	131
Análisis de los estilos de aprendizaje en estudiantes de formación en línea mediante el test de dominancia cerebral: Un caso de estudio <i>Gabriela Bohórquez Ramírez y Franklin Santiago Quirós</i>	149
CIENCIAS DE LA VIDA	
Prueba rápida y PCR Covid-19 vs score de indicación TR PCR como método diagnóstico y de evolución en la pandemia de coronavirus <i>Rommer Alex Ortega Martínez Y Patricio Javier Correa Marfull</i>	162

Caracterización de la presencia de <i>plaquetopenia</i> , <i>leucopenia</i> y aumento del hematocrito en la evolución y gravedad de los pacientes con diagnóstico de dengue <i>Rommer Alex Ortega Martínez, Liliana Alejandra Cáceres Sánchez y Jacqueline Borda de Abularach</i>	172
Análisis de la actividad antagónica de <i>Trichoderma</i> sp. sobre <i>Fusarium graminearum</i> , agente causal de fusariosis en trigo (<i>Triticum aestivum</i>) <i>Kate Manuela López-Hernández, Rubén Pérez-Pérez, Salvador Orozco-Montes y Mauricio Nahuam Chávez-Avilés</i>	184
Péptidos antimicrobianos LL-37 y sus derivados frente a microorganismos de importancia clínica: Una alternativa a la resistencia microbiana <i>Paola Santos, Liliana Constanza Muñoz, Claudia Andrea Cruz, Jeannette Navarrete y Gladys Pinilla</i>	197
Validez predictiva del porcentaje de grasa corporal estimado por equipo de bioimpedancia tanita comparado con dilución de óxido de deuterio en escolares costarricenses <i>Juan Diego Zamora Salas y Adriana Lacé Murray</i>	216
Estabilidad a pH y temperatura de proteasas producidas por bacterias aisladas de sedimento marino <i>Nélida Milly Otiniano García, Santiago Benites Castillo, Jessica Vicuña Villacorta, Helí Miranda Chávez y Heber Robles Castillo</i>	224
CIENCIAS SOCIALES	
Rasgos de la personalidad, habilidades y competencias que las personas poseen y ejecutan en los procesos de negociación: Una revisión de la literatura <i>Gabriel Jaime Saldarriaga Ruiz, Andrés Felipe Londoño Vélez, Carlos Alberto Ramírez Cárcamo y Caterin Bibiana Giraldo Giraldo</i>	236
La gestión de la calidad y su efecto en el desarrollo de la exploración organizativa. Una investigación empírica en la industria agroalimentaria ecológica <i>Aldo Giovanni Caypa Altare y María D. Moreno-Luzón</i>	251
El negro en Colombia: Una traza de violencia que inició en la colonia y continúa en la época contemporánea <i>Jesús Guillermo Banquez Mendoza, Marina Begoña Martínez González y José Amar Amar</i>	266
Afectaciones por el ingreso del Covid-19: Acciones para detener la pandemia y población de riesgo en la ciudad Puerto de Manzanillo, México <i>Lilia Susana Padilla y Sotelo y Rosa Alejandrina De Sicilia Muñoz</i>	275
Estudio comparativo de las emociones ambientales y la experiencia espacial arquitectónica en el Perez Art Museum en Miami y el edificio de la fundación Louis Vuitton en París <i>Mauricio Cabas</i>	292
Propuesta de proyecto de integración regional para Centroamérica <i>Venancio Gerardo Calva Olmos y Mario Pacchiano de la Garza</i>	304
Análisis prospectivo para la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad ante fenómenos naturales <i>María del Rocío Guadalupe Morales Salgado, Fabián Leonardo Yory Sanabria, Juan Pablo Salazar Giraldo y Manuel Alberto Pérez Coutiño</i>	318
Resiliencia de un territorio masewal en Cuetzalan del Progreso, México, ante la presión de urbanización <i>Jazmín Arias Hernández</i>	330
Formas, sonidos e imágenes en la ciudad discapacitada: Una aproximación a la percepción del espacio y su función social <i>Andrea del Pilar Arenas, Juan Manuel Aldana Porras y Edwin Dorance Garzón Carrillo</i>	349
Traductor de significantes a lengua de señas: La tecnología asistiva como mediadora de la interacción comunicativa sordo-oyente <i>John Fredy Montes Mora y Gloria Esperanza Castellanos G.</i>	362

Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de los Tuxtlas, México	<i>Christoph Neger</i>	376
Diseño de un laboratorio de medios para el análisis de la producción científica colaborativa de grupos de investigación con base académica	<i>Jorge Alberto Cid Cruz</i>	394
El impacto de una entidad financiera en la reducción de la desigualdad a partir de modelos basados en agentes	<i>José Luis Alvarado Martínez, Wilder Arleht Angarita Osorio, Nasly Yanira Martínez Velásquez y Alexander Santos Niño</i>	407
Expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia sobre la reparación simbólica	<i>Sergio Alfonso Rodríguez-Cortés y Mónica Tatiana Perdomo Pérez</i>	414
Análisis de parámetros de calidad de vida en mujeres nativas de la comunidad de Muyuna, Ecuador	<i>Jéssica Galván Vivanco y Christian Alcocer Castillo</i>	427
Análisis a la relación de la ecoinnovación y la ecoeficiencia en el sector de los combustibles fósiles	<i>Alejandro Parra Saad</i>	443

Prólogo

En la transición a la Nueva Era la humanidad enfrenta una serie de problemas esenciales, complejos y mal definidos que no se comprenden bien cuando se tratan de abordar con una visión disciplinar. Esto se debe a la diversidad de dichos problemas, porque desde una perspectiva de sostenibilidad, cambio climático rápido, pérdida de biodiversidad, crecimiento continuo de la población, aumento ininterrumpido en el consumo de recursos naturales, emisiones masivas de gases contaminantes, una creciente brecha social y efectos secundarios no deseados por la digitalización desenfrenada, se pone en peligro no solo a los sistemas naturales del Planeta, sino también a la humanidad misma.

De ahí la urgente necesidad de que las ciencias se unan para trabajar mancomunadamente, entre sí y con la sociedad, y que mediante investigación transdisciplinar se pueda: 1) desarrollar una visión sistémica de la sostenibilidad, en la que se conciba al desarrollo y a la supervivencia de la humanidad como una búsqueda continua de soluciones; 2) gestionar los límites de cada sistema para evitar colapsos indeseables; y 3) definir un marco de ideas normativas y reguladoras fundamentales, en las que la humanidad, el planeta y la naturaleza tengan algo que decir.

Un desafío clave de la visión sistémica de la sostenibilidad es encontrar cómo desarrollar, utilizar y vincular el conocimiento científico probado en cada ciencia con otras formas de conocimiento. Pero esto exige un cambio en la forma como se practica la ciencia, ya que los problemas complejos de este siglo claman por soluciones en las que se abandone el antiguo precepto de *ciencia para la sociedad*, y se avance hacia una nueva forma de ver el Planeta trabajando de forma transdisciplinar, es decir, *ciencia con sociedad*.

La transdisciplinariedad es una forma de aprendizaje y de resolución de problemas revolucionaria, que implica el trabajo cooperativo entre las ciencias y la humanidad para hacerles frente y solucionar los complejos desafíos de esta época. Además, permite ver con claridad que el Planeta es, por ahora, el único hogar que podemos habitar, por lo que el objetivo debe ser desarrollar investigación socialmente sólida y emprender acciones para entender y comprender los sistemas complejos, de múltiples capas y socialmente relevantes a los que nos enfrentamos como humanidad.

Este aprendizaje mutuo entre ciencia y sociedad, en el que se vive una relación e integración de diferentes formas epistémicas, es el medio clave para el desarrollo del trabajo transdisciplinar. Hasta ahora, los profesionales se consideran *expertos* para enfrentar los desafíos contextualizados del mundo, y los científicos se consideran *expertos* en descripciones validadas, basadas en métodos, teorías y pruebas de la dinámica que subyace a los sistemas del mundo. Pero dado que la visión sistémica de la sostenibilidad es una cuestión de transiciones de sistemas del mundo, es imperioso incluir de manera equilibrada no solo el conocimiento, sino también los valores humanos que dependen de los intereses, necesidades, posiciones y roles de los sistemas individuales y sociales en el Planeta.

Por eso es que la nueva misión de las ciencias en la Nueva Era es escuchar el llamado social para que trabajen con y para la humanidad, yendo más allá de sus fronteras disciplinares, y comenzar a realizar investigación que contribuya realmente a la resolución de los problemas sociales y económicos, pero fundamentalmente a los que enfrentamos como especie en un hogar que no soportará por mucho tiempo el abuso al que se encuentra sometido. Lo que hay que entender es que estos problemas no son exclusivos de una cultura, una religión o un continente, sino que involucran a todos los seres vivos que habitan el Planeta, por lo tanto, la solución no podrá surgir *por arte de magia* desde una ciencia aislada. Se requiere el trabajo cooperativo transdisciplinar para que la visión sistémica del desarrollo y la supervivencia de la humanidad nos permita vivir con *conciencia planetaria* en el Nuevo Orden Mundial.

Este libro contiene una serie de capítulos en los que se presenta y se analiza ese trabajo transdisciplinar desde una visión de la ciencia como bien público, no político ni militar. Los autores desarrollan una concepción apartada de la comercialización irreflexiva del conocimiento, con base en una propuesta para desarrollar ciencia transdisciplinar socialmente robusta, con la idea de materializar la visión sistémica del desarrollo y la supervivencia de la humanidad. El lector encontrará experiencias de procesos de aprendizaje

mutuo entre ciencia y sociedad, y, para comprender mejor la necesidad de cambiar los antiguos modelos de la investigación disciplinar, se plantea nuevas formas de colaboración ciencia-práctica y se llama la atención acerca del peligro que conlleva la comercialización indiscriminada de los resultados de la investigación.

A una sola voz los autores convocan al raciocinio para recuperar la libertad de la investigación y a compartir los recursos necesarios para la producción de conocimientos básicos generalizados y revolucionarios, que le brinden a la sociedad las herramientas para enfrentar los problemas complejos con los que convive en este siglo. Se necesita estructurar procesos transdisciplinarios abiertos dirigidos a mantener la viabilidad de todos los sistemas humanos y ambientales que cohabitan en el Planeta. Hay que dejar de lado la eterna lucha por el poder y la dominación, porque si seguimos así, dentro de poco no habrá a quien dominar, y mucho menos qué habitar.

CIENCIAS NATURALES

Plantas medicinales comercializadas en una zona altoandina del Perú como patrimonio biocultural

Walter Wilfredo Ochoa-Yupanqui¹

Maritza Rodríguez-Lizana²

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Perú

El uso ancestral de la medicina tradicional constituye el patrimonio biocultural como opción terapéutica en poblaciones pobres de los andes sudamericanos, especialmente en Ayacucho, Perú. Este estudio tiene como objetivo conocer el uso tradicional de plantas medicinales como parte del patrimonio biocultural según categorías de uso identificando aquellas con mayor utilidad. Para este fin se aplicó cuestionarios semiestructurados a 45 mujeres comerciantes de plantas medicinales, identificando las plantas, según especies y familias organizadas en 12 categorías de uso, determinando su importancia mediante el UST. Se identificaron 35 especies de plantas medicinales agrupadas en 22 familias. Las familias más representativas son las Asteraceae 22.86% (08), Lamiaceae 14.29% (5), Fabaceae y Poaceae 5.71% (2); empleándose mayormente las hojas en infusiones para las categorías de uso gastrointestinal (25%), respiratorio y osteomuscular (12.5%), hepático (9.38%); cardiovascular, renal/urológico, piel y otros/todo el cuerpo (6.25%). Las plantas medicinales se emplean para tratar diferentes afecciones y constituye el patrimonio biocultural en las comunidades de la región andina donde la población local practica la medicina complementaria.

¹ Contacto: walter.ochoa@unsch.edu.pe

² Contacto: maritza.rodriguez@unsch.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Un país megadiverso como el Perú provee, entre otros recursos, plantas medicinales que se emplean ancestralmente desarrollando culturalmente su propia flora medicinal, transmitida por tradición oral (Salaverry y Cabrera, 2014); cada pueblo y cultura ha acumulado conocimientos y saberes tradicionales con bases empíricas, ideológicas, filosóficas y religiosas, constituyendo su patrimonio inmaterial (Otero et al. 2019) o patrimonio biocultural de las comunidades locales e indígenas (Maffi, 2014) sobre el uso de su biodiversidad; lamentablemente en riesgo por el olvido de los jóvenes y limitada a los adultos mayores (Escalona et al., 2015); como una forma de preservarlo.

En el Perú, la ley 27811 (2002), establece un régimen especial de protección de los conocimientos de los pueblos indígenas vinculados a los recursos biológicos.

Las prácticas de la medicina tradicional son las opciones terapéuticas más frecuentes en los sectores rurales (Gallegos y Gallegos, 2017), caracterizados por su situación de pobreza, como es el caso de Ayacucho; basadas sobre todo en el empleo de extractos o principios activos de las plantas (Tello, 2015). La mayoría desconoce sus propiedades, usos y contraindicaciones e interacciones con los medicamentos convencionales (Escalona et al., 2015); conduciendo a la mala utilización de terapias alternativas.

Es necesario unificar la medicina tradicional con la farmacológica, logrando combinar productos naturales con productos químicos, con la finalidad de incrementar la eficacia terapéutica y disminuir la morbimortalidad de la población (Herrera et al., 2018).

Según la OPS (2018), la medicina tradicional conjuga los conocimientos, aptitudes y prácticas basados en teorías, creencias y experiencias propias de diferentes culturas, sean o no explicables, utilizadas para diagnosticar, prevenir y mantener la salud; falta el registro adecuado de las plantas, la protección de la biodiversidad, la inversión en investigación, y la garantía de calidad y seguridad de su uso, pese a ello se ha articulado a la Medicina Complementaria MC.

El Centro Nacional de Salud Intercultural realiza y promueve investigaciones etnográficas, etnobotánica, fitoquímicas, toxicológicas, farmacológicas y otras afines sobre plantas medicinales, de acuerdo a las necesidades de salud de la población; como resultado han publicado diversos textos como: Catálogo florístico de plantas medicinales peruanas (Santivañez y Cabrera, 2013) y el catálogo florístico del jardín botánico de plantas medicinales del Instituto Nacional de Salud INS (Cabrera, 2012).

Las mujeres son principalmente quienes comercializan las plantas medicinales, trabajan diariamente en los mercados locales y tienen amplio conocimiento sobre medicina popular, informan las recetas y contraindicaciones al estilo de un *médico* (Colacio et al., 2019), favoreciendo la disponibilidad de alternativas de fitoterapia para gente de escasos recursos, preservando el patrimonio biocultural o conocimiento ancestral, inclusive para tratamiento de afecciones como el caso de la COVID-19 (Ochoa y Rodríguez, 2020).

La investigación corresponde al proyecto *Etnobotánica de las plantas silvestres medicinales en la provincia de Huamanga*, financiado por la Oficina General de Investigación e Innovación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

2. MÉTODO

El estudio se realizó en la ciudad de Ayacucho, ubicada entre las coordenadas geográficas 74°12'24.49" longitud oeste, 13°09'53.08" latitud sur, con una temperatura máxima promedio de 18°C, temperatura mínima promedio de 10°C, humedad relativa de 70 a 90% (Allicahumán y Ochoa, 2019), cuya Zona de Vida es ee-MBS. Se entrevistaron a 45 mujeres vendedoras de plantas medicinales que laboran en los exteriores del mercado central *Andrés Vivanco Amorín*.

Para la obtención de datos se procedió según lo recomendado (Escalona et al., 2015; Huamantupa et al., 2012) a comprar las plantas, aprovechando para realizar las entrevistas y la colecta con órganos

reproductivos completos, además de un registro fotográfico de cada una de ellas, las entrevistas se estructuraron como cuestionarios etnobotánicos respetando el anonimato, registrando la información sobre nombres vernáculos y usos medicinales.

Todas las colaboradoras fueron entrevistadas en cumplimiento del código de ética de la Sociedad Internacional de Etnobiología (SIE, 2006). Incidiendo en el respeto de la integridad, la moral y la espiritualidad, estipulados en la ley 27811 sobre conservación del patrimonio biocultural y el Convenio sobre la Diversidad Biológica CDB (Tinitana et al., 2016).

Las identificaciones taxonómicas se hicieron en el Herbario Huamangensis de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, además se consultó bibliografía especializada.

Para la identificación se emplearon las bases de datos de International Plant Name Index IPNI, Jardín Botánico de Missouri y Plant Taxonomy Database, empleadas por otros autores (Colacio, et al., 2019), además del catálogo florístico de plantas medicinales peruanas (Santivañez y Cabrera, 2013) y el catálogo florístico del jardín botánico de plantas medicinales del INS (Cabrera, 2012).

La Tabla 1 presenta la clasificación de enfermedades tratadas con plantas medicinales, para lo cual se clasificaron en 12 categorías de acuerdo al sistema del cuerpo donde estas plantas controlen la afección (Bhattarai et al., 2010; Angulo et al., 2012; Zambrano et al., 2015).

Tabla 1. Enfermedades tratadas con plantas medicinales en la ciudad de Ayacucho-Perú.

Categorías de uso	Descripción
1 Cardiovascular (C)	Enfermedades del corazón, dolor del corazón.
2 Sistema sensorial (Ss)	Dolores en nariz, ojos, oídos, sinusitis y dolor dental.
3 Gastrointestinal (Gs)	Diarrea, vómitos, dolor de estómago, gastritis, parásitos, estreñimiento.
4 Hepático (H)	Enfermedades hepáticas, hígado graso.
5 Inmunológico (I)	Enfermedades autoinmunes, cáncer, enfermedades infecciosas.
6 Neurológico (N)	Adormecimiento de las extremidades, parálisis, Parkinson.
7 Osteomuscular (OM)	Fracturas óseas, dolor de huesos, enfermedades óseas, dolor en las articulaciones, cintura, inflamación del cuerpo, reumatismo, dolor de cuello y extremidades.
8 Otros/todo el cuerpo (Ot)	Fiebre, dolor de cabeza, vértigo, mareo, sudar, diabetes, mordedura de serpientes, bajar peso.
9 Piel (P)	Infecciones, heridas e inflamaciones de la piel.
10 Renal/urológico (Ru)	Enfermedades renales, ITU, diurético, desinflamante, próstata.
11 Respiratorio (Rs)	Dificultad para respirar, dolor de garganta, dolor de pecho, bronquitis, tos.
12 Sanguíneo (S)	Colesterol, presión arterial, circulación sanguínea.

Las plantas se agruparon por especies y familias según las enfermedades en que se emplean, y su importancia se ha determinado mediante el Nivel de uso Significativo Tramit UST (Zambrano et al., 2015); una frecuencia igual o superior a 20% indica aceptación cultural y, por lo tanto, merecen su evaluación y validación científica.

3. RESULTADOS

Las entrevistadas citaron 35 especies de plantas medicinales, agrupadas en 22 familias; las mismas que son empleadas para tratar diferentes afecciones. El UST indica que todas superan el 20%; sin embargo, podemos mencionar al eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labil; UST 100%), con UST=95.56% la achicoria (*Hypochaeris taraxacoides* Ball.), muña (*Minthostachys mollis* (Benth.) Griseb) y yawar suqu (*Oenothera rosea* L'Hér. ex Aiton); con UST = 93.33% la menta (*Mentha piperita* L.), y el sauce (*Salix chilensis* Molina.); con UST=91.11% la retama (*Spartium junceum* L.) y el matico (*Piper elongatum* Vahl.), que requieren de estudios fitoquímicos por su importancia para los pobladores (Tabla 2).

De las 22 familias, las que tienen mayor número de especies medicinales son Asteraceae 22.86% (8 especies), Lamiaceae 14.29% (5 especies), Fabaceae y Poaceae 5.71% (2 especies cada una), mientras que las demás familias cuentan con una especie; las plantas comercializadas básicamente son recolectadas de los alrededores de la ciudad de Ayacucho, no se ha encontrado evidencias de su cultivo (Figura 1).

Tabla 2. Familias botánicas, especie, nombre vernacular, afecciones tratadas y UST de plantas medicinales comercializadas en la ciudad de Ayacucho

Familia/Especie	Vernacular	Afecciones tratadas	UST
Chenopodiaceae			
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Paico	Diarreas, parásitos.	62.22
Asphodelaceae			
<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	Sabila	Antiinflamatorio, digestivo, capilar, inmuno-estimulante	66.67
Anacardiaceae			
<i>Schinus molle</i> L.	Molle	Antiinflamatorio, bronquios, nervios	80.00
Apiaceae			
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Hinojo	Inflamaciones, digestivo, respiratorio	22.22
Asteraceae			
<i>Ambrosia peruviana</i> Willd.	Marco	Antiinflamatorio, digestivo	62.22
<i>Baccharis genistelloides</i> (Lam.) Pers.	Kimsakucho	Inflamaciones, gastrointestinales	28.89
<i>Chuquiraga spinosa</i> Less.	Chuquiraga	Hígado	84.44
<i>Gnaphalium americanum</i> Mill.	Qeto-qeto	Digestiva	37.78
<i>Hypochaeris taraxacoides</i> Ball.	achicoria	Hígado, bilis	95.56
<i>Matricaria chamomilla</i>	Manzanilla	Corazón, antiviral, presión	26.67
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Qasa isqana	Vesícula	71.11
<i>Taraxacum officinale</i> aggr.	Diente de león	Vesícula, riñones	40.00
Brassicaceae			
<i>Matthiola incana</i> (L.) WTAiton	Alelí	Corazón	22.22
Ephedraceae			
<i>Ephedra americana</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Pinco-pinco	Riñones, próstata, bronquios, corazón, inmuno-estimulante	84.44
Equisetaceae			
<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	Cola de caballo	Inflamaciones de riñón, cicatrizante	55.56
Fabaceae			
<i>Otholobium pubescens</i> (Poir.) JWGrimes	Huallhua	Digestivo	40.00
<i>Spartium junceum</i> L.	Retama	Purgante, limpieza, sinusitis	91.11
Lamiaceae			
<i>Lepechinia meyenii</i> (Walp.) Epling	Salvia	Bronquios	82.22
<i>Melissa officinalis</i> L.	Toronjil	Digestivo, corazón, presión	86.67
<i>Mentha piperita</i> L.	Menta	Digestiva	93.33
<i>Minthostachys mollis</i> (Benth.) Griseb	Muña	Digestiva, insecticida	95.56
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romero	Antiinflamatorio, digestivo, capilar	84.44
Moraceae			
<i>Ficus carica</i> L.	Higo	Digestiva, elimina verrugas	51.11
Myrtaceae			
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto	Bronco pulmonar	100.00
Onagraceae			
<i>Oenothera rosea</i> L'Hér. ex Aiton	Yawar suqu	Cicatrizante, antiinflamatorio	95.56
Passifloraceae			
<i>Passiflora ligularis</i>	Granadilla	Digestivo	84.44
Piperaceae			
<i>Piper elongatum</i> Vahl.	Matico	Antiinflamatorio, cicatrizante, bronquios, antipirético, infecciones	91.11
Plantaginaceae			
<i>Plantago major</i> L.	Llanten	Diurético, cicatrizante, antipirético	84.44
Poaceae			
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Hierba luisa	Digestivo	80.00
<i>Zea mays</i> L.	Maíz	Inflamaciones intestinales, antipruriginoso	57.78
Polygonaceae			
<i>Muehlenbeckia volcanica</i> (Benth.) Endl.	Mullaca	Hígado	62.22
Rosaceae			
<i>Rosa canina</i> L.	Rosa	Irritaciones del ojo, inflamaciones	55.56
Rutaceae			
<i>Ruta graveolens</i> L.	Ruda	Vermífuga, anti nerviosa, sustos	84.44
Salicaceae			
<i>Salix chilensis</i> Molina.	Sauce	Dolor de cabeza, antipirético	93.33
Valerianaceae			
<i>Valeriana officinalis</i> L.	Valeriana	Antipirético, bronquios, presión	84.44

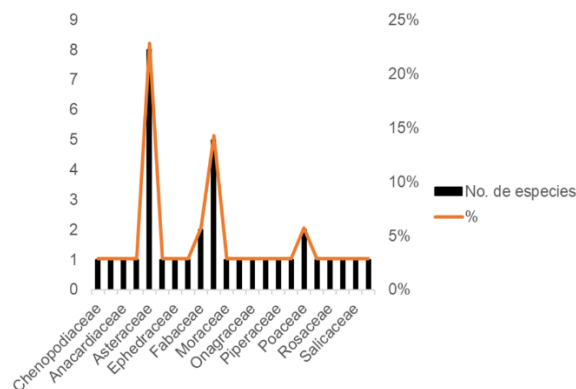


Figura 1. Diversidad de familias de plantas medicinales comercializadas en la ciudad de Ayacucho

Las indicaciones terapéuticas fueron agrupadas en 12 categorías de uso (Figura 2), predominando las de tipo gastrointestinal (25%), respiratorio y osteomuscular (12.5%), hepático (9.38%) y, en menor proporción los de tipo cardiovascular, renal/urológico, piel y otros/todo el cuerpo (6.25%).

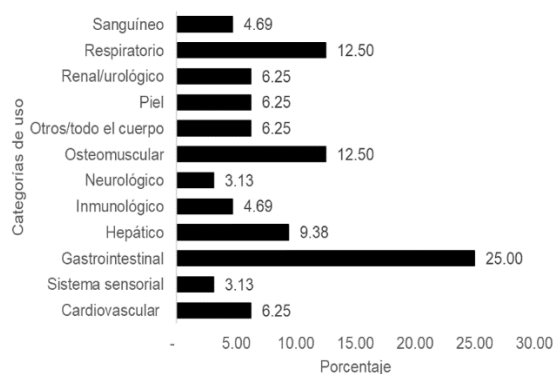


Figura 2. Principales afecciones tratadas con plantas medicinales comercializadas en la ciudad de Ayacucho

Las enfermedades cardiovasculares, principalmente para problemas del corazón, mala circulación y purificación de la sangre, emplean la manzanilla (*Matricaria chamomilla*), alelí (*Matthiola incana* (L.) WTAiton), pinco pinco (*Ephedra americana* Humb. y Bonpl. ex Willd.), toronjil (*Melissa officinalis* L.).

Las enfermedades del sistema sensorial, como dolor de nariz, ojos, oído, dental y sinusitis son tratadas con retama (*S. junceum* L.) y rosa (*Rosa canina* L.). Con relación al sistema gastrointestinal, las plantas más utilizadas para aliviar diarrea, vómitos, dolor de estómago, gastritis, parásitos y estreñimiento fueron el paico (*Chenopodium ambrosioides* L.), sábila (*Aloe vera* (L.) Burm.f.), hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), marco (*Ambrosia peruviana* Willd.), kimsakucho (*Baccharis genistelloides* (Lam.) Pers.), qeto qeto (*Gnaphalium americanum* Mill.), huallhua (*Otholobium pubescens* (Poir.) JWGrimes), toronjil (*M. officinalis* L.), menta (*M. piperita* L.), muña (*M. mollis* (Benth.) Griseb), romero (*Rosmarinus officinalis* L.), higo (*Ficus carica* L.), granadilla (*Passiflora ligularis*) y hierba luisa (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

Las enfermedades de tipo hepático se tratan con chuquiragua (*Chuquiraga spinosa* Less.), achicoria (*H. taraxacoides* Ball.), qasa isqana (*Sonchus oleraceus* L.), diente de león (*Taraxacum officinale* aggr.), pinco pinco (*E. americana* Humb. y Bonpl. ex Willd.) y cola de caballo (*Equisetum bogotense* Kunth); las enfermedades inmunológicas como el cáncer y otras enfermedades infecciosas utilizan plantas como la sábila (*A. vera* (L.) Burm.f.), pinco pinco (*E. americana* Humb. y Bonpl. ex Willd.) y matico (*P. elongatum* Vahl.).

Para casos neurológicos se emplea el molle (*Schinus molle* L.) y la ruda (*Ruta graveolens* L.); para osteomuscular, dolor en articulaciones, cintura, inflamación del cuerpo, reumatismo, dolor de cuello y extremidades tenemos la sábila (*A. vera* (L.) Burm.f.), molle (*S. molle* L.), hinojo (*F. vulgare* Mill.), marco (*A. peruviana* Willd.), kimsakucho (*B. genistelloides* (Lam.) Pers.), romero (*R. officinalis* L.), yawar suqu (*Oenothera rosea* L'Hér. ex Aiton), matico (*P. elongatum* Vahl.), maíz (*Zea mays* L.) y rosa (*Rosa canina* L.); para la categoría otros/todo el cuerpo como la fiebre, dolor de cabeza, se emplea el matico (*P. elongatum* Vahl.), llantén (*Plantago major* L.), sauce (*Salix chilensis* Molina.) y valeriana (*Valeriana officinalis* L.).

Las enfermedades de la piel, se alivian con plantas como la cola de caballo (*E. bogotense* Kunth), yawar suqu (*O. rosea* L'Hér. ex Aiton), matico (*P. elongatum* Vahl.) y llantén (*P. major* L.). Las enfermedades de tipo renal y urológico se tratan con diente de león (*T. officinale* aggr.), pinco pinco (*E. americana* Humb. y Bonpl. ex Willd.), cola de caballo (*E. bogotense* Kunth) y llantén (*P. major* L.).

Para la categoría respiratorio consistentes en dificultad para respirar, dolor de garganta, pecho, bronquitis, se emplea el molle (*S. molle* L.), hinojo (*F. vulgare* Mill.), retama (*S. junceum* L.), salvia (*Lepechinia meyenii* (Walp.) Epling), eucalipto (*E. globulus* Labil), matico (*P. elongatum* Vahl.), sauce (*S. chilensis* Molina) y valeriana (*V. officinalis* L.), enfatizando su potencial uso para reducir los síntomas de la COVID-19 (Ochoa y Rodríguez, 2020).

Las enfermedades sanguíneas como el colesterol, presión arterial y circulación sanguínea son aliviadas principalmente con manzanilla (*M. chamonilla*), toronjil (*M. officinalis* L.) y valeriana (*V. officinalis* L.).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos confirmaron el empleo tradicional de plantas medicinales por las poblaciones altoandinas, componen su patrimonio biocultural basado en sus conocimientos sobre los efectos curativos en el tratamiento de ciertas enfermedades, concuerdan con los obtenidos por otros investigadores respecto al uso; principalmente en afecciones digestivas o gastrointestinales, dermatológicas y respiratorias (Escalona et al., 2015); destacan las plantas consideradas en la categoría de enfermedades respiratorias por su potencial en el tratamiento ambulatorio de la COVID-19 (Ochoa y Rodríguez, 2020).

Trabajos realizados en otras zonas de Ayacucho (Aucasime y Cárdenas, 2015; Hurtado y Albán, 2018); también reportan plantas para curar el susto *mal de aire, viento o wayra* y terapias espirituales, (Camasca, 2015) como la ruda, confirmando que las herbáceas son las más requeridas por la población (Herrera et al., 2018). Nuestra investigación encontró 35 especies, siendo discordante con otros investigadores, quienes reportan mayor número de especies ya que incluyen establecimientos y puestos donde se expenden especies de uso mágico religioso y otros (OPS, 2018).

Como sucede en otros lugares, varias especies de plantas se emplean para una misma afección, o por el contrario una especie es utilizada para tratar varias afecciones. Las especies con mayores citaciones fueron la achicoria (*H. taraxacoides* Ball), retama (*S. junceum* L.), menta (*M. piperita* L.), muña (*M. mollis* (Benth.) Griseb), eucalipto (*E. globulus* Labil), yawarsuqu (*O. rosea* L'Hér. ex Aiton), matico (*P. elongatum* Vahl.) y sauce (*S. chilensis* Molina.); las hojas y flores suelen ser las partes más usadas (Tello, 2015), como el matico (*P. elongatum* Vahl.), huallhua (*O. pubescens* (Poir.) JWGrimes) (Huamantupa et al., 2012) y el yawar suqu *O. rosea* (Huari y De la Cruz, 2017).

En cuanto a las familias, las que mayor número de especies poseen son: Asteraceae, Lamiaceae, Fabaceae y Poaceae, coincidiendo con varios estudios (Otero et al., 2019; Huamantupa et al., 2012). La mayor representatividad de las familias Asteraceae y Lamiaceae concuerda con lo registrado en mercados de las ciudades andinas de Cajamarca, Ayacucho (Camasca, 2015) y Cusco (Huamantupa et al., 2012). También las fabáceas están representadas (Acosta et al. 2019), mientras para otros investigadores las Solanaceae y Lamiaceae son las familias más frecuentes (Tinitana, 2016), para Bolivia también reportan predominancia de Solanaceae, Fabaceae y Brassicaceae (Justo y Moraes, 2015); demostrando la dominancia de estas familias en la flora andina.

Las indicaciones terapéuticas (categorías de uso) de tipo gastrointestinal, respiratorio y osteomuscular, hepático, cardiovascular, renal/urológico, piel y otros/todo el cuerpo, también fueron determinadas como frecuentes en zonas andinas por otros investigadores (Zambrano et al., 2015; De la Cruz y Mostacero, 2019) un estudio similar en Lircay-Huancavelica también reporta estas categorías (Castañeda et al., 2017); igualmente de afecciones relacionadas con los sistemas nervioso, digestivo y genitourinario (De la Cruz y Mostacero, 2019; Justo y Moraes, 2015; Tinitana et al., 2016), motivo por el que posiblemente las plantas medicinales comercializadas tienen similares usos en diversos mercados andinos de Bolivia, Ecuador, Perú.

El mayor consumo se da en especies empleadas para tratar enfermedades de los sistemas digestivo, genitourinario y respiratorio (Gallegos y Gallegos, 2017; OPS, 2018). Diversos estudios reportan que estas dolencias son comunes en la población andina (Justo y Moraes, 2015; Hurtado y Albán, 2018) y estarían asociadas al cáncer de estómago (Tinitana et al., 2016); hay mayor conocimiento para tratarlas (Castañeda et al., 2017), requiriendo también mayor atención.

Ayacucho, así como las regiones andina y amazónica del Perú son ricos en las prácticas ancestrales del uso de las plantas medicinales (Hurtado, 2018), siendo principalmente las mujeres depositarias de ello; hace falta el inventario de estos conocimientos colectivos componentes del patrimonio biocultural en las comunidades campesinas y nativas, estableciendo estrategias y mecanismos para la conservación y transmisión del conocimiento. También debe establecerse bancos de germoplasma para preservar la flora etnomedicinal que se encuentra en riesgo por las preferencias hacia la medicina científica debida a la migración, aculturación y otros factores que producen erosión cultural; la implementación de programas culturales adecuados puede ayudar a reducirlo.

5. CONCLUSIONES

Según las indicaciones terapéuticas, se determinaron 12 categorías de uso, predominando las de tipo gastrointestinal, respiratorio, osteomuscular y hepático, también se encontraron 35 especies de plantas medicinales, agrupadas en 22 familias, siendo las que más especies tenían la familia Asteraceae, Lamiaceae, Fabaceae y Poaceae.

Las plantas medicinales son mayormente requeridas para el tratamiento de afecciones gastrointestinales, respiratorias, como también para afecciones osteomusculares, renal/urológico, piel, cardiovasculares, sanguíneos, inmunológicos y en baja proporción para tratar afecciones neurológicas y sensoriales.

Según el nivel de uso significativo Tramitil (UST), el eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labil); achicoria (*Hypochaeris taraxacoides* Ball.), muña (*Minthostachys mollis* (Benth.) Griseb), yawar suyu (*Oenothera rosea* L'Hér. ex Aiton); menta (*Mentha piperita* L.), sauce (*Salix chilensis* Molina.); retama (*Spartium junceum* L.) y el matico (*Piper elongatum* Vahl.), son las plantas más empleadas y requieren de estudios fitoquímicos por su importancia para los pobladores.

El conocimiento de las propiedades fitoterapéuticas de las plantas medicinales es parte del patrimonio biocultural y constituye una actividad económica de mujeres rurales, debiendo promoverse mecanismos para su uso sostenible mediante la participación y retribución a las comunidades nativas en las investigaciones que las usan permanentemente como medicina complementaria.

REFERENCIAS

- Acosta, Z., y Gallardo, A. (2019). Especies arbóreas del Jardín Botánico de Pinar del Río y sus potencialidades de uso. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 7(1), 111-124.
- Allcahuamán, R., y Ochoa, W. W. (2019). Respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* "papa" a *Globodera pallida* Stone. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 7(2), 100-108.
- Angulo, A. F. et al. (2012). Estudio etnobotánico de las plantas medicinales utilizadas por los habitantes del corregimiento de Genoy, Municipio de Pasto, Colombia. *Universidad y Salud* 14(2), 168-185.
- Aucasime, L. y Cárdenas, K. (2015). Identificación y establecimiento de un banco de germoplasma de plantas medicinales del Distrito de Socos, provincia de Huamanga - Ayacucho, 2015. *Investigación* 24(1), 81-87.
- Bhattarai, S. et al. (2010). El uso de plantas medicinales en la zona árida trans-Himalaya del distrito de Mustang, Nepal. *Revista de etnobiología y etnomedicina* 6(14), 1-11.
- Cabrera, J. (2012). *Catálogo florístico del jardín botánico de plantas medicinales del INS*. Ministerio de Salud.
- Camasca, A. (2015). Estudio de la demanda y estimación del valor cultural y económico de plantas medicinales comercializadas en la ciudad de Ayacucho. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Castañeda, R. et al. (2017). Leguminosas (Fabaceae) silvestres de uso medicinal del distrito de Lircay, provincia de Angaraes (Huancavelica, Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 16(2), 136-149.
- Colacio, D. et al. (2019). Levantamiento etnobotánico de plantas medicinales comercializadas no municipio de Buriticupu, MA. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 24(4), e837.

- De la Cruz, A. y Mostacero, J. (2019). Uso de plantas medicinales para la cura de enfermedades y/o dolencias: el caso del poblador de la provincia de Trujillo, Perú. *Manglar* 16(2), 119-124.
- Escalona, L. et al. (2015). Uso tradicional de plantas medicinales por el adulto mayor en la comunidad serrana de Corralillo Arriba. Guisa, Granma. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 20(4), 429-439.
- Gallegos, M. y Gallegos, D. (2017). Plantas medicinales utilizadas en el tratamiento de enfermedades de la piel en comunidades rurales de la provincia de Los Ríos – Ecuador. *An. Fac. med.* 78(3), 315-21.
- Herrera, J. et al. (2018). Medicina e Interculturalidad. *Mediciencias UTA* 2(4), 55-62.
- Huamantupa, I. (2012). Riqueza, uso y origen de plantas medicinales expandidas en los mercados de la ciudad del Cusco. *Rev. peru. biol.* 18(3), 283-291.
- Huari, E. y De la Cruz, L. (2017). Efecto terapéutico del extracto etanólico de las hojas de *Oenothera rosea* A. “chupasangre”, en forma de crema farmacéutica. *Trabajo de grado*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Hurtado, J. y Albán, J. (2018). Conocimiento tradicional de la flora silvestre en las comunidades campesinas del Santuario Histórico de la Pampa de Ayacucho (Perú). *Bol. Latinoa. Caribe Plant. Med. Aromat.* 17(3), 286–301.
- Hurtado, J. (2018). Significancia cultural de las plantas medicinales en el distrito de Quinua (Huamanga, Ayacucho). *Tesis maestría en etnobotánica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ley N° 27811 (2002). *Ley que establece el régimen de protección de los conocimientos colectivos de los pueblos indígenas vinculados a los recursos biológicos*. Diario oficial El Peruano.
- Justo, M., y Moraes, M. (2015). Plantas medicinales comercializadas por las chifleras de La Paz y El Alto (Bolivia). *Ecología en Bolivia* 50(2), 66-90.
- Maffi, L. (2014). Biocultural Diversity Toolkit. An Introduction to Biocultural Diversity. *Terralingua* 1(1), 2-43.
- Ochoa, W.W., y Rodríguez, M. (2020). Fitoterapia altoandina como potencial ante la COVID-19. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* 39(4), 1-6.
- OPS. (2018). *Situación de las plantas medicinales en Perú*. Organización Panamericana de la Salud.
- Otero, T. (2019). Potencial terapéutico de plantas utilizadas en herboristería por el Gallego Otero. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 24(3), 1-15.
- Salaverry, O. y Cabrera, J. (2014). Florística de algunas plantas medicinales. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 31(1), 165-168.
- Santivañez, R., y Cabrera, J. (2013). *Catálogo florístico de plantas medicinales peruanas*. Ministerio de Salud.
- SIE. (2006). *Código de Ética de la Sociedad Internacional de Etnobiología*. Sociedad Internacional de Etnobiología
- Tello, G. (2015). Etnobotánica de plantas con uso medicinal en la comunidad de Quero, Jauja, Región Junín. *Trabajo de grado*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tinitana, F. et al. (2016). Medicinal plants sold at traditional markets in southern Ecuador. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 12(1), 12-29.
- Zambrano, L. F. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. *Universidad y Salud* 17(1), 97-111.

Análisis al uso de combustibles limpios para reducir la contaminación del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA, Colombia

Ángel Aristides Vargas Velásquez¹
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Colombia

Este capítulo aborda la problemática de la contaminación del aire que afecta al Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA. Se investiga sobre combustibles limpios que reduzcan contaminantes emitidos por fuentes móviles que generan el 82% de la contaminación del aire en el AMVA. Esos combustibles deben generar menos impactos nocivos sobre los recursos naturales y la atmósfera, y minimizando el impacto al medio ambiente, garantizando de esta manera mejor calidad de vida de los residentes y reduciendo problemas de salud pública. Se investiga las normativas sobre el uso de combustibles limpios y el estado del arte en países donde se ha tenido éxito. La problemática de la contaminación en el AMVA es generada, en un alto porcentaje, por fuentes móviles de combustión interna como volquetas, camiones, motos, buses, entre otros. Se evidencia la falta de compromiso, tanto de orden gubernamental como de los ciudadanos, para concientizarse sobre el daño que se está haciendo al medio ambiente. Cuando se habla del medio ambiente no es solo el medio ambiente humano, abarca todos los seres vivos, el deterioro de salud debido a partículas muy finas que quedan suspendidas en el aire del tamaño de 10 y de 2,5 micras que, al inhalarse, además de generar enfermedades respiratorias pueden atravesar la barrera pulmonar y llegar a la sangre generando cardiopatías. Se debe unir esfuerzos para avanzar en tecnologías de fuentes móviles aplicadas a trabajar con combustibles limpios. Por esto mismo el gobierno debe incentivar a los ciudadanos para ayudar a mejorar la calidad del aire, estimulando a invertir en tecnologías que adopten combustibles limpios, y ellos tienen que pensar cada vez cómo se puede aportar para mejorar la calidad del aire.

¹ Contacto: angel_vargas54181@elpoli.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente las legislaciones sobre los derechos ambientales humanos inician en Estocolmo en 1972, con las regulaciones sobre la calidad del agua para consumo humano y su nivel de tratamiento (Zapata, 2018). Se continuó con la regulación sobre disposición de residuos sólidos peligrosos y sobre el nivel de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales. La regulación sobre la emisión de gases de combustión de fuentes fijas y móviles constituye una de las últimas fronteras a nivel mundial.

El transporte urbano sostenible enfoca a las diferentes entidades gubernamentales de cada ciudad para establecer la movilidad como elemento prioritario, generando políticas sobre medios de transporte que reduzcan contaminantes y menos consumidores de recursos, garantizando la calidad de vida urbana y un espacio público confortable y seguro (Pardo, 2009), pero teniendo en cuenta la satisfacción de sus habitantes, que varía de acuerdo con el modelo de ciudad y esquema de movilidad por el que se apueste (Barbero, 2000).

La contaminación ambiental genera enfermedades de salud pública que van desde la irritación y la tos, hasta de alta complejidad como el cáncer, cardiovasculares, cardiopatías, entre otras, las cuales se generan al respirar aire contaminado y de mala calidad con material particulado muy fino, como TPS de $PM_{2.5}$. Que cada año en la ciudad mueran 3000 personas a consecuencia de afecciones generadas por la contaminación ambiental, básicamente del aire, no es una cifra para tomar con ligereza.

Muchas con enfermedades que comprometen el aparato respiratorio, pero la contaminación del aire puede producir padecimientos que afectan otros órganos y sistemas, y si bien hemos convivido por largo tiempo con la contaminación del aire, la crisis que obligó a declarar una emergencia ambiental en toda el área metropolitana del Valle de Aburrá llevó a las personas a buscar una mayor preocupación por el fenómeno de esa nube gris que se presenta con mayor intensidad en la transición de los meses de lluvia, de febrero a marzo y de octubre a noviembre, y que no es más que la polución atrapada en la atmósfera inferior debido a la topografía del Valle de Aburrá, como se muestra en la Figura 1, acumulando gases y partículas suspendidas que inhalan los habitantes.

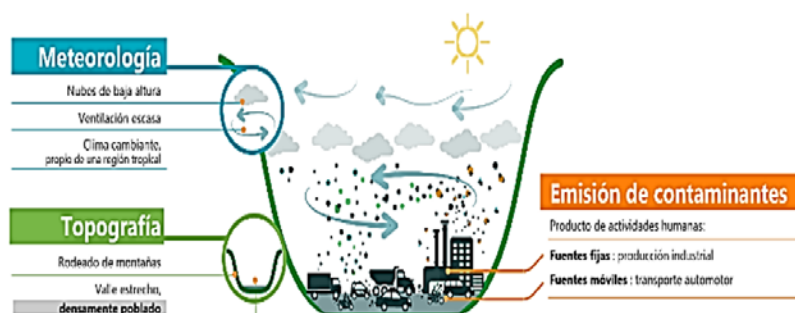


Figura 1. Factores que incrementan la contaminación en el Valle de Aburrá

Para reducir la contaminación se debe tomar medidas estructurales y, según Planeación Metropolitana, Movilidad Metropolitana y la Universidad EAFIT, una que se requiere en el AMVA es regular la emisión de gases planteada desde un Plan de Ordenamiento Territorial POT con soluciones como combustibles limpios y los Buses de Transito Rápido BRT, debido a que, como se muestra en la Figura 2, las fuentes que más aportan a la contaminación del aire son las fuentes móviles, con un 82% (Cárdenas et al., 2016).

Los combustibles limpios son los Biocombustibles, que son combustibles líquidos obtenidos a partir de biomasa de origen vegetal o animal, los cuales son usados en procesos de combustión y que cumplen con las definiciones y normas de calidad establecidas por los ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Minas y Energía, y que se enmarcan dentro de las perspectivas a ser sustitutos parciales o totales del ACPM utilizado en motores diésel (Comisión de Regulación, 2016).

En Colombia, el diésel y la gasolina se deben mezclar con biodiesel y etanol, y ese nivel de mezcla tendería a incrementarse con los años, dependiendo de los niveles de oferta y otras variables. La política de mezclas

puede cambiar por mandato intersectorial de biocombustibles. El etanol producido en el país reduce la emisión de GEI en 74% y el biodiesel reduce esos niveles en 83%. La palma de aceite y caña de azúcar utilizados para elaborar biocombustibles han probado tener mayor rendimiento que otras materias primas usadas en el mundo (El Nuevo Siglo, 2017).

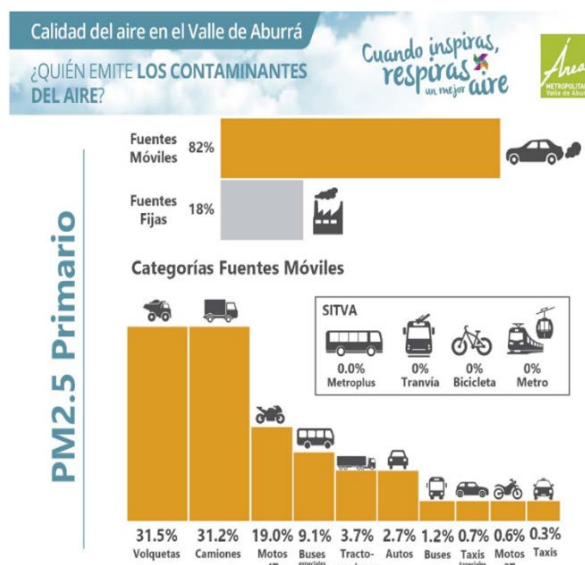


Figura 2. Quién emite los contaminantes del aire

Otras alternativas de combustibles limpios son:

- **Alcohol carburante:** Compuesto orgánico líquido, de naturaleza diferente a los hidrocarburos, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo (OH) enlazado a un átomo de carbono. Para efectos del presente documento se entiende como alcohol carburante al etanol anhidro combustible desnaturalizado obtenido a partir de la biomasa.
- **Diésel extra básico (ACPM extra):** Mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo, con bajo contenido de azufre y un rango de destilación más estrecho comparado con el diésel corriente, diseñado para ser utilizado como combustible de motores tipo diésel de bajas emisiones contaminantes. Sus especificaciones de calidad técnico-ambiental se encuentran reglamentadas por los ministerios de Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- **Etanol anhidro combustible desnaturalizado:** Alcohol etílico mezclado con desnaturalizantes, que se caracteriza por tener un contenido de agua inferior al 1% y ser compatible para mezclar con gasolina en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características de eficiencia termodinámica y ambiental (Comisión de Regulación, 2016).

Otra medida con que cuenta el AMVA es una herramienta conformada por 40 estaciones, para medir la calidad del aire del Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Aburrá. Cada estación, como la de la Figura 3, está equipada para el monitoreo de distintos contaminantes, como ozono O₃, óxidos de nitrógeno, monóxido de Carbono CO, material particulado PM 10 y Pm_{2,5}, entre otros (Ospina, 2017).



Figura 3. Estación de monitoreo de contaminantes

Esta es una de las estaciones con las que se monitorea los contaminantes en el Valle de Aburrá y que, de acuerdo a la resolución 2254 del 1 de noviembre del 2017 donde se establece los niveles máximos permisibles que en lo que refiere al TPS de PM_{2,5}, no deben sobrepasar los rangos de 37_{ug/m³} para un tiempo de exposición de 24 horas. La medición de la calidad del aire se realiza de acuerdo con los niveles:

- Nivel I. Color verde y amarillo (verde comprende de 0_{ug/m³} a 12_{ug/m³} que es bueno, amarillo comprende de 13_{ug/m³} a 37_{ug/m³} y que es aceptable.
- Nivel II. Color naranja comprende de 38_{ug/m³} a 55_{ug/m³} y que es de prevención.
- Nivel III. Color rojo comprende de 56_{ug/m³} a 150_{ug/m³} y que es alerta
- Nivel IV. Color púrpura para valores iguales o mayores a 151_{ug/m³} y que es emergencia.

Se debe tener en cuenta que los estados de prevención y de alerta se presentan en los meses de transición de lluvia, donde las condiciones climáticas y geográficas del AMVA no permiten que las partículas suban lo suficiente para sobrepasar las montañas, quedando suspendidas en la atmósfera.

Sobre la contaminación generada por fuentes móviles se ha procurado establecer políticas que han sido insuficientes, por eso en el AMVA persiste altas tasas de contaminación ambiental y, en tal razón, se debe tomar medidas estructurales para mejorar la calidad del aire, pues las autoridades tienen esa responsabilidad, y a los ciudadanos les corresponde participar, porque es urgente cambiar de hábitos y pensar más en el bien común que en el individual (Ospina, 2017).

2. MARCO REFERENCIAL

De acuerdo con la Constitución colombiana de 1991:

- Artículo 49: La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud. Corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de servicios de salud a los habitantes y de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad. También, establecer las políticas para la prestación de servicios de salud por entidades privadas, y ejercer su vigilancia y control. Así mismo, establecer las competencias de la Nación, las entidades territoriales y los particulares, y determinar los aportes a su cargo en los términos y condiciones señalados en la ley. Los servicios de salud se organizarán en forma descentralizada, por niveles de atención y con participación de la comunidad. La ley señalará los términos en los cuales la atención básica para todos los habitantes será gratuita y obligatoria. Toda persona tiene el deber de procurar el cuidado integral de su salud y la de su comunidad.
- Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.
- Artículo 334: La dirección general de la economía estará a cargo del Estado. Este intervendrá, por mandato de la ley, en la explotación de los recursos naturales, en el uso del suelo, en la producción, distribución, utilización y consumo de los bienes, y en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir en el plano nacional y territorial, en un marco de sostenibilidad fiscal, el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades

y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano. Dicho marco de sostenibilidad fiscal deberá fungir como instrumento para alcanzar de manera progresiva los objetivos del Estado Social de Derecho. En cualquier caso, el gasto público social será prioritario. Entre otros.

3. MÉTODO

El objeto se enfoca en investigar sobre combustibles limpios que reduzcan contaminantes emitidos por fuentes móviles, las cuales generan el 82% de la contaminación del aire en el AMVA. Se realiza una investigación con de diferentes combustibles limpios para determinar cuál se adecúa más a las necesidades de reducir los contaminantes emitidos por las fuentes móviles. Se investiga las normativas y el estado de arte, evaluando las que más han aportado a la calidad de aire desde la óptica de los combustibles limpios implementados de acuerdo con dichas normativas.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Es necesario mejorar el acceso a energías generadas principalmente por fuentes renovables, y en el AMVA se han tomado medidas paliativas para afrontar las crisis que generan la presencia de material particulado (PM 2.5)_{um} en cantidades altas de más de 55_{ug/m³} con lo que se genera la declaratoria de la alerta roja ambiental (Restrepo, 2017).

Empresas Públicas de Medellín EPM que es un gran generador de energía eléctrica, lo cual se debe aprovechar al máximo para implementar una movilidad eléctrica sostenible. Entonces, hay que pensar en medidas a mediano y largo plazo, en un fondo de renovación vehicular particular e incentivos para vehículos de carga eléctrica. La idea es tener un plan piloto en el Valle de Aburrá en el que estén involucrados los entes territoriales, EPM, el Gobierno Nacional y ciudadanía, y avanzar hacia la movilidad eléctrica. Dentro del Plan Metropolitano de Gestión de la Demanda se incluye procesos como las ciclo rutas y la movilidad eléctrica. Teniendo en cuenta que para llegar a la movilidad eléctrica se requiere un plan a largo plazo, se debe de evaluar con prontitud la calidad de los combustibles en Colombia (Baraya, 2017).

La implementación de programas que permitan la producción de tecnologías compatibles con el uso de combustibles más limpios ha contribuido a bajar la contaminación ambiental en los países de la UE, donde la normativa EURO ha regido. El monitoreo y control llevaron a la actualización de las normas que empezaron en la Euro I y que ya está en la Euro VI, la cual redujo la proporción de azufre en el diésel a 10/15 ppm, lo que deriva en una reducción aproximada de 99% de PM_{2.5}, en comparación con la combustión de combustible de 2.000 ppm de azufre sin requisitos de control. En Estados Unidos se cuenta con la norma 2004 y 2010 que equivale a las normativas Euro.

Colombia no ha sido indiferente a la calidad de los combustibles, y en 1991 Ecopetrol diseñó un programa de mejoramiento de calidad de la gasolina de motor, conocido como *Gasolina Verde*, con el que se eliminó el plomo; desde 2005 comenzaron a usarse biocombustibles con el objetivo de bajar las emisiones contaminantes de los combustibles fósiles mediante el uso del bioetanol, proveniente de la caña de azúcar, y el biodiésel, extraído del aceite de palma. En la actualidad la gasolina debe tener entre 8 y 10 por ciento de bioetanol, mientras que el Acpm 10 por ciento en biodiésel. Sin embargo, a raíz de la contaminación en Medellín, se comprobó que las cuotas de bioetanol en la gasolina eran del 6 por ciento, por lo cual el Ministerio de Minas y Energía, mediante la resolución 40277, incrementó la oferta de bioetanol en la gasolina del 6 al 8 por ciento en Antioquia, en parte por los cambios climáticos que se dan en esta región. (Baraya, 2017).

Según la Federación Nacional de Biocombustibles esta cuota se debe a que hubo una coyuntura de baja cosecha de caña de azúcar causada por el *fenómeno del niño*, lo cual coincidió con la detención de algunas plantas por mantenimiento. Actualmente, los cultivos se están recuperando y con la entrada en operación de la planta de BioEnergy de Ecopetrol se espera que la oferta aumente en el país. Las mezclas de bioetanol y biodiésel en los combustibles varían por disposición del Ministerio de Minas, dependiendo de la demanda de cada ciudad y la cantidad de biocombustible disponible. Claro que el esfuerzo por los biocombustibles debe de complementarse con vehículos que los adopten (Baraya, 2017).

Néstor Rojas, profesor asociado del departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, afirma que es necesario hacer un mejor control para que los ingresos de vehículos cumplan con estándares exigentes de emisión con los combustibles, esto se lograría con el establecimiento de un centro de control y certificación vehicular similar al 3CV de Chile, que certifica que todos los vehículos importados cumplen con las normas de emisiones.

En Colombia los niveles de azufre en el Acpm han bajado y cumplen con la norma Euro VI. El objetivo del país es hacer más exigente esa norma para que haya menos afectaciones a la salud de la población con un aire más limpio. El presidente Iván Duque sancionó la Ley 1972, que fijó el derrotero del país en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes provenientes de motocicletas y automotores con motores diésel, para lo cual se requiere combustibles y motores más limpios. Según la norma esto significa que para el combustible diésel y a partir del 1 de enero de 2023, el contenido de azufre que se permitirá en el ACPM será entre 15 y 10 partes por millón (ppm), y desde el 1 de enero de 2025 estos niveles no podrán superar las 10 (ppm). Ecopetrol ya produce Diésel Euro VI, es decir, con menos de 10 partes por millón (ppm) de azufre.

Aunque esto es una gran mejora, se debe procurar mezclas con combustibles limpios o combustibles limpios en su totalidad, puesto que con el nivel de mezcla actual las emisiones de gases efecto invernadero evitadas por el uso de bioetanol están en alrededor del 5% por cada galón de gasolina que se consume en el país. Por su parte, con el biodiésel se ha calculado unas emisiones evitadas promedio del 4% por cada galón de Acpm consumido con la mezcla actual (Baraya, 2017).

Ecopetrol estima que la producción de bioetanol llegará a su capacidad máxima de producción de 504 mil litros diarios; con dicho aumento, que elevaría en casi un 20% la producción de etanol en el país, se permitiría subir al 10% la mezcla con gasolina en todo el territorio nacional (Baraya, 2017a). Cabe aclarar que el 100% del bioetanol comercializado en el país se transporta a través de carro tanques hasta los centros de los distribuidores mayoristas ubicados en diversas regiones, donde se realiza la mezcla antes de ser enviado a estaciones de servicio. Actualmente, se encuentran en producción 10 empresas de biodiésel, de las cuales cinco reportaron para el 2016 una producción de 447.768 toneladas. Por su parte, Ecodiesel tiene una capacidad de producción de 100 mil toneladas anuales a partir de aceite de palma, y aproximadamente el 80% es mezclada, comercializada y distribuida a través del sistema de poliductos a los distribuidores mayoristas.

Si bien se ha hecho esfuerzos, también hay que ser conscientes de que falta compromiso por parte del Estado para avanzar en tecnologías y combustibles más limpios (Baraya, 2017). El asunto es que el país ha realizado esfuerzos para producir combustibles menos contaminantes, pero la política ambiental sigue desactualizada y le limita a indicarles a los importadores automotrices la posibilidad de traer vehículos que cumplan con normas más modernas y amigables con el medio ambiente.

Mientras la industria avanza cada día en la investigación, desarrollo y producción de motores más eficientes y menos contaminantes, basados en la normativa ambiental europea Euro VI (Baraya, 2017a), Colombia se limita a exigir motores que cumplan con la norma Euro IV. Estas normas son un conjunto de requisitos de emisiones para los motores, que han venido evolucionado hacia patrones cada vez más exigentes, impulsando importantes avances en el desarrollo de motores y sistemas de control de gases, mejoras en los combustibles y promoviendo nuevas tecnologías en beneficio del medio ambiente. Para que los fabricantes de vehículos (familiares, pasajeros y carga) puedan comercializarlos, deben fabricar motores que cumplan con la norma Euro VI (para Estados Unidos y Europa), las cuales buscan que las emisiones contaminantes sean lo menos perjudiciales para el medio ambiente.

Por ejemplo, los fabricantes de vehículos con motores diésel para carga y pasajeros que se comercializan en Colombia, que tienen a su vez una participación importante en los sistemas masivos de transporte, traen al país máquinas que responden a los requisitos de la norma Euro VI, que sufren problemas técnicos cuando tienen que usar un ACPM diferente a la normativa para el cual no fueron diseñados. Ante la necesidad de combustibles limpios el país está en capacidad de producir Euro VI y para Ecopetrol, el objetivo de buscar mayor calidad en los combustibles, implicó grandes inversiones que le permiten al Estado seguir avanzando

y ofrecerles garantías a los fabricantes de vehículos para ofrecer motores con tecnologías modernas y sin temer por la calidad de los combustibles.

La contaminación ambiental, y la actualización de las normativas con su respectiva rigurosidad de seguimiento y exigencia, apunta a que en el 2040 la movilidad en la UE regida por la norma Euro será eléctrica, incluyendo también vehículos híbridos. La decisión obedece a que varias ciudades se consideran con alta contaminación y le apuestan fuertemente a la movilidad eléctrica con programas de subsidio para adquirir esta tecnología. Por su parte, el gobierno noruego ha manifestado que dicha medida podría regir antes del 2025, dado que en este país es más fácil porque es uno de los más avanzados en movilidad eléctrica, tiene una mejor infraestructura de carga, menos habitantes e ingresos *per cápita* altos.

La Unión Europea ha hecho de la lucha contra el cambio climático una de sus señas de identidad, ha formulado una hoja de ruta para la descarbonización profunda de su economía en el horizonte 2050, y la ha acompañado de las respectivas estrategias sobre energía, transporte, eficiencia, renovables, desarrollo tecnológico y apoyo a la innovación (Vargas et al., 2018). Desde 1990 es la principal impulsora de la respuesta internacional a la crisis climática, liderazgo que en tiempos recientes co-protagoniza con China. En ese sentido, el principal logro europeo a lo largo de ese tiempo ha sido desacoplar de forma sustancial el desarrollo de la economía de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. A lo largo este siglo, al tiempo que la economía ha crecido un 53% en términos reales, las emisiones totales han disminuido un 23% (Vargas et al., 2018).

La importancia que la Unión Europea le otorga al cambio climático se debe a la consideración de que es el problema llamado a definir a nuestra generación. Según el estudio de opinión realizado en 38 países por el Pew Research Center (Global Attitudes y Trends, 2017), las principales amenazas identificadas por la mayoría social internacional son el terrorismo (67%) y el cambio climático (66%), este último especialmente mayoritario entre las personas de menos de 35 años. En el estudio, el 89% de la población española considera que el cambio climático supone una importante amenaza para el país. En ese marco de referencia, el Acuerdo de París ha supuesto un punto de inflexión para el sistema energético global. La descarbonización sistemática y profunda del sistema energético global ya no es una consideración teórica sino un horizonte político a lograr en el siglo XXI. El debate internacional no es ya sobre el objetivo climático en sí, sino sobre la estrategia que permita alcanzarlo y sus implicaciones (Vargas et al., 2018).

En consecuencia, las Naciones Unidas hacen un llamado enérgico a la comunidad internacional para que intensifique sus esfuerzos de mitigación, señalando que el Diálogo Facilitador entre los países firmantes del Acuerdo de París debe ser un momento clave para elevar el nivel de ambición. Y es que, dada su actual formulación, incluso si se cumple plenamente lo acordado, la senda futura del incremento de la temperatura se situará en 3°C, en lugar de los 1,5-2°C aprobados (Vargas et al., 2018).

Dejando para otros estudios la imprescindible descarbonización de la generación eléctrica, la transición hacia un transporte por carretera libre de emisiones pasa por la progresiva sustitución de los vehículos con motor de combustión interna, por otros libres de emisiones, tales como los de pila de combustible y fundamentalmente los vehículos eléctricos. Sobre estos se sustentará la mayoría del transporte de personas hacia mediados del siglo XXI, con vehículos de transporte masivo como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Transporte de pasajeros 100% eléctrico

Obviamente, combinado con la citada generación eléctrica libre de emisiones, ya que ambos sectores, el de la generación eléctrica y el del transporte por carretera, habrán de evolucionar paralelamente. Sin una descarbonización de la generación eléctrica la adopción de vehículos eléctricos solamente trasladaría la contaminación desde el centro de las ciudades a los lugares de generación eléctrica, resolviendo con ello algunos problemas de contaminación urbana y sus efectos directos sobre la salud de los habitantes de las grandes ciudades, pero sin resolver el problema de las emisiones de GEI, el del subsiguiente aumento de las temperaturas, ni el de la contaminación en un sentido general (Vargas et al., 2018).

En este contexto, los avances tecnológicos y la progresiva reducción de costos han conducido en los últimos años a una formidable penetración de la energía eólica y la solar fotovoltaica en el sector de la generación eléctrica. Entre 2005 y 2015 los costes de la eólica terrestre descendieron 40% y la solar fotovoltaica 80%, llevando a ambas a unos costos competitivos a los de cualquier otro medio de generación eléctrica (Vargas et al., 2018).

En el caso del vehículo eléctrico la reducción de costos ha sido igualmente significativa y, según datos del Departamento de Energía de los EE.UU. el precio de las baterías de iones de litio pasó de ser \$1000/kWh en 2008 a \$268/kWh en 2015. Esto supone que la batería 5 de un coche eléctrico medio (25 kWh) pasó en ese tiempo de \$25000 a \$6700. Aunque los costos de los turismos eléctricos aún son mayores que los de los convencionales y su autonomía no es parecida, es plausible esperar un progresivo acercamiento que lleve a los vehículos eléctricos a ser competitivos con los convencionales en los próximos años.

De hecho, Tesla ha anunciado precios de las baterías de \$100/kWh para 2020 y VW ha anunciado un Golf eléctrico al mismo precio, con las mismas prestaciones de los de gasolina y autonomía de 400 km. En este estudio se supone un precio más conservador de \$150/kWh para las baterías (Vargas et al., 2018).

Independientemente de que los impulsos tecnológicos, económicos y políticos hagan que el proceso de evolución hacia el vehículo eléctrico tenga un mayor o menor ritmo, es claro que se está ante una evolución imparable que conlleva una serie de acciones técnicas complementarias al desarrollo del propio vehículo eléctrico. Además de acciones relativas a la red, el mercado eléctrico y a todos los servicios e instalaciones necesarios para hacer posible la recarga cotidiana de un parque de vehículos, que hasta ahora se recarga en las gasolineras (Vargas et al., 2018)

Se debe pensar en una movilidad de servicio público sostenible, eficiente y de calidad brindando satisfacción a la comunidad y concientizándola de usar con menos frecuencia el transporte particular (Restrepo, 2017).

6. CONCLUSIONES

Hay que tener en cuenta las limitaciones encontradas al momento de llegar con combustibles limpios, que de acuerdo con las lecturas y referencias citadas es importante que los lineamientos se estipulen a plazos para ir renovando las fuentes móviles, y que se enfoquen a cumplir con normativas que ayuden a cuidar el medio ambiente.

El parque automotor del Valle de Aburrá no tiene condiciones tecnológicas para un combustible más limpio, porque ha envejecido, sobre todo camiones y volquetas, y por eso se está estudiando la manera de renovarlo, para que tenga una flota de máximo 10 a 15 años de vida, además hay que exigirle con vehemencia a Ecopetrol que el combustible que envía sea más limpio. Ya que es la empresa colombiana que suministra y trata los hidrocarburos en todas sus etapas desde su hallazgo, pasando por su extracción y refinación, debe de llegar a tener una contaminación máxima de 5 ppm de azufre en el diésel. También en fomentar el uso de autos más amigables con el medio ambiente.

Algunos estudios muestran que el uso de combustibles bajo en azufre genera reducciones hasta en un 99% de emisiones contaminantes, como se puede evidenciar en la Figura 5. Teniendo en cuenta que se debe tener monitoreo y control de resultados de normativas, evaluándolas, actualizándolas y llevándolas a normas más estrictas, que comprometan tanto a las empresas de combustibles como a las fabricantes de vehículos a mejorar las tecnologías de sus productos, lo cual demuestra compromiso gubernamental.

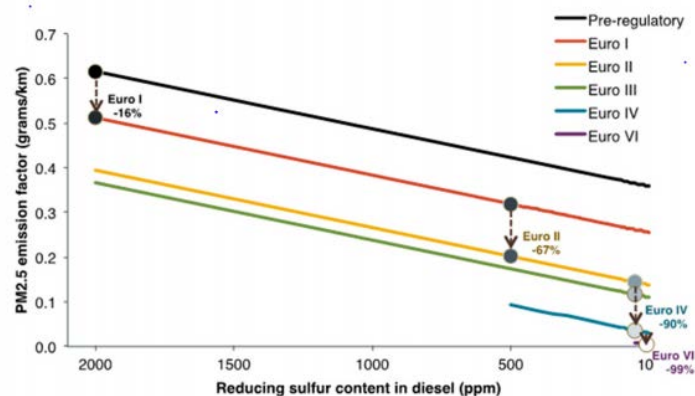


Figura 5. Impacto de los niveles de azufre en el combustible y las normas de control de emisiones sobre las emisiones de PM_{2.5} de vehículos diésel pesados (gramos/km)

Técnicamente el país produce combustibles Euro VI, pero el Gobierno no exige aún una norma ambiental que, con relación a tecnología, renueve el parque automotor, las cuales buscan que las emisiones contaminantes sean lo menos perjudiciales para el medio ambiente.

Los ciudadanos deben contribuir con alternativas de transporte e invertir en tecnologías que adopten combustibles limpios, cada vez tienen que pensar en cómo usar el carro en grupo; también se puede mejorar la calidad del aire con un POT que lleve a la movilidad empresarial sostenible, de tal manera que se reduzcan los trayectos.

Se debe de tener presente que los combustibles limpios van hacia a una movilidad eléctrica sostenible, por lo que hay que buscar que se den las condiciones, donde los poderosos del sector energético permitan la transición a combustibles más limpios. De esta manera se podrá suplir la dependencia del petróleo, una cuestión urgente debido a su alta contaminación y a su reserva agotable a corto plazo, con tecnologías limpias y eficientes.

Ya no es una consideración teórica sino una necesidad a corto plazo poder llegar a una descarbonización sistemática y profunda del sistema energético global. Se debe unir esfuerzos abordando una estrategia que permita el objetivo de detener el rápido cambio climático y el calentamiento global, y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá tiene la necesidad de ser pionera en Colombia

Se debe de hacer esfuerzos y profundizar en una descarbonización de la generación eléctrica, desde EPM hasta los entes gubernamentales, trasladando la generación de energía convencional a energías nuevas renovables no-convencionales, como solar, eólica, geotérmica y mareomotriz, entre otras. También hay que procurar porque la adopción de vehículos eléctricos no traslade la contaminación desde el centro de las ciudades a los lugares de generación eléctrica, resolviendo con ello algunos problemas de contaminación urbana y sus efectos directos sobre la salud de los habitantes de las grandes ciudades, pero sin resolver con ello el problema de las emisiones de GEI.

REFERENCIAS

- Restrepo, C. (2017). *Sí existen ideas para cambiarle la cara al Aire en el Aburrá*. El Colombiano. Recuperado: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/propuestas-para-mejorar-calidad-del-aire-en-medellin-KY6203480>
- Baraya, A. (2017). *¿Qué tan limpios son los combustibles en Colombia?* Motor. Recuperado: <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/limpios-son-combustibles-colombia/28646#:~:text=En%20la%20actualidad%20la%20gasolina,10%20por%20ciento%20en%20biodi%C3%A9sel.&text=En%20nuestro%20pa%C3%ADs%20los%20niveles,con%20la%20norma%20Euro%20IV>
- Baraya, A. (2017a). *Colombia cerca y lejos de Euro V*. Motor. Recuperado: <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/colombia-cerca-lejos-euro-v/29098>
- Barbero, J. y Galeota, C. (2000). *Las ciudades y la movilidad sostenible*. Universidad Nacional de San Martín.
- Cárdenas, C., Pardo, C. F., Galeano, E., Prieto, E., Sarmiento, I. R., Botero, L. D. y Tobón, V. (2016). *Movilidad en el Valle de Aburrá*. Medellín Cómo Vamos.

- Comisión de Regulación. (2016). *Código de Medida de Combustibles Limpios*. CREG.
- Ospina, Z. G. (2017). *Contaminación del aire en Medellín exige medidas de fondo*. El Colombiano. Recuperado: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/sin-plan-de-fondo-frente-a-amenaza-ambiental-BX6011388>
- Pardo, C. F. (2009). Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina. CEPAL.
- El Nuevo Siglo. (2017). *Bioenergy desarrolla combustibles limpios*. El Nuevo Siglo. Recuperado: <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/03-2017-bioenergy-acelera-desarrollo-de-los-combustibles-limpios>
- Zapata, C. E. (2018). *Caracterización de combustibles en sitios de distribución, y de servicios para verificar su calidad*. Universidad Nacional de Colombia.

Degradación de compuestos fenólicos presentes en residuos líquidos agroindustriales mediante fotocátalisis heterogénea

Alejandra Gallegos-Alcaíno¹

Nathaly Robles-Araya²

Camila Avalos Briceño³

Alexander Alfonso-Álvarez⁴

Adriana Mera Benavides⁵

Carlos Rodríguez⁶

Norma Sánchez-Flores⁷

Francisco Romero-Salguero⁸

¹⁻⁶ *Universidad de La Serena*

Chile

⁷ *Universidad Nacional Autónoma de México*

México

⁸ *Universidad de Córdoba*

España

Los residuos industriales líquidos (riles) pueden tratarse a través de técnicas de tratamientos de aguas residuales que utilizan procedimientos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes del efluente. Sin embargo, las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales no están diseñadas para eliminar de manera eficaz los compuestos orgánicos difíciles de degradar, o bien, estas plantas no incluyen tratamientos para la remoción de este tipo de contaminantes. La fotocátalisis heterogénea, es uno de los Procesos de Oxidación Avanzada más eficientes y sustentables para la degradación de estos contaminantes, dado que remueve los compuestos recalcitrantes del agua de manera rápida, a menor costo que los tratamientos convencionales, y el fotocatalizador se puede activar mediante radiación solar. El oxyoduro de bismuto BiOI es un fotocatalizador atractivo para utilizarse en procesos de fotocátalisis heterogénea. Sin embargo, para su uso a escala industrial se requiere inmovilizarlo. Algunos estudios muestran que las zeolitas sintéticas son un buen soporte para este fotocatalizador. La obtención de un compósito BiOI/zeolita sintética permitirá una mayor eficiencia en la separación, recuperación y reutilización de este material a escala industrial. En este trabajo se sintetizaron 11 compósitos BiOI/mordenita (90) usando el método de coprecipitación/crecimiento solvothermal a diferentes condiciones de síntesis (tiempo y temperatura) y utilizando el software comercial MODE PRO 12.0.1; como variable de respuesta se utilizó la degradación de ácido cafeico en agua. Se determinó que las condiciones óptimas para la síntesis del compósito BiOI/mordenita (90) son 187°C y 9 horas.

¹ Contacto: gallegos.alcaino@gmail.com

² Contacto: nathyrobles.araya@gmail.com

³ Contacto: c.avalosb1303@gmail.com

⁴ Contacto: alexander.alfonso@userena.cl

⁵ Contacto: amera@userena.cl

⁶ Contacto: arodriguez@userena.cl

⁷ Contacto: norma.sanchez@icat.unam.mx

⁸ Contacto: qo2rosaf@uco.es

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos industriales líquidos (riles) generalmente pueden tratarse a través de técnicas de tratamientos de aguas residuales que utilizan procedimientos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes del efluente (Luo et al., 2020). El proceso biológico se basa en la descomposición de un contaminante mediante la actividad metabólica de organismos vivos como bacterias y hongos, sin embargo, los compuestos orgánicos no biodegradables como productos farmacéuticos, compuestos fenólicos, colorantes y plaguicidas son resistentes a este proceso (Akerdi y Bahrami, 2019). Es por esta razón que los tratamientos de aguas residuales convencionales no logran eliminar de manera eficaz los compuestos orgánicos difíciles de degradar, o bien, estos tratamientos no incluyen un procedimiento para la remoción de este tipo de contaminantes (Luo et al., 2020; Pesqueira et al., 2020; Rekhate y Srivastava, 2020; Rueda et al., 2020).

Las aguas residuales provenientes del sector agroindustrial, tales como la industria del vino, del pisco y del aceite de oliva, contienen una alta carga orgánica no biodegradable, alta fitotóxicidad y propiedades antimicrobianas (Genethliou et al., 2020; Tri et al., 2020), atribuibles en gran medida a la presencia de compuestos fenólicos (Rodrigues et al., 2020). Los compuestos fenólicos como el ácido gálico, ácido cafeico y ácido gentísico deben ser eliminados completamente de las aguas residuales antes de descargarse al medio ambiente (Pham et al., 2016), ya que se ha demostrado sus efectos negativos en las poblaciones microbianas del suelo y su toxicidad en los ecosistemas acuáticos (Dermeche et al., 2013). Además, estos compuestos provocan efectos inhibitorios sobre la actividad microbiana de los tratamientos biológicos, debido a que son responsables de la muerte de los microorganismos (Asencios et al., 2020).

El uso de procesos de oxidación avanzada POA son una alternativa con gran potencial para descontaminar riles con presencia de compuestos orgánicos difíciles de degradar (Ayekoe et al., 2017; Wang y Wang, 2020) debido a su alta capacidad oxidante (Du et al., 2020). La fotocatálisis heterogénea, es uno de los POA más eficientes y sustentables en la degradación de contaminantes no biodegradables (Viet et al., 2019), dado que remueve los compuestos recalcitrantes del agua de manera rápida, a menor costo que los tratamientos convencionales y, dependiendo del fotocatalizador, puede utilizar la radiación solar en todo su espectro (Chuaicham et al., 2020; Long et al., 2020; Mera et al., 2016; You et al., 2019).

El proceso de fotocatálisis heterogénea se basa en la transferencia de cargas a través de la interfaz formada entre un fotocatalizador, que es un material semiconductor, el cual se activa mediante la absorción de radiación UV o visible en un medio que puede ser acuoso o gaseoso (Gołębiewska et al., 2018). La excitación del fotocatalizador lleva a la formación de pares de electrón-hueco que provocan reacciones tipo REDOX que degradan las moléculas y reducen su grado de toxicidad (Mera, 2014; Morais et al., 2021).

Las principales limitaciones para la aplicación de la fotocatálisis heterogénea como tecnología de tratamiento de agua a gran escala están asociadas a la post-separación, recuperación y reutilización de fotocatalizadores usados en estos procesos (Kosera et al., 2017; Rueda et al., 2020; Sudhaik et al., 2018). Una de las dificultades para usar estos materiales a gran escala es su tamaño nanométrico (Sudhaik et al., 2018), debido a que su aplicación industrial requiere utilizar membranas micrométricas para recuperar el polvo de fotocatalizador desde el agua, siendo esta una operación que encarecen los costos del sistema fotocatalítico (Xiao et al., 2010).

Por lo tanto, uno de los principales retos en el ámbito técnico y económico para la aplicación a escala industrial de la fotocatálisis heterogénea, es obtener un fotocatalizador que pueda ser fácilmente recuperado después del tratamiento. Una forma para recuperar el fotocatalizador en los POAs, es inmovilizar estos materiales nanométricos en soportes más grandes, permitiendo con ello, la separación, recuperación y reutilización del fotocatalizador desde el agua (Yildiz et al., 2020).

Existen soportes de distinta naturaleza: naturales o sintéticos, orgánicos e inorgánicos, compuestos no porosos, microporosos, mesoporosos y estructuras jerárquicas en diversas formas como microesferas, polvos, películas, multicapas, fibras y espumas (Parvulescu et al., 2020). Algunos soportes más utilizados son las zeolitas, mallas mosquiteras, polímeros, vidrio, carbón activado, grafeno, óxido de silicio, fibras

cerámicas, material magnético y celulosa (Adhikari et al., 2016; Chang et al., 2015; Du et al., 2017; Imam et al., 2020; Jo y Tayade, 2016; Liang et al., 2018; Prasad et al., 2020; Sacco et al., 2018; Srikanth et al., 2017; Yadav et al., 2019; Younis et al., 2020).

Entre los soportes mencionados, las zeolitas son buenos materiales porque exhiben una alta estabilidad térmica, alta fotoestabilidad, son intercambiadores de iones y son capaces de adsorber sustancias selectivamente en función de su tamaño molecular (Younis et al., 2020). Por tanto, al combinar las propiedades de materiales adsorbentes de mayor tamaño como son las zeolitas con las propiedades de un semiconductor, hace que el nuevo compuesto mantenga o aumente el rendimiento fotocatalítico, posibilita un aumento del porcentaje de recuperación y el grado de reutilización del fotocatalizador, y de esta manera, se puede introducir la fotocatálisis heterogénea a escala industrial (Chang et al., 2015; Younis et al., 2020; Zhao et al., 2014). El fotocatalizador más estudiado es el TiO_2 P-25 en el tratamiento de aguas residuales, porque es un material estable y de bajo costo, sin embargo, las principales desventajas son su alta tasa de recombinación, su tamaño nanométrico y que su activación requiere una radiación de $\lambda < 390$ nm, lo que corresponde sólo al 5% del espectro solar (Asencios et al., 2020; Mera et al., 2016). Estas desventajas aumentan los costos de operación y dificulta la sostenibilidad de esta tecnología a escala industrial (Viet et al., 2019).

Considerando estas limitaciones, los estudios actuales se han enfocado en la síntesis de fotocatalizadores con gran potencial como es el oxioduro de bismuto BiOI, debido a su comprobada eficiencia a escala de laboratorio en la degradación y mineralización de diferentes contaminantes orgánicos no biodegradables o con baja biodegradabilidad (Mera et al., 2014; Zhang et al., 2020). La actividad fotocatalítica del BiOI es mayor que el TiO_2 P-25 bajo radiación solar simulada, ya que aprovecha el 95% de la luz visible debido a su bajo band gap de 1.9 eV (Mera et al., 2014, 2016). Sin embargo, la baja granulometría del BiOI hace que presente las mismas desventajas que los fotocatalizadores en polvo para su recuperación postratamiento. Es así, que en la última década las investigaciones basadas en fotocatálisis heterogénea se centran, principalmente, en la fabricación de fotocatalizadores que se activen por luz visible, que presenten una alta actividad fotocatalítica, baja tasa de recombinación y alta eficiencia en la separación, recuperación y reutilización del material postratamiento (Qian et al., 2017).

Por lo tanto, se hace necesario fabricar un compuesto que sea capaz de cumplir con las necesidades actuales, en este sentido investigaciones han demostrado que es posible acoplar el BiOI a zeolita con alta actividad fotocatalítica; Zhao et al. (2014a) sintetizaron mediante la ruta hidrotermal un compuesto híbrido tridimensional de BiOI/zeolita, las condiciones de síntesis fueron 180°C durante 7 horas, el material fabricado alcanzó un 94,8% de actividad fotocatalítica sobre la degradación de azul de metileno en agua bajo radiación visible durante 10 minutos. Sin embargo, la literatura no reporta más condiciones de temperatura y tiempo para obtener este tipo de compósitos, por lo que es imprescindible conocer el efecto de las condiciones de síntesis sobre las propiedades de los compósitos BiOI-zeolita para fabricar materiales en condiciones optimizadas y permitir la reproducibilidad del método.

Debido a lo anterior, este estudio realizó una optimización del proceso de síntesis de un compuesto de BiOI acoplado a zeolita sintética mordenita (90) para fabricar de manera estandarizada este tipo de materiales. De esta forma, se obtendrá un fotocatalizador que muestre la más alta actividad fotocatalítica en la degradación y mineralización de contaminantes orgánicos no biodegradables y además, posibilitar su potencial aplicación a escala industrial para la descontaminación de aguas residuales que contengan compuestos fenólicos.

En esta investigación se determinaron los valores óptimos de temperatura y tiempo para la síntesis del compuesto BiOI/zeolita mordenita (90) mediante la ruta de coprecipitación/crecimiento solvotermal. Para ello, se utilizó un diseño factorial CCC junto a la metodología de superficie de respuesta RSM (Mera et al., 2020; Šumić et al., 2016), usando los rangos de temperatura de 126°C a 180°C y rangos de tiempo de 7 a 18 horas. Se determinó la actividad fotocatalítica de los compósitos obtenidos mediante el porcentaje de degradación del compuesto modelo ácido cafeico. Las condiciones de síntesis donde se logra la más alta actividad fotocatalítica del compuesto BiOI/mordenita (90) sobre la degradación del compuesto fenólico, fueron a una temperatura de 187°C y en un tiempo de 9 horas bajo radiación solar simulada.

2. MARCO CONCEPTUAL

Gran parte del agua que se utiliza en el sector agroindustrial acaba finalmente como corriente de agua residual; a pesar de que las aguas industriales generadas por la producción de vino, pisco y aceite de oliva, pueden ser tratadas de manera eficiente con plantas de tratamiento biológico, esto no es suficiente para cumplir con las exigencias de la normativa ambiental vigente (MINSEGPRES, 2001). Es por ello, que los tratamientos fisicoquímicos conocidos como procesos de oxidación avanzada POA, son una alternativa atractiva para complementar el tratamiento de aguas residuales con presencia de compuestos difíciles de degradar (Du et al., 2020).

2.1 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso con el que se eliminan distintos tipos de contaminantes, siguiendo varias etapas. En un primer tratamiento, las aguas residuales se vierten en un sistema, donde los sólidos de mayor tamaño sedimentan en el fondo del sistema y las piezas ligeras flotan en la superficie haciendo más fácil su remoción. Un segundo tratamiento, generalmente biológico involucra microorganismos, los cuáles reducen la materia orgánica y biológica, sin embargo, existen compuestos no biodegradables presentes en las aguas residuales, como los ácidos fenólicos, los que muestran una alta actividad antibacteriana, provocando la muerte de los microorganismos que se utilizan para depurar este tipo de aguas, por lo tanto, se requiere un tratamiento previo a éste para hacerlo más eficiente.

Finalmente, se aplica un tercer tratamiento, donde se emplean métodos físicos y/o químicos para eliminar metales pesados, colorantes, entre otros contaminantes (Ahmed et al., 2021). Sin embargo, los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales son insuficientes para descontaminar los efluentes industriales que están constituidos por matrices complejas (Milh et al., 2021).

2.2 Ácido cafeico como contaminante

Los compuestos fenólicos son responsables de las funciones estructurales y protectoras en las plantas, contribuyendo al sabor, color, astringencia y amargor de frutas y verduras (Soto et al., 2011). En la agroindustria del vino, pisco y aceite de oliva, parte de estos compuestos fenólicos se convierten en residuos industriales líquidos (riles), los cuales son desechados en baja cantidad para ser recuperados como antioxidantes, pero en la cantidad suficiente para ser tratados como contaminantes. Considerando que son tóxicos y peligrosos para el medio ambiente, debido a que al ser compuestos aromáticos resistentes a la degradación, intervienen en los procesos de descontaminación convencional de aguas residuales, de manera que inhiben la actividad microbiana de los procesos de depuración biológica (Asencios et al., 2020).

Los ácidos fenólicos de interés se encuentran dentro de la categoría del grupo de los no flavonoides, lo que consisten en un anillo fenólico, más una función orgánica de ácido carboxílico. Existen varios tipos naturales importantes de ácidos fenólicos que son los ácidos hidroxibenzoicos como el ácido gálico y los ácidos hidroxicinámicos, por ejemplo, el ácido cafeico.

2.3 Fotocatálisis Heterogénea FH

Actualmente, un tratamiento estudiado para eliminar contaminantes resistentes a la biodegradación son los POA, cuyo proceso es muy poco selectivo permitiendo la degradación de una gran variedad de contaminantes en medios como agua, aire y suelo. Estos procesos poseen una alta efectividad para oxidar materia orgánica, mediante reacciones de óxido-reducción, lo que provoca grandes cambios en la estructura de los contaminantes, generando principalmente grupos hidroxilos OH^\bullet , que son especies de alto poder oxidativo (Domingues et al., 2021). Esta particularidad permite obtener productos intermediarios menos dañinos generando moléculas más simples, por lo que los POA se pueden utilizar como pre-tratamiento o post-tratamiento para tratar aguas residuales.

Uno de los POA más utilizados es la Fotocatálisis Heterogénea, la cual se basa en la transferencia de carga a través de la interfaz (Figura 1) formada entre un semiconductor iluminado y un medio que puede ser

acuoso o gaseoso (de la Fournière et al., 2021; Mera Benavides, 2014). La fotocatalisis heterogénea se lleva a cabo en presencia de tres componentes principales:

1. Un material semiconductor.
2. Un fotón, proveniente de una fuente de radiación artificial o natural.
3. Un agente fuertemente oxidante o reductor generado en el proceso.

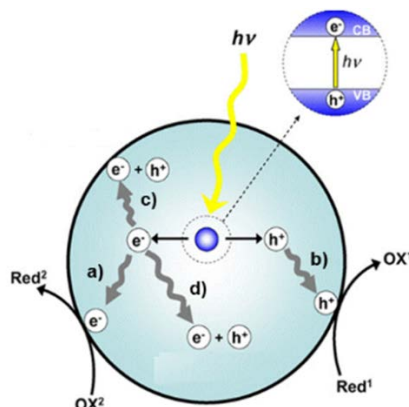


Figura 1. Procesos que ocurren en la interfaz del semiconductor bajo iluminación: a) Especie OX^2 acepta un electrón y se reduce, b) Especie Red^1 cede un electrón al hueco disponible y se oxida, c y d) proceso de recombinación con liberación de calor

Los factores más importantes a considerar en el proceso de FH son (Mera, 2014):

1. Intensidad de la radiación: es la fuente que provee la energía necesaria para llevar a cabo el proceso, por lo que es indispensable establecer el rango de longitud de onda con que se irradiará la solución a tratar, para lograr un buen aprovechamiento de la energía suministrada.
2. Oxígeno disuelto: este contribuye a disminuir la recombinación electrón-hueco, donde la concentración del oxígeno presente y la presión parcial de este en el agua afecta la velocidad de la reacción, por medio de agitación el agua puede recuperar el oxígeno consumido.
3. pH: este determina las propiedades de la carga superficial del fotocatalizador y el tamaño de los agregados que esta forma. El pH debe ser diferente al punto isoeléctrico, bajo este punto el material se carga positivamente, y sobre este punto el material se carga negativamente, por otro lado, el pH influye también en los productos intermediarios que se generan.
4. Características del catalizador: este debe tener una alta área superficial, una distribución de tamaño de partícula uniforme, forma esférica de las partículas y cristalinidad, con fin de favorecer la actividad fotocatalítica, disminuyendo la recombinación del par electrón-hueco.

3. MÉTODO

3.1 Materiales

Los reactivos utilizados en la síntesis del compuesto $BiOI/Mordenita$ (90) fueron de grado analítico: Nitrato de bismuto pentahidratado $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ (Sigma-Aldrich al 99,0%) como fuente de iones Bi^{3+} ; Yoduro de Potasio KI (Merck al 99,0%) como fuente de iones I^- ; mezcla de etanol absoluto (Merck, 99,5% v/v) y agua desionizada como solvente; zeolita sintética mordenita (90) codificada con el código CBV 90A y ácido cafeico (10 ppm) como compuesto fenólico modelo.

3.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño de experimentos basado en un análisis multivariado a través del modelo circunscrito central compuesto CCC, que consta de un diseño factorial de dos niveles con tres puntos centrales y cuatro puntos estrella (Contreras et al., 2006; Lundstedt et al., 1998; Šumić et al., 2016). Las variables se codificaron

utilizando valores unitarios, donde -1 y +1 se define como el valor más bajo y más alto, respectivamente. El punto central se codificó como 0 y se determinó por triplicado.

Se evaluó la influencia de la temperatura y del tiempo en la optimización del proceso de síntesis del compuesto BiOI/zeolita mordenita (90) para obtener la mayor actividad fotocatalítica de este material sobre la degradación del compuesto modelo ácido cafeico. El punto mínimo y máximo de la variable temperatura fue de 126 °C y 180 °C respectivamente, y el punto mínimo y máximo de la variable tiempo fue de 7 y 18 horas respectivamente (Mera et al., 2014; Zhao et al., 2014a).

La cantidad de puntos experimentales (N) se obtienen mediante el modelo CCC a partir de la expresión (1), donde K es el número de variables naturales, 2^K representa los puntos factoriales: máximo y mínimo de cada variable, 2K representa los puntos axiales o estrella: nuevos extremos máximo y mínimo de cada factor y n_c representa los puntos centrales replicados (Montgomery, 2004). De acuerdo a este modelo, se determinaron 11 corridas experimentales que se organizan en orden aleatorio con la ecuación (1), tal como se muestran en la Tabla 1.

$$N = 2^k + 2K + n_c \quad (1)$$

Tabla 1. Diseño experimental aleatorizado para la síntesis optimizada de BiOI/mordenita (90).

Corridas	Variables		Variables codificadas	
	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	*X ₁	*X ₂
1	153.0	20.3	0	$+\sqrt{2}$
2	180.0	18.0	+1	+1
3	153.0	4.7	0	$-\sqrt{2}$
4	153.0	12.5	0	0
5	153.0	12.5	0	0
6	180.0	7.0	+1	-1
7	153.0	12.5	0	0
8	126.0	7.0	-1	-1
9	191.2	12.5	$+\sqrt{2}$	0
10	114.8	12.5	$-\sqrt{2}$	0
11	126.0	18.0	-1	+1

*X₁ variable temperatura codificada, X₂ variable tiempo codificada

La variable respuesta Y fue la degradación fotocatalítica del compuesto modelo ácido cafeico bajo radiación solar simulada. La cinética de reacción sobre los primeros 20 minutos, sigue un modelo de pseudo primer orden como se expresa en la ecuación (2), donde C₀ y C son la concentración del compuesto modelo en la solución a tiempo 0 y t respectivamente, y k es la constante de velocidad (Kontos et al., 2005; Pardue, 1989), la cual se utiliza generalmente en procesos de degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos en agua, cuando la concentración del contaminante es baja (Herrmann, 1999).

$$\ln \frac{C_0}{C} = kt \quad (2)$$

La estandarización de las condiciones experimentales para comprobar la influencia de las variables temperatura y tiempo de reacción en la síntesis de BiOI/Mordenita (90), se validaron mediante la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza del 95% (Mera et al., 2020). La determinación del polinomio que describe el peso de las variables y la metodología de superficie de respuesta se realizó mediante el software comercial MODDE PRO 12.0.1.

3.3 Síntesis de zeolita

Se utilizaron 2 g de zeolita sintética mordenita (90) y se llevaron a una mufla en tres rampas de calcinación, durante 8 horas 30 minutos. La primera rampa comenzó a una velocidad de calentamiento de 0.4°C/min hasta alcanzar los 150°C, esta temperatura se mantiene por 2 horas 30 minutos. El paso intermedio se realiza aumentando la velocidad de calentamiento a 2.2°C/min hasta alcanzar los 350°C, a esa temperatura se mantiene por tres horas. En la última rampa se disminuye la velocidad de calentamiento a 0.8°C/min hasta que la temperatura se mantiene a 580°C por tres horas.

3.4 Síntesis optimizada del compuesto BiOI/Mordenita (90)

La síntesis de compósitos BiOI/Mordenita (90) se desarrolló mediante el método coprecipitación/ crecimiento solvotermal utilizando la ruta que se muestra en la Figura 2. Se adicionaron 10 mL de etanol absoluto a 0.1638 g de $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dejando la solución en agitación constante. Posteriormente, la solución fue sometida a baño ultrasónico y luego se agregaron 0.5 g de mordenita (90) calcinada.

Paralelamente, se disolvió 0.056 g de KI en 10 mL de H_2O desionizada, se dejó en baño ultrasónico. Luego, a la solución de KI se añadió gota a gota la solución de $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ preparada anteriormente. Una vez finalizada la adición, se siguió con agitación constante por 60 minutos más. Finalmente, 15 mL de la solución resultante fue transferida a un reactor de autoclave con revestimiento de teflón de 23 mL, proporcionando las diferentes temperaturas y tiempos de reacción determinados por el diseño de los experimentos que se muestran en la Tabla 1.

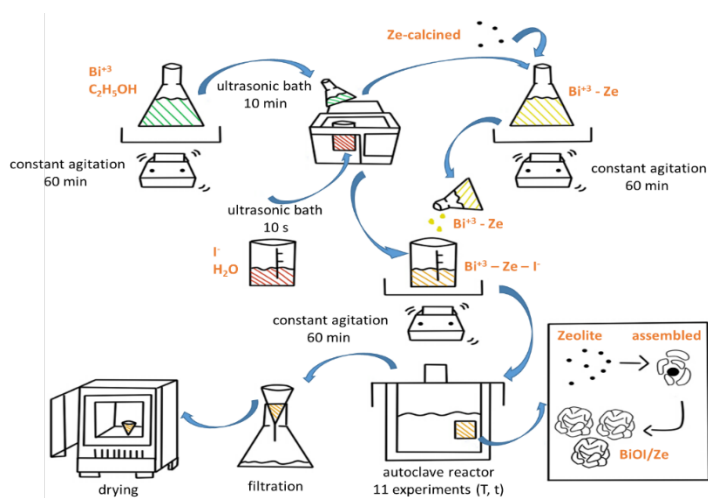


Figura 2. Representación gráfica del proceso coprecipitación/ crecimiento solvotermal para obtener materiales de BiOI/Mordenita (90)

Al final de cada corrida experimental, el reactor se enfrió hasta alcanzar la temperatura ambiente. Los polvos se separaron en un sistema de filtración al vacío y se realizó un lavado alternado con 50 mL etanol absoluto y 50 mL de H_2O desionizada hasta completar 100 mL de cada solvente. Una vez finalizado este proceso, los materiales obtenidos se secaron a 80°C por 12 horas en la mufla Carbolite Gero CWF1100. Terminado el secado, los compósitos obtenidos se guardaron en frascos ámbar rotulado.

3.5 Ensayo fotocatalítico

La actividad fotocatalítica de los 11 materiales sintetizados se evaluó a través del porcentaje de degradación del ácido cafeico bajo radiación solar simulada, para tales efectos se utilizó una lámpara de xenón (VIPHID 6000 K, 12 W) con un rango espectral de 380-900 nm.

Los ensayos fotocatalíticos ejecutados con los 11 materiales se realizaron en un reactor tipo Batch de borosilicato (Figura 3), que contenía 250 mL de solución de ácido cafeico a una concentración de 10 ppm y 0.075 g del compuesto BiOI/mordenita (90), a pH natural y a temperatura ambiente. Para alcanzar el equilibrio adsorción-desorción, el sistema fotocatalítico permaneció en oscuridad absoluta por 40 minutos antes de encender la lámpara de xenón. Después de transcurrir los 40 minutos previos comenzó la reacción fotocatalítica, esta fue activada por la radiación de la lámpara de xenón, durante 60 minutos.

Se tomaron 10 muestras de 10 mL para los 11 ensayos fotocatalíticos, en los siguientes tiempos: [-40, 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60] minutos de reacción. Las muestras fueron filtradas por una membrana de nitrocelulosa (Millipore, $0.22\ \mu\text{m}$) para separar el compuesto de la solución y dejadas en oscuridad. Posteriormente, se midió la concentración del ácido cafeico midiendo la absorbancia entre 200 y 500 nm en un espectrómetro (UV/Vis Evolution 220 Thermo Scientific).

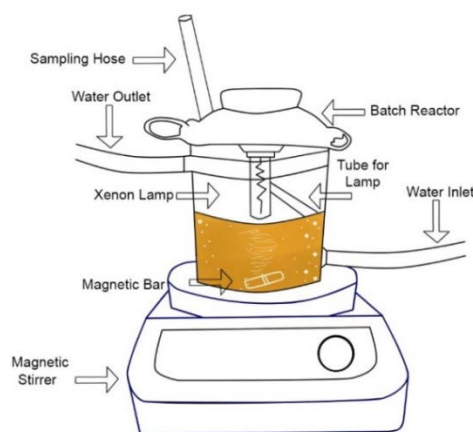


Figura 3. Unidad experimental para las pruebas fotocatalíticas

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Optimización del proceso de síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90)

Se obtuvieron 11 compósitos de BiOI/mordenita (90) mediante un análisis multivariado CCC, los experimentos fueron realizados variando simultáneamente la temperatura y el tiempo de reacción.

Para optimizar el proceso de síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90), se compararon los porcentajes de degradación experimentales con los porcentajes de degradación predichos por el modelo estadístico CCC, a los 20 minutos de reacción. Después de 20 minutos de actividad fotocatalítica, la velocidad de reacción decrece y la degradación es menos significativa.

De la Tabla 2, se puede observar que los porcentajes de degradación para cada experimento son significativamente variables, por lo que pueden existir condiciones de temperatura y tiempo en el proceso de síntesis más favorables que otras para obtener un compuesto de BiOI/mordenita (90) con la mejor actividad fotocatalítica. Entre los experimentos se pueden destacar las corridas 4, 5, 6 y 7, cuyos resultados presentaron los mayores porcentajes de degradación.

Tabla 2. Porcentajes de degradación del ácido cafeico obtenidos a los 20 minutos de reacción fotocatalítica para las 11 muestras de compósitos BiOI/mordenita (90).

Corridas	Variables		Porcentajes de degradación	
	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Y experimental (%)	Y predicho (%)
1	153.0	20.3	6.1	7.6
2	180.0	18.0	17.8	16.6
3	153.0	4.7	29.4	29.0
4	153.0	12.5	42.2	41.2
5	153.0	12.5	41.2	41.2
6	180.0	7.0	43.6	43.8
7	153.0	12.5	40.3	41.2
8	126.0	7.0	27.1	26.9
9	191.2	12.5	40.1	40.5
10	114.8	12.5	32.6	33.6
11	126.0	18.0	25.4	23.8

Posteriormente, con el fin de corroborar si el modelo es estadísticamente válido, se realizó la prueba ANOVA con un 95% de confianza. El modelo propuesto en este estudio tiene una linealidad de R^2 igual a 0.993, lo que determina el nivel de variación de la respuesta en función de la variabilidad de los parámetros temperatura y tiempo, al igual que sus interacciones (Bertinetto et al., 2020). La validez predictiva del método se evaluó utilizando el valor Q^2 cuyo valor obtenido fue de 0.956, esto representa la capacidad que tiene el modelo para predecir la degradación de contaminantes, en base a cualquier combinación de variables de temperatura y tiempo en la síntesis del material que estuvieron dentro del dominio utilizado en este estudio (Lundstedt et al., 1998).

El polinomio mostrado en la ecuación (3) se obtuvo ajustando los datos experimentales (Y) mediante regresión lineal múltiple a un modelo polinomial usando el diseño CCC, los valores en paréntesis representan la desviación estándar de cada una de las variables codificadas. El polinomio de respuesta permite predecir la respuesta del sistema estudiado (Y) y también representa la importancia de las variables, es decir, el efecto de la temperatura (T) y el tiempo (t) sobre el proceso de síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90) por el método coprecipitación/crecimiento solvotermal.

$$Y \text{ (porcentaje de degradación)} = 41,23(\pm 0,82) + 2,44 T(\pm 0,50) - 7,56 t(\pm 0,50) - 2,08 T^2(\pm 0,60) - 11,39 t^2(\pm 0,60) - 6,02 Tt(\pm 0,70) \quad (3)$$

De acuerdo con la ecuación (3) se puede observar que el tiempo es una variable importante en la síntesis de los compósitos BiOI/mordenita (90), dado que su magnitud negativa (7.56 t) indica que cuando incrementa el valor de la variable tiempo en el proceso de síntesis del material, este parámetro influye de forma negativa en la actividad fotocatalítica de los compósitos BiOI/mordenita (90), es decir, a menor valor de esta variable mayor será el porcentaje de degradación obtenido a los 20 minutos de reacción fotocatalítica. En contraste, la variable temperatura tiene una baja influencia positiva en la síntesis de estos materiales, mientras mayor es la temperatura de síntesis hasta cierto valor (+2.44T), mayor será el porcentaje de degradación fotocatalítica del ácido cafeico.

Se observa en la Figura 4 una sinergia negativa entre las variables tiempo y temperatura en el proceso de síntesis de los compósitos BiOI/mordenita (90), debido a que, si se aumenta la temperatura y el tiempo simultáneamente, la actividad fotocatalítica del compuesto decrece significativamente. Finalmente, el efecto cuadrático asociado a ambas variables al cuadrado (T^2 y t^2) es negativo.

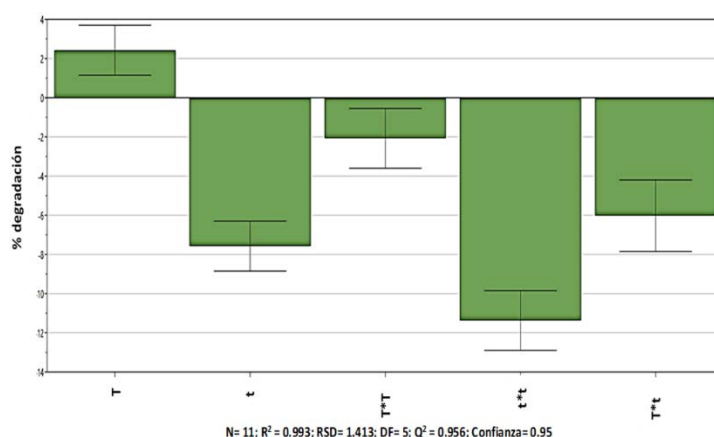


Figura 4. Gráfica del polinomio de respuesta. T = temperatura, t = tiempo

La Figura 5 muestra una representación tridimensional del polinomio de respuesta (ecuación 3) para la síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90), donde se puede observar que el tiempo es el factor más importante que influye en la tasa de degradación del ácido cafeico. La zona de color rojo en la superficie de respuesta (Figura 5), corresponde a la región donde se genera una reacción fotocatalítica más eficiente, ya que presenta los valores más altos de degradación del contaminante modelo. Es así, que las mejores condiciones de temperatura y tiempo en el proceso de síntesis son a 187°C y 9 horas respectivamente, para obtener el compuesto BiOI/mordenita (90) con mayor actividad fotocatalítica bajo radiación solar simulada. En condiciones óptimas de síntesis del fotocatalizador, el rango de porcentaje de degradación predicho por el modelo estadístico utilizando software MODDE PRO 12.0.1 fue de 48.5%-51.5%, en el cual se obtiene la mayor degradación fotocatalítica del ácido cafeico a los 20 minutos de reacción.

De acuerdo a lo anterior, para validar el rango de porcentaje de degradación predicho y corroborar la confiabilidad y reproducibilidad del modelo estadístico, se sintetizó el compuesto BiOI/mordenita (90) en condiciones optimizadas (187°C y 9 horas) por el método de coprecipitación/crecimiento solvotermal. Se evaluó la actividad fotocatalítica del compuesto optimizado, resultando en promedio un 49,9 % de degradación, a partir de tres ensayos fotocatalíticos, tal como se muestra en la Tabla 3. El porcentaje de degradación se encuentra dentro del rango predicho por el Software MODDE PRO 12.0.1, lo que valida el

modelo estadístico utilizado para obtener el compuesto BiOI/mordenita (90) con la mayor actividad fotocatalítica para la degradación de ácido cafeico en agua.

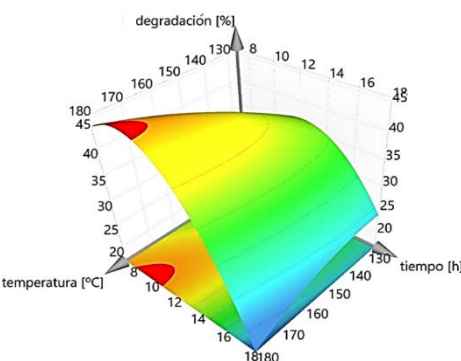


Figura 5. Superficie de respuesta tridimensional para los porcentajes de degradación fotocatalítica del ácido cafeico en función del tiempo y la temperatura en la síntesis de BiOI/mordenita (90)

Tabla 3. Porcentajes de degradación de ácido cafeico, usando el compuesto BiOI/mordenita (90) sintetizado bajo condición óptima (187 °C x 9 h)

Ensayo fotocatalítico	Porcentaje Degradación experimental	Rango de porcentaje de degradación predicho para el modelo
1	50,3 %	48,5 % - 51,5 %
2	47,9 %	48,5 % - 51,5 %
3	51,5 %	48,5 % - 51,5 %
Promedio	49,9 %	

5. CONCLUSIONES

Este estudio optimizó el proceso de síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90) utilizando la ruta co-precipitación/crecimiento solvotermal, estableciendo un método altamente confiable y reproducible. El modelo estadístico CCC permitió obtener el compuesto BiOI/mordenita (90) con la mayor actividad fotocatalítica para la degradación de ácido cafeico en agua, sintetizando el material a 187°C durante 9 horas.

El modelo estadístico permitió identificar que el tiempo es la variable más significativa en el proceso de síntesis de los compósitos BiOI/mordenita (90) realizado en este estudio, dado que a menor valor de esta variable mayor será el porcentaje de degradación obtenido a los 20 minutos de reacción fotocatalítica. Esto se demuestra en los ensayos experimentales realizados: 180°C - 18 horas y 180°C - 7 horas, con un porcentaje de degradación experimental de 17.8 y 43.6, respectivamente.

Las condiciones optimizadas de temperatura y tiempo en el proceso de síntesis del compuesto BiOI/mordenita (90) permitieron obtener en promedio un 49.9% de degradación del ácido cafeico en agua a los 20 minutos de reacción fotocatalítica. Después de 20 minutos de actividad fotocatalítica, la velocidad de reacción decrece y la degradación es menos significativa.

Los resultados reportados en esta investigación abren la posibilidad de utilizar el fotocatalizador BiOI/mordenita (90) a escala industrial para la degradación de compuestos fenólicos presentes en agua aguas residuales generadas en industrias agrícolas.

REFERENCIAS

Adhikari, S. P., Awasthi, G. P., Kim, H. J., Park, C. H. y Kim, C. S. (2016). Electrospinning Directly Synthesized Porous TiO2 Nanofibers Modified by Graphitic Carbon Nitride Sheets for Enhanced Photocatalytic Degradation Activity under Solar Light Irradiation. *Langmuir* 32(24), 6163–6175.

Ahmed, S. F., Mofijur, M., Nuzhat, S. et al. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 4(16), 125912.

- Akerdi, A. G. y Bahrami, S. H. (2019). Application of heterogeneous nano-semiconductors for photocatalytic advanced oxidation of organic compounds: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7(5), 103283.
- Asencios, Y. J. O., Lourenço, V. S. y Carvalho, W. A. (2020). Removal of phenol in seawater by heterogeneous photocatalysis using activated carbon materials modified with TiO₂. *Catalysis Today*. En prensa.
- Ayekoe, C. Y. P., Robert, D. y Lanciné, D. G. (2017). Combination of coagulation-flocculation and heterogeneous photocatalysis for improving the removal of humic substances in real treated water from Agbô River (Ivory-Coast). *Catalysis Today* 281, 2–13.
- Bertinetto, C., Engel, J., y Jansen, J. (2020). ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review. *Analytica Chimica Acta: X* 6, 100061.
- Chang, C.-T., Wang, J.-J., Ouyang, T., Zhang, Q. y Jing, Y.-H. (2015). Photocatalytic degradation of acetaminophen in aqueous solutions by TiO₂/ZSM-5 zeolite with low energy irradiation. *Materials Science and Engineering: B* 196, 53–60.
- Chuaicham, C., Pawar, R. R., Karthikeyan, S., Ohtani, B. y Sasaki, K. (2020). Fabrication and characterization of ternary sepiolite/g-C₃N₄/Pd composites for improvement of photocatalytic degradation of ciprofloxacin under visible light irradiation. *Journal of Colloid and Interface Science* 577, 397–405.
- Contreras, D., Freer, J. y Rodríguez, J. (2006). Veratryl alcohol degradation by a catechol-driven Fenton reaction as lignin oxidation by brown-rot fungi model. *International Biodeterioration y Biodegradation* 57(1), 63–68.
- de la Fournière, E. M., Meichtry, J. M., Gautier, E. A., Leyva, A. G. y Litter, M. I. (2021). Treatment of ethylmercury chloride by heterogeneous photocatalysis with TiO₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 411, 113205.
- Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F. y Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry* 48(10), 1532–1552.
- Domingues, E., Fernandes, E., Gomes, J. y Martins, R. C. (2021). Advanced oxidation processes perspective regarding swine wastewater treatment. *Science of The Total Environment* 776, 145958.
- Du, G., Feng, P., Cheng, X., Li, J. y Luo, X. (2017). Immobilizing of ZIF-8 derived ZnO with controllable morphologies on zeolite A for efficient photocatalysis. *Journal of Solid State Chemistry* 255, 215–218.
- Du, J., Zhang, B., Li, J. y Lai, B. (2020). Decontamination of heavy metal complexes by advanced oxidation processes: A review. *Chinese Chemical Letters* 31(10), 2575–2582.
- Genethliou, C., Kornaros, M. y Dailianis, S. (2020). Biodegradation of olive mill wastewater phenolic compounds in a thermophilic anaerobic upflow packed bed reactor and assessment of their toxicity in digester effluents. *Journal of Environmental Management* 255, 109882.
- Gołębiewska, A., Kobylański, M. P. y Zaleska-Medynska, A. (2018). 2 - Fundamentals of metal oxide-based photocatalysis. En Zaleska A. et al. (Ed.), *Metal Oxides*. Elsevier.
- Herrmann, J.M. (1999). Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis Today* 53(1), 115–129.
- Imam, S. S., Adnan, R. y Mohd Kaus, N. H. (2020). Immobilization of BiOBr into cellulose acetate matrix as hybrid film photocatalyst for facile and multicycle degradation of ciprofloxacin. *Journal of Alloys and Compounds* 843, 155990.
- Jo, W.K. y Tayade, R. J. (2016). Facile photocatalytic reactor development using nano-TiO₂ immobilized mosquito net and energy efficient UVLED for industrial dyes effluent treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4(1), 319–327.
- Kontos, A. I., Arabatzis, I. M., Tsoukleris, D. S., Kontos, A. G., Bernard, M. C., Petrakis, D. E. y Falaras, P. (2005). Efficient photocatalysts by hydrothermal treatment of TiO₂. *Catalysis Today* 101(3), 275–281.
- Kosera, V. S., Cruz, T. M., Chaves, E. S. y Tiburtius, E. R. L. (2017). Triclosan degradation by heterogeneous photocatalysis using ZnO immobilized in biopolymer as catalyst. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 344, 184–191.
- Liang, J., Liu, F., Li, M., Liu, W. y Tong, M. (2018). Facile synthesis of magnetic Fe₃O₄@BiOI@AgI for water decontamination with visible light irradiation: Different mechanisms for different organic pollutants degradation and bacterial disinfection. *Water Research* 137, 120–129.
- Long, Z., Li, Q., Wei, T., Zhang, G. y Ren, Z. (2020). Historical development and prospects of photocatalysts for pollutant removal in water. *Journal of Hazardous Materials* 395, 122599.
- Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, Å., Pettersen, J. y Bergman, R. (1998). Experimental design and optimization. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 42(1), 3–40.
- Luo, H., Zeng, Y., He, D. y Pan, X. (2020). Application of iron-based materials in heterogeneous advanced oxidation processes for wastewater treatment: A review. *Chemical Engineering Journal* 9, 127191.
- Mera Benavides, A. C. (2014). Síntesis, caracterización y actividad fotocatalítica de BiOX (X=F, Cl Br, I) nanoestructurados para el tratamiento de riles de la industria vitivinícola. *Disertación doctoral*. Universidad de Concepción.
- Mera, A. C., Moreno, Y., Pivan, J. Y., Peña, O. y Mansilla, H. D. (2014). Solvothermal synthesis of BiOI microspheres: Effect of the reaction time on the morphology and photocatalytic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 289, 7–13.

- Mera, A. C., Rodríguez, C. A., Meléndrez, M. F. y Valdés, H. (2016). Synthesis and characterization of BiOI microspheres under standardized conditions. *Journal of Materials Science* 52(2), 944–954.
- Mera, A. C., Rodríguez, C. A., Pizarro-Castillo, L., Meléndrez, M. F. y Valdés, H. (2020). Effect of temperature and reaction time during solvothermal synthesis of BiOI on microspheres formation: implications in the photocatalytic oxidation of gallic acid under simulated solar radiation. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 95(1), 146–156.
- Milh, H., Yu, X., Cabooter, D. y Dewil, R. (2021). Degradation of ciprofloxacin using UV-based advanced removal processes: Comparison of persulfate-based advanced oxidation and sulfite-based advanced reduction processes. *Science of The Total Environment* 764, 144510.
- MINSEGPRES. (2001). Norma de emisión para la regulación de los contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales de la República de Chile. MINSEGPRES.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Limusa.
- Morais, D. F. S., Boaventura, R. A. R., Moreira, F. C. y Vilar, V. J. P. (2021). Bromate removal from water intended for human consumption by heterogeneous photocatalysis: Effect of major dissolved water constituents. *Chemosphere* 263, 128111.
- Pardue, H. L. (1989). Kinetic aspects of analytical chemistry. *Analytica Chimica Acta* 216, 69–107.
- Parvulescu, V., Ciobanu, M. y Petcu, G. (2020). *4 - Immobilization of semiconductor photocatalysts*. Elsevier.
- Pesqueira, J. F. J. R., Pereira, M. F. R. y Silva, A. M. T. (2020). A life cycle assessment of solar-based treatments (H₂O₂, TiO₂ photocatalysis, circumneutral photo-Fenton) for the removal of organic micropollutants. *Science of The Total Environment* 761, 143258.
- Pham, T.H., Lee, B.-K. y Kim, J. (2016). Improved adsorption properties of a nano zeolite adsorbent toward toxic nitrophenols. *Process Safety and Environmental Protection* 104, 314–322.
- Prasad, C., Liu, Q., Tang, H., Yuvaraja, G., Long, J., Rammohan, A. y Zyryanov, G. V. (2020). An overview of graphene oxide supported semiconductors based photocatalysts: Properties, synthesis and photocatalytic applications. *Journal of Molecular Liquids* 297, 111826.
- Qian, D., Zhong, S., Wang, S., Lai, Y., Yang, N. y Jiang, W. (2017). Promotion of phenol photodegradation based on novel self-assembled magnetic bismuth oxyiodide core-shell microspheres. *RSC Advances* 7(58), 36653–36661.
- Rekhate, C. V. y Srivastava, J. K. (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater- A review. *Chemical Engineering Journal Advances* 3, 100031.
- Rodrigues, R. P., Gando-Ferreira, L. M. y Quina, M. J. (2020). Micellar enhanced ultrafiltration for the valorization of phenolic compounds and polysaccharides from winery wastewaters. *J. of Water Process Engineering* 38, 101565.
- Rueda-Marquez, J. J., Levchuk, I., Fernández Ibañez, P. y Sillanpää, M. (2020). A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. *Journal of Cleaner Production* 258, 120694.
- Sacco, O., Vaiano, V. y Matarangolo, M. (2018). ZnO supported on zeolite pellets as efficient catalytic system for the removal of caffeine by adsorption and photocatalysis. *Separation and Purification Technology* 193, 303–310.
- Soto, M. L., Moure, A., Domínguez, H. y Parajó, J. C. (2011). Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. *Journal of Food Engineering* 105(1), 1–27.
- Srikanth, B., Goutham, R., Badri Narayan, R., Ramprasath, A., Gopinath, K. P. y Sankaranarayanan, A. R. (2017). Recent advancements in supporting materials for immobilised photocatalytic applications in waste water treatment. *Journal of Environmental Management* 200, 60–78.
- Sudhaik, A., Raizada, P., Shandilya, P. y Singh, P. (2018). Magnetically recoverable graphitic carbon nitride and NiFe₂O₄ based magnetic photocatalyst for degradation of oxytetracycline antibiotic in simulated wastewater under solar light. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4), 3874–3883.
- Šumić, Z., Vakula, A., Tepić Horecki, A., Cakarevic, J., Vitas, J. y Pavlić, B. (2016). Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry* 203, 465–475.
- Tri, N. L. M., Thang, P. Q., Van Tan, L., Huong, P. T., Kim, J., Viet, N. M., Phuong, N. M. y Al Tahtamouni, T. M. (2020). Removal of phenolic compounds from wastewaters by using synthesized Fe-nano zeolite. *Journal of Water Process Engineering* 33, 101070.
- Viet, N. M., Trung, D. Q., Giang, B. L., Tri, N. L. M., Thao, P., Pham, T. H., Kamand, F. Z. y Al Tahtamouni, T. M. (2019). Noble metal -doped graphitic carbon nitride photocatalyst for enhancement photocatalytic decomposition of antibiotic pollutant in wastewater under visible light. *Journal of Water Process Engineering* 32, 100954.
- Wang, J. y Wang, S. (2020). Reactive species in advanced oxidation processes: Formation, identification and reaction mechanism. *Chemical Engineering Journal* 401, 126158.
- Xiao, Y., Xu, S., Li, Z., An, X., Zhou, L., Zhang, Y. y Shiang, F. Q. (2010). Progress of applied research on TiO₂ photocatalysis-membrane separation coupling technology in water and wastewater treatments. *Chinese Science Bulletin* 55(14), 1345–1353.
- Yadav, M., Garg, S., Chandra, A. y Hernadi, K. (2019). Immobilization of green BiOX (X= Cl, Br and I) photocatalysts on ceramic fibers for enhanced photocatalytic degradation of recalcitrant organic pollutants and efficient regeneration process. *Ceramics International* 45(14), 17715–17722.
- Yildiz, T., Yatmaz, H. C. y Öztürk, K. (2020). Anatase TiO₂ powder immobilized on reticulated Al₂O₃ ceramics as a photocatalyst for degradation of RO16 azo dye. *Ceramics International* 46(7), 8651–8657.

- You, J., Guo, Y., Guo, R., y Liu, X. (2019). A review of visible light-active photocatalysts for water disinfection: Features and prospects. *Chemical Engineering Journal* 373, 624–641.
- Younis, S. A., Amdeha, E. y El-Salamony, R. A. (2020). Enhanced removal of p-nitrophenol by β -Ga₂O₃-TiO₂ photocatalyst immobilized onto rice straw-based SiO₂ via factorial optimization of the synergy between adsorption and photocatalysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 58, 104619.
- Zhang, S., Li, B., Wang, X., Zhao, G., Hu, B., Lu, Z., Wen, T., Chen, J. y Wang, X. (2020). Recent developments of two-dimensional graphene-based composites in visible-light photocatalysis for eliminating persistent organic pollutants from wastewater. *Chemical Engineering Journal* 390, 124642.
- Zhao, L., Liu, Z., Zhang, X., Cui, T., Han, J., Guo, K., Wang, B., Li, Y., Hong, T., Liu, J. y Liu, Z. (2014). Three-dimensional flower-like hybrid BiOI-zeolite composites with highly efficient adsorption and visible light photocatalytic activity. *RSC Advances* 4(85), 45540–45547.
- Zhao, L., Liu, Z., Zhang, X., Cui, T., Han, J., Guo, K., Wang, B., Li, Y., Hong, T., Liu, J. y Liu, Z. (2014a). Three-dimensional flower-like hybrid BiOI-zeolite composites with highly efficient adsorption and visible light photocatalytic activity. *RSC Advances* 4(85), 45540–45547.

Desarrollo de un reactor para la producción automatizada de películas delgadas de óxido de zinc por evaporación reactiva asistida por plasma, para ser usadas en la fabricación de celdas solares de área grande

Julián Peña-Bermúdez¹

Gerardo Gordillo-Guzmán²

Juan Piña-Jaramillo³

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

En este trabajo se presenta el desarrollo de un reactor automatizado para la producción de películas delgadas de óxido de zinc ZnO por el método de evaporación reactiva asistida por plasma ERAP, con propiedades para ser usadas en diferentes tipos de celdas solares, entre las que se encuentran: celdas orgánicas invertidas, celdas basadas en Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS), celdas basadas en compuestos con estructura kesterita y celdas solares híbridas basadas en compuestos con estructura perovskita. El método ERAP presenta mayores ventajas que el método de sputtering RF usado convencionalmente, principalmente en términos de costos de producción. El reactor incluye una fuente de evaporación de Zn tipo celda Knudsen implementada con un diseño avanzado para mejorar la homogeneidad en espesor de muestras de área grande y adicionalmente un sistema electrónico que permite controlar con precisión tanto los principales parámetros de deposición como el proceso de crecimiento de las películas de ZnO en forma automática. Se espera que el aporte de este trabajo contribuya al desarrollo de un reactor con facilidades para producir películas delgadas de ZnO de área grande que podrían ser usadas en la producción industrial de paneles solares basados en tecnología de película delgada.

¹ Contacto: jpenabe@unal.edu.co

² Contacto: ggordillo@unal.edu.co

³ Contacto: jspinaj@unal.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de estrategias que contribuyan a la mitigación de las causas del cambio climático es actualmente un tema de alta prioridad y pertinencia a nivel mundial. Dentro de estas estrategias se encuentran las que conllevan a la reducción de gases de efecto invernadero GEI (Zheng et al., 2019); sin embargo, la creciente demanda energética ha complicado el avance de estas (Kabir et al., 2018). Una de las posibles soluciones a este problema es el uso de tecnologías de generación basadas en energías renovables, entre las que se encuentra la tecnología solar fotovoltaica (Kannan y Vakeesan, 2016).

Colombia se encuentra entre los 50 países que más emiten GEI (Global Atlas Carbon, 2019), por ello se han desarrollado políticas para mitigar el cambio climático, apuntándole a los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU entre los cuales se encuentra el desarrollo de tecnologías de generación de energía asequible y no contaminante; teniendo en cuenta esto se plantea en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 el Pacto de sostenibilidad y el Pacto por los recursos minero energéticos, los cuales se proponen la meta de aumentar la producción de energía eléctrica por medio de energías renovables de 22,4 MW a 1.500MW; sin embargo, Colombia no es un país productor de paneles solares, siendo este mercado liderado por países como China (Fraunhofer ISE, 2019), lo que implica que estos tengan que ser importados; por consiguiente, sería conveniente promover en Colombia la investigación en el campo de la tecnologías solar fotovoltaica, para poder en el mediano plazo adquirir la capacidad de fabricación de paneles solares comerciales para generación eléctrica por medio de energía solar, disminuyendo dicha dependencia tecnológica y fortaleciendo la industria Nacional.

Los avances logrados en investigación de materiales y dispositivos fotovoltaicos han dado lugar a una poderosa industria de manufactura de módulos solares, la cual a su vez es el soporte de una de las tecnologías de generación de electricidad limpia de mayor potencial en la actualidad, debido a que usa la energía solar como fuente primaria, que es un recurso de potencial infinito disponible en todas partes. En la tecnología de celdas y módulos solares para uso terrestre, el mayor desarrollo se ha obtenido con celdas basadas en silicio cristalino, las cuales a nivel de modulo comercial han alcanzado eficiencias del 24% (1.3m^2) (Yoshikawa et al., 2017). El costo de manufactura de módulos de Si es muy alto, sin embargo se logró reducir significativamente este costo mediante la fabricación de módulos de área grande (1.9m^2) basados en película delgada de compuestos tipo calcopirita de $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ CIGS, los cuales a nivel industrial han alcanzado eficiencias del 17.4% (Bheemreddy et al., 2018).

Teniendo en cuenta que los módulos de CIGS usan elementos como In y Ga que son poco abundantes en la naturaleza y que se usan masivamente en la fabricación de dispositivos opto-electrónicos, se consideró que este aspecto era una limitante en la producción a gran escala de módulos de CIGS; para superar esta limitante, a comienzos de la década del 2.000 se inició a nivel mundial un nuevo programa de investigación cuya meta era el desarrollo de una tercera generación de celdas solares basadas en nuevos materiales denominados emergentes, con propiedades adecuadas para fabricar celdas solares con eficiencias similares a las actuales, pero que además están caracterizados por ser de bajo costo, no tóxicos y abundantes en la naturaleza.

Los siguientes materiales fueron considerados como potenciales candidatos para lograr la meta de: materiales orgánicos basados en polímeros conductores, los cuales son usados como capa activa de celdas solares denominadas orgánicas (Brabec et al., 2003), materiales inorgánicos pertenecientes a una familia de materiales caracterizados por tener estructura tipo kesterita; de estos materiales los más investigados son los compuestos con composición $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ CZTS y $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S,Se})_4$ CZTSSe (Cherouana y Labbani, 2017) y compuestos híbridos orgánico-inorgánico con estructura perovskita usados como capa activa en las denominadas celdas solares híbridas. Entre las celdas solares fabricadas a partir de materiales emergentes, solo las celdas híbridas han logrado tener eficiencias mayores al 24% (Jung et al., 2019), mientras que con las celdas orgánicas y las basadas en Kesteritas CZTS,Se solo se ha logrado alcanzar eficiencias del 16.4% (Dong et al., 2019) y 12.6% (Wang et al., 2014), respectivamente.

Las arquitecturas de los dispositivos mencionados tienen en común que usan el ZnO en su estructura para cumplir diferentes funciones. Las celdas basadas en CIGS y CZTS usan el ZnO como capa *transparent*

conductor oxide TCO, que forma parte de la ventana óptica del dispositivo (Gueddim et al., 2018), mientras que en la celda orgánica invertida el ZnO actúa como capa bloqueadora de huecos (Manor et al., 2012) y en la celda híbrida actúa como capa *electron transport layer* ETL (Luo et al., 2018). la Figura 1 muestra las arquitecturas de las celdas mencionadas que utilizan una capa de ZnO en su estructura.

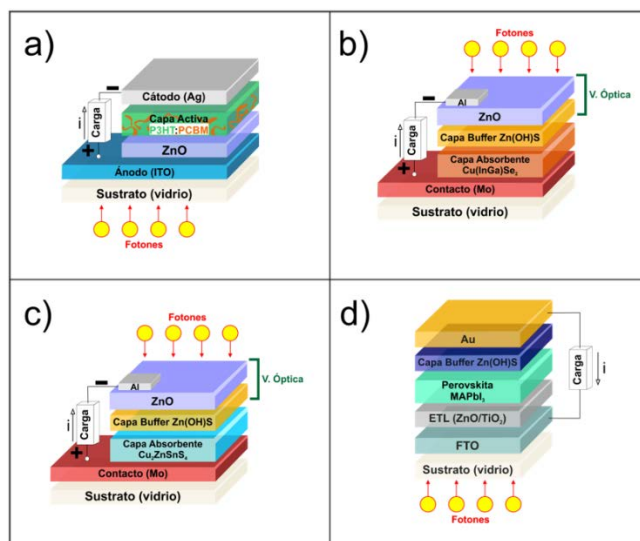


Figura 1. Arquitecturas típicas de: a) celda orgánica invertida, b) celda solar inorgánica basada en CIGS, c) celda solar basada en CZTS, y d) celda solar híbrida basada en perovskita con arquitectura planar

Las propiedades deseadas de los materiales usados en la fabricación de celdas solares son que tengan gap de energía adecuado para que cumplan la función de material absorbente o ventana óptica, alta movilidad de portadores y alta conductividad, propiedades que pueden encontrarse en el ZnO, ya que es un semiconductor con un gap directo de 3.3 eV (Cornelius, 2013), lo cual lo hace altamente transparente en el rango visible del espectro y su estructura de bandas permite una alta movilidad electrónica. La Figura 2 muestra las características que hacen que el ZnO sea muy usado en celdas solares (Wang et al., 2016; Wibowo et al., 2020).



Figura 2. Características del ZnO que lo hacen atractivo para ser usado en la fabricación de células solares (Wibowo et al., 2020)

Cuando el ZnO se usa como capa TCO de la ventana óptica en celdas solares, su función principal es facilitar que la mayor cantidad de radiación solar llegue hasta la capa absorbente y además formar el campo eléctrico en la zona de carga especial ZCE, que da lugar a la diferencia de potencial entre los contactos del dispositivo. En la ventana óptica la capa buffer funciona como acople mecánico entre la capa absorbente y la capa TCO, esta última capa tiene un gran impacto en la eficiencia de una celda solar; la capa TCO debe tener alta transmitancia y baja resistividad, para que deje pasar la mayor cantidad de radiación y a la vez sirva como electrodo transparente (Jang et al., 2019). Para que el ZnO pueda ser usado como TCO debe tener una transmitancia mayor al 80% ($T > 80\%$) y una resistividad eléctrica menor a $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$. Estas características se obtienen con películas de ZnO fabricadas por el método ERAP (Gordillo et al., 2016). Además de usarse como TCO, el ZnO puede ser usado como capa selectiva de portadores de carga ya sea como capa transportadora de electrones ETL o capa bloqueadora de huecos HTL en celdas solares orgánicas invertidas (Manor et al., 2012; Wang et al., 2016) y en celdas solares híbridas (Luo et al., 2018).

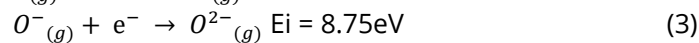
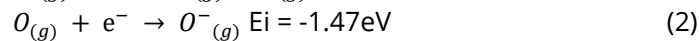
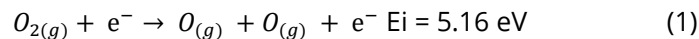
Varios métodos han sido utilizados para crecer películas delgadas de ZnO con propiedades adecuadas para ser usadas para las diferentes aplicaciones mencionadas anteriormente, entre los que se encuentra: chemical vapor deposition CVD (Liang, 2019), Plasma Assisted Physical Vapor Deposition PAPVD (Montoya y Arango, 2007), magnetron sputtering RF (Alfaro et al., 2018) y spray pirolisis (Kumari et al., 2018). El método magnetron sputtering RF es el más utilizado a nivel industrial, sin embargo, presenta algunas desventajas como altos costos de producción y limitación para deposición homogénea en grandes áreas debido al uso de targets cerámicos con dopados extrínsecos.

El método propuesto para esta investigación es Evaporación Reactiva Asistida por Plasma (ERAP), el cual presenta ventajas respecto al método de sputtering RF, reflejadas en términos de costo de manufactura y facilidad para deposición homogénea en grandes áreas de películas delgadas con resistividades que varían en un amplio rango sin necesidad de incorporar dopado extrínseco; por esta razón consideramos que resulta de gran importancia poder implementar una planta de producción de películas delgadas de ZnO que permita crecerlas con buena homogeneidad en espesor a través de un diseño avanzado de la fuente de evaporación de Zn (celda Knudsen) y con un elevado grado de reproducibilidad de propiedades a través del desarrollo de un sistema electrónico de control automático del proceso de deposición.

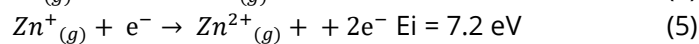
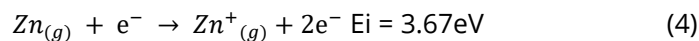
El método ERAP consiste básicamente en evaporar zinc en presencia de oxígeno para activar una reacción química que dé lugar a la formación del ZnO. Como el Zinc en presencia del O₂ se oxida muy lentamente a temperatura ambiente, es necesario ionizar tanto el Zn como el O₂ para acelerar la reacción química entre estas dos especies. La ionización se logra a través de una descarga eléctrica luminiscente; para generar la descarga luminiscente se aplica una diferencia de potencial (ΔV) entre dos electrodos en presencia de una mezcla de oxígeno y zinc; en el plasma generado se forman diferentes especies ionizadas que incrementan la velocidad de la reacción química y por consiguiente la velocidad de crecimiento de la película de ZnO.

La reacción química entre las especies precursoras que conlleva a la formación de ZnO, ocurre de la siguiente forma:

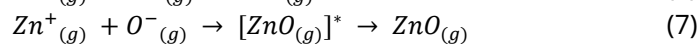
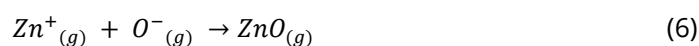
1. Se inicia con la disociación del O₂ como se muestra en la ecuación (1), seguido de suministro de la energía suficiente para ionizar los átomos de oxígeno presentes como indica las ecuaciones (2) y (3). En los primeros instantes se generan las siguientes especies.



2. Continúa con la generación de especies de cinc ionizadas positivamente cuando el vapor de cinc entra en la región de descarga eléctrica, estas especies se obtienen a través de las reacciones de las ecuaciones (4) y (5).



3. A continuación, tiene lugar una neutralización por colisión binaria mediante el proceso de recombinación y eliminación de iones, como se indica a continuación en las ecuaciones (6) y (7).



4. Se finaliza con la difusión de ZnO(g) hacia el sustrato dando lugar a la formación de la película delgada.

En la actualidad nuestro grupo de investigación cuenta con un sistema ERAP que permite depositar películas delgadas de ZnO de área pequeña (2.6x2.0 cm²); sin embargo, con base en la experiencia adquirida a través de trabajos realizados previamente (Gordillo et al., 2016; Ramirez et al., 2020), se han identificado algunas

limitaciones relacionadas principalmente con baja reproducibilidad de las propiedades de las muestras, inhomogeneidad en el espesor y baja tasa de deposición, lo cual hace que los tiempos de deposición sean muy largos. Con este trabajo se busca superar las limitaciones mencionadas a través de optimización del diseño del reactor usado para la preparación de las películas delgadas de ZnO y de la implementación de un sistema electrónico que permita hacer un control automático del proceso de deposición. Para esto se fabricó una celda Knudsen con un nuevo diseño que permite crecer películas de mayor área con buena homogeneidad en espesor, además de un sensor de Zn que permite realizar el control automático del proceso.

El control y monitoreo del sistema ERAP, desarrollado previamente por Gordillo et al. (2016), se realizó con un sistema que integra los algoritmos PID (controlador proporcional, integral y derivativo) y PWM (modulación por ancho de pulso), desarrollados en el entorno de programación LabVIEW mientras que el sistema de control y monitoreo desarrollado en este trabajo incluye únicamente algoritmos PID, dejando de lado el control PWM que suele causar problemas en el control de la presión y temperatura del proceso.

2. MÉTODO

El equipo usado en este trabajo para la producción de películas delgadas de ZnO depositadas por el método ERAP con mejora tanto en la reproducibilidad de sus propiedades como de la homogeneidad en espesor, así como en la velocidad de crecimiento incluye las mismas unidades del sistema implementado previamente por nuestro Grupo (sistema de vacío, reactor donde ocurre la reacción química de O_2 y Zn, celda Knudsen, unidad de control del proceso) cuyos detalles se puede ver en (Gordillo et al., 2016). Para superar las limitaciones mencionadas que se tienen durante la deposición de películas de ZnO con este sistema en el marco de este estudio se hicieron algunas mejoras y modificaciones, las cuales se describen a continuación:

1. Teniendo en cuenta que la principal causa de la dificultad en lograr reproducibilidad de los parámetros que dan lugar a propiedades optoelectrónicas óptimas y reproducibles es establecer el instante en que inicia la evaporación de Zn debido a que su temperatura de evaporación cambia sensiblemente (entre 410 y 600°C) con el grado de oxidación del Zn, el cual depende de que tanto se oxida el Zn durante su almacenamiento y durante el tiempo que dura en contacto con el Oxígeno introducido a la cámara de deposición, se diseñó e implementó un sensor que indica el instante en que inicia la evaporación de Zn. La incorporación de este sensor no solamente permite encontrar las condiciones de reproducibilidad de parámetros de deposición, sino que también facilita el control automático del proceso de deposición.

El sensor implementado en esta investigación es un sensor activo de contacto que detecta la presencia de vapor de Zn dentro del reactor y genera una respuesta de corriente única cuando detecta la presencia de Zn lo que no hace un sensor de respuesta todo o nada.

La Figura 3 muestra la vista superior y frontal del sensor que se puede modelar eléctricamente como un interruptor normalmente cerrado; el sensor fue construido a partir de un material cerámico aislante que tiene incrustadas en el centro dos contactos metálicos separados que se conectan a un circuito que detecta si hay conductividad entre estos, enviando la señal de corriente hacia la tarjeta de adquisición, indicando la presencia de zinc.

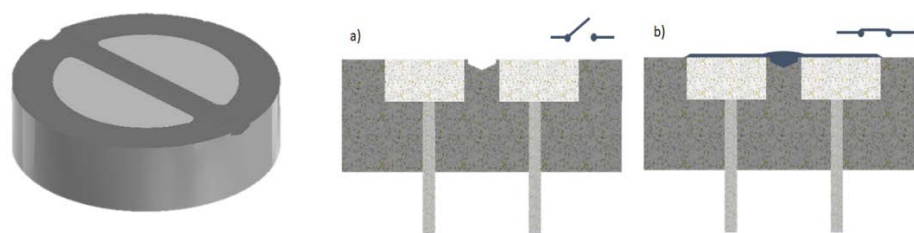


Figura 3. Imagen de la vista superior y frontal del sensor de vapor de Zinc

Cuando el zinc dentro de la celda Knudsen no ha iniciado la evaporación, los dos contactos metálicos están aislados eléctricamente por el material cerámico y una vez el zinc empieza a evaporarse se

deposita progresivamente en la ranura del sensor conectando eléctricamente los semicírculos metálicos. En este momento se inicia un flujo de corriente a través del circuito que indica al sistema de control que existe vapor de zinc en el reactor.

La Figura 4 muestra un circuito equivalente del sistema usado para detectar la presencia de Zn en el reactor. Incluye una fuente de voltaje continua que actúa como elemento activo en el circuito, una resistencia R que limita la corriente que pasa a través del circuito, un medidor de corriente A que detecta la cantidad de corriente que pasa a través del circuito, y un interruptor S , que representa el sensor diseñado. El sistema de control detecta la presencia de vapor de zinc cuando fluye corriente por el amperímetro A . El medidor de corriente A hace parte de los módulos del sistema de control (específicamente del módulo para entradas análogas).

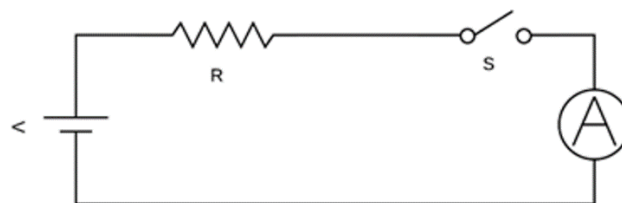


Figura 4. Circuito equivalente del sistema de detección de vapor de Zinc en el reactor, donde el interruptor representa el sensor diseñado

2. También se diseñó y construyó una fuente de evaporación de cinc tipo celda Knudsen con características adecuadas para crecer películas delgadas de ZnO de área grande y homogéneas en espesor. La celda Knudsen puede ser de calentamiento uniforme en todo el volumen, las cuales tienen un problema ya identificado, que consiste en la diferencia de temperatura entre el cuerpo de la celda y la parte superior o boquilla, la cual suele estar a una temperatura menor que el resto de la celda, lo que puede causar la condensación del material obteniendo recubrimientos de baja calidad y poco reproducibles.

Además, se puede construir la celda Knudsen con calentamiento doble, con lo cual se busca solucionar el problema mencionado arriba, usando dos sistemas de calentamiento, uno para la base del crisol y otro para la parte superior donde está el orificio de salida que permite calentar esta zona a una mayor temperatura para evitar la condensación de Zn en el orificio de salida (Hanket et al., 2014). Una tercera alternativas de celda Knudsen con diseño de menor costo, consiste en usar un solo sistema de calentamiento que permita calentar la celda con un gradiente de temperatura, donde la parte superior esté a una mayor temperatura que la zona inferior para evitar la condensación del material en el orificio de salida (Wang y Yu, 2013).

En este trabajo se construyó una celda Knudsen con un diseño que incluye un solo sistema de calentamiento el cual permite generar un gradiente de temperatura en el volumen de la celda Knudsen para garantizar que el orificio de salida del material este siempre a una temperatura suficientemente alta para evitar la condensación del material evaporado. La celda Knudsen implementada consiste básicamente en un crisol cilíndrico de acero inoxidable con un orificio de salida de sección transversal más pequeña que la del crisol; este es calentado por un horno constituido por un cilindro de acero inoxidable que es calentado mediante un elemento calefactor tipo thermocoax enrollado en forma de espiral. La generación del gradiente de temperatura se consigue enrollando el thermocoax en la parte superior del horno (zona donde está el orificio de salida) con una mayor cantidad de vueltas por centímetro que en la parte inferior (Figura 5a).

La celda Knudsen desarrollada en el marco de esta investigación incorpora un concepto novedoso que permite depositar películas del ZnO de área grande con buena homogeneidad en espesor. Para esto, la celda Knudsen se construyó integrando dos elementos contruidos separadamente; el primero de estos es un crisol cilíndrico de acero inoxidable con un orificio de 34mm de diámetro, que constituye la base de la celda (Figura 5b) y el segundo es una pieza cónica de acero inoxidable que se integra a la base del crisol a través de un sistema de rosca (Figura 5c). Cambiando el ángulo de inclinación de la pieza cónica se puede aumentar el área de salida del vapor de Zn y con ello el área de deposición del ZnO

garantizando buena homogeneidad en espesor. La pieza cónica tiene un orificio pequeño (2.5 mm) en la parte inferior por donde sale el vapor de Zn y en la parte superior se coloca una tapa con múltiples orificios, la cual se ajusta herméticamente a la pieza cónica para conseguir que la presión de vapor de Zn sea alta.

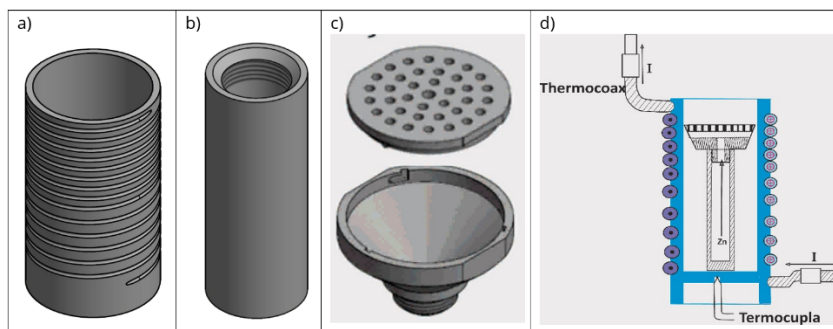


Figura 5. a) Horno diseñado para calentar la celda Knudsen, b) y c) base y parte superior de la celda Knudsen, e) esquema del sistema completo implementado para deposición de ZnO por el método ERAP

Este diseño se hizo con base en un estudio realizado previamente para optimizar el funcionamiento del sistema ERAP y solucionar las limitaciones de inhomogeneidad en espesor y de baja velocidad de deposición que típicamente presentan este tipo de sistemas de deposición. Este estudio se realizó modelando y simulando el proceso de evaporación reactiva asistida por plasma. Para ello se usó un modelo unidimensional de estado inestable que consta de seis ecuaciones diferenciales parciales parabólicas no lineales que explican la transferencia de masa por difusión y convección, reacciones de masa y de superficie, flujo de fluido no uniforme y electrones del plasma. Las ecuaciones se discretizaron espacialmente utilizando métodos de diferencias finitas y luego resuelto numéricamente (ver detalles en (Ramirez et al., 2020)). El aspecto clave del modelamiento fue la comprensión y caracterización de los fenómenos fisicoquímicos involucrados en tales procesos, incluida la química de descarga luminiscente, densidad de electrones y distribución de energía.

La simulación teórica de la deposición de ZnO por el método ERAP reveló que las muestras de ZnO crecen con un perfil no uniforme de espesor atribuido al hecho de que la concentración de vapor de Zn es mayor en la región central de la celda Knudsen debido a que tiene un único orificio de salida en la parte central, como se muestra en la Figura 6. Los resultados de esta simulación también revelaron que la alta inhomogeneidad del espesor exhibida por las capas de ZnO depositadas usando un método de celda de Knudsen se pueden mejorar considerablemente usando una celda de Knudsen que incluya varios orificios de salida distribuidos de tal forma que la suma de sus superficies sea similar a la del sustrato, tal como se muestra en el recuadro de la Figura 6.

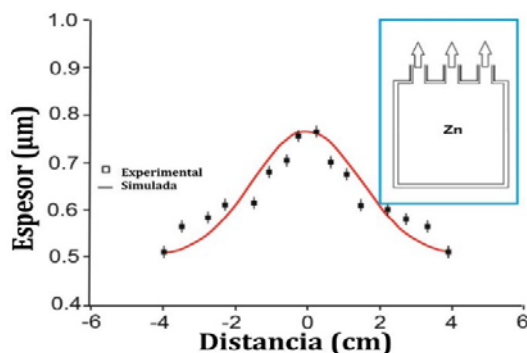


Figura 6. Perfil de espesor de película final experimental y simulado de una película de ZnO típica. El recuadro muestra una celda Knudsen con un diseño que lograría una mayor homogeneidad en el espesor de las películas de ZnO (Ramirez et al., 2020)

En este trabajo la celda Knudsen con varios orificios de salida distribuidos como indica el resultado de la simulación teórica se simuló usando una tapa con varios orificios como se muestra en la Figura 6c, la cual se ajusta herméticamente a la pieza cónica para conseguir que la presión de vapor de Zn sea alta.

3. Otro aporte nuevo que se hizo en este trabajo fue el desarrollo de un software que permite realizar la automatización del proceso de producción de las películas de ZnO; esto se realizó haciendo inicialmente una selección de los actuadores necesarios que realizarían las acciones de automatización, posterior a esto se llevó a cabo una revisión del protocolo de comunicación serial de la fuente de poder del sistema GW Instek DC PS-405; una vez conocido el protocolo de comunicación de la fuente y los actuadores necesarios se procedió a desarrollar un algoritmo en el entorno de programación LabVIEW que permite controlar factores como, el flujo de oxígeno que entra a la cámara, la apertura y cerrado del shutter que permite la deposición del ZnO sobre el sustrato, la temperatura y la presión usando control PID. Esta etapa se concluyó con una serie de pruebas que indican el correcto funcionamiento del software.

Los actuadores necesarios para realizar el monitoreo y control de los momentos determinantes del proceso fueron seleccionados para cumplir tareas específicas. Para la medición de presión se usó un medidor pirani y una unidad de medición Balzers TPG 300, el cual envía señales analógicas a una tarjeta de entradas y salidas analógicas cFP – AIO-610 conectado a un Compact FieldPoint (cFP 1804) de National Instruments. Para el caso del calentamiento de la celda Knudsen y el control de presión se usó la comunicación serial de la fuente GW Instek DC PS-405 junto con un algoritmo PID; por otro lado, para controlar el flujo de oxígeno que entra a la cámara se usó un flujómetro electrónico marca AALBORG 0-200 mL/min, el cual controla el caudal de oxígeno a través del mismo módulo cFP – AIO-610 al igual que el sensor de Zn que indica el inicio de la evaporación de Zn en la celda Knudsen. Para el control de los shutter se seleccionaron motores paso a paso M061-FD-339B que son gobernados a través de señales análogas provenientes de una tarjeta NI-USB 6001. Los datos de temperatura se adquieren a través de la lectura de la señal de voltaje de una termocupla tipo K conectada a un módulo cFP-TC-120. El software fue desarrollado en el entorno de programación LabVIEW.

Gracias a resultados previos se determinó que la mejor manera de controlar la cantidad de Zn que llega a la región de formación de ZnO es realizando un control de evaporación en dos pasos: primero se controla la temperatura de la celda Knudsen hasta alcanzar una temperatura del orden de 390°C, de esta manera se evita que inicie la evaporación de Zn que debido a su alta presión de vapor puede contaminar los electrodos usados para generar la descarga eléctrica luminescente, lo que da lugar a inestabilidad de la misma. A partir de esta temperatura se inicia un aumento de temperatura escalonado de 10°C hasta que se detecte la presencia de vapor de Zn con ayuda del sensor; a continuación, se introduce oxígeno a la cámara con un flujo de 15 ml/min y se prende la fuente de alto voltaje a 550V y 4mA dando lugar a la descarga eléctrica. A partir de este punto se inicia el segundo paso que incorpora un control indirecto de la temperatura de evaporación de Zn mediante un control de la presión parcial de la cámara, la cual empieza a disminuir cuando el Zn evaporado reacciona con el oxígeno, formando moléculas de ZnO que se depositan en las paredes y demás elementos presentes en el interior de la cámara.

Este control se realizó mediante un instrumento virtual de control PID para cada una de las etapas. Para lograr el control de la primera etapa la señal de retroalimentación se obtiene de la termocupla tipo K que detecta la temperatura en la celda Knudsen y para el segundo paso, se adiciona un segundo algoritmo PID en el cual la señal de retroalimentación es la presión detectada por el medidor pirani de la unidad Balzers TPG 300. Las señales generadas por los algoritmos se transforman a código ASCII y actúan sobre la fuente de alimentación que proporciona una corriente proporcional a la señal y de esta manera se controla la temperatura del elemento calefactor de la celda Knudsen. Las variables que debe ingresar el usuario en el instrumento virtual son: tasa de flujo de oxígeno, set point de la presión deseada (delta de presión) y tiempo de deposición como se observa en la Figura 7.

El software desarrollado está diseñado como un control de lazo cerrado, a partir de las señales de retroalimentación generadas por los sensores de temperatura y presión se determina la señal de error con respecto al valor deseado (set point); esta señal de error ingresa al algoritmo de control PID el cual genera una señal que se transforma mediante código ASCII en un valor de corriente de salida que es aplicado por la fuente de voltaje hacia el elemento de calentamiento de la celda Knudsen; este lazo se puede observar en la Figura 8. La incorporación de la comunicación serial con la fuente de poder evita el error generado por un control on/off como el control por ancho de pulso.

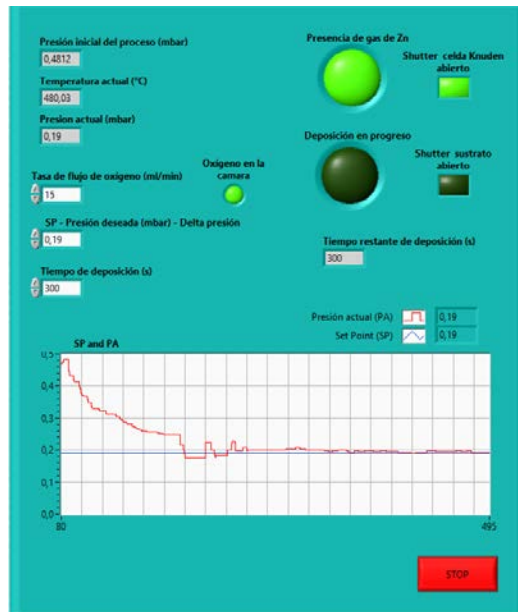


Figura 7. Panel frontal del instrumento virtual

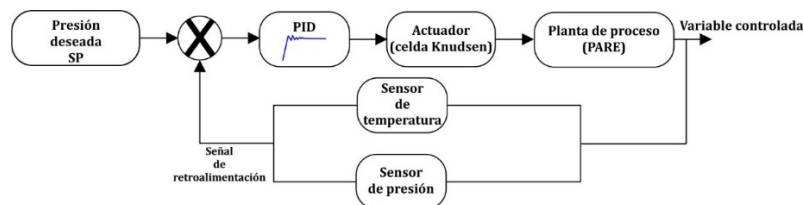


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de control diseñado

3. RESULTADOS PRELIMINARES

El sistema de control desarrollado fue probado depositando películas delgadas de n+-ZnO e i-ZnO. Después de optimizar el funcionamiento del sistema de control, este se utilizó para encontrar las condiciones para depositar películas delgadas de i-ZnO y n+-ZnO con propiedades optoelectrónicas adecuadas para ser utilizadas como contacto superior transparente de la ventana óptica de celdas solares.

Esto se realizó mediante un estudio de la influencia de los principales parámetros de deposición (cambio de presión DP, flujo de O₂ y corriente de la descarga eléctrica sobre la resistividad y la transmitancia. Se encontró que el flujo de O₂ y la corriente de descarga luminiscente afectan la transmitancia y la resistividad de las películas de ZnO, pero en un grado mucho menor que el producido por el cambio de presión DP asociado a una mayor participación de vapor de Zn en la reacción con O₂.

Se encontró que usando el método ERAP es posible fabricar películas delgadas de i-ZnO y n+-ZnO con propiedades adecuadas para ser usadas como ventana óptica en celdas solares. Películas delgadas n+-ZnO con transmitancias mayores al 82% y resistividades alrededor de $9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ pueden ser obtenidas usando los siguientes parámetros: corriente de iones de 4mA, flujo de oxígeno de 15 mL/min y gradiente de presión parcial DP de 0,007 mB. De otro lado películas delgadas i-ZnO con transmitancias mayores al 85% y resistividades alrededor de $2 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ pueden ser obtenidas usando los siguientes parámetros: corriente de iones de 4mA, flujo de oxígeno de 15 mL/min y gradiente de presión parcial DP de 0,003 mB.

La Figura 9 muestra la rutina típica usada para la deposición de películas delgadas de i-ZnO y n+-ZnO con las características mencionadas y en la Figura 10 se muestran curvas típicas de transmitancia de películas de ZnO depositadas bajo estas condiciones.

La Figura 11 muestra espectros de difracción de rayos x obtenidos con películas delgadas de n+-ZnO e i-ZnO, fabricadas por el método ERAP; se observa que este tipo de muestras crecen con estructura hexagonal y alto grado de orientación preferencial en la dirección (002) (PDF card #2 01-079-0205).

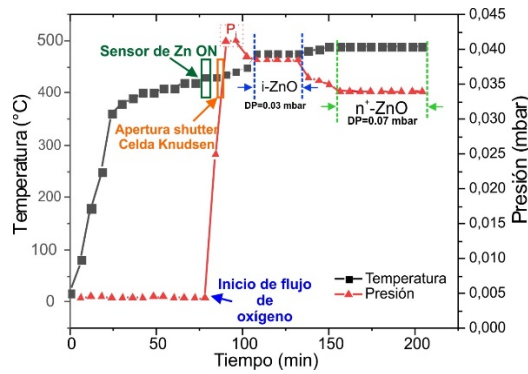


Figura 9. Perfil típico de la temperatura de la celda de Knudsen y del cambio de presión parcial DP que permiten depositar i-ZnO y n⁺-ZnO con espesores, transmitancias y resistividades adecuadas para ser utilizadas como ventana óptica de celdas solares

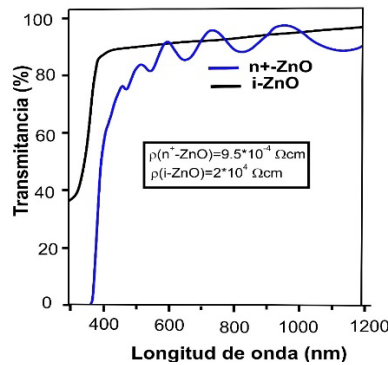


Figura 10. Transmitancia de películas delgadas típicas de i-ZnO y n⁺-ZnO, fabricadas por el método ERAP

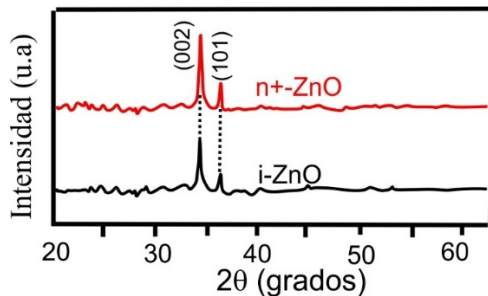


Figura 11. Difractogramas de películas de i-ZnO y n⁺-ZnO depositadas por el método ERAP

4. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un reactor automatizado para la producción de películas delgadas de óxido de zinc (ZnO) por el método de evaporación reactiva asistida por plasma (ERAP) con propiedades adecuadas para ser usadas en diferentes aplicaciones, particularmente en celdas solares fabricadas con diferentes tecnologías de película delgada. El reactor incluye una fuente de evaporación de Zn tipo celda Knudsen implementada con un diseño avanzado que permite depositar películas delgadas de área grande a altas tasas de deposición y buena homogeneidad en espesor; adicionalmente se implementó un sistema electrónico que permite controlar proceso de crecimiento de las películas de ZnO en forma automática, usando algoritmos desarrollados en ambiente LabVIEW.

La operación del reactor implementado se probó depositando un gran número de películas delgadas de n⁺-ZnO e i-ZnO, donde se comprobó que este permite depositar muestras de ZnO con espesor, transmitancia y resistividad adecuadas para su uso como capa TCO (transparente y conductora) y como barrera de difusión en celdas solares basadas en CIGS y como capa ETL en celdas solares híbridas basadas en perovskitas.

A partir de los nuevos componentes y de la optimización del sistema de control y monitoreo, se espera mejorar la reproducibilidad del proceso de fabricación disminuyendo los momentos en los cuales el

operador debe influir en el proceso luego de ingresar los parámetros iniciales, esto gracias a la adición de shutter de control electrónico y la instalación del sensor de presencia de zinc diseñado, además, se aumenta el área de la celda Knudsen y se incluye una configuración que permite la salida de vapor de Zn a través de varios orificios lo que da lugar a la deposición de películas de ZnO más homogéneas en espesor, superando uno de los mayores problemas encontrados en investigaciones anteriores.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República de Colombia y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de ciencias, Grupo GMSyES (Proy. 47630).

REFERENCIAS

- Alfaro Cruz, M. R., Ceballos-Sanchez, O., Luévano-Hipólito, E. y Torres-Martínez, L. M. (2018). ZnO thin films deposited by RF magnetron sputtering: Effects of the annealing and atmosphere conditions on the photocatalytic hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* 43(22), 10301–10310.
- Bheemreddy, V., Liu, J. B., Wills, A. y Murcia, C. P. (2018). Life Prediction Model Development for Flexible Photovoltaic Modules using Accelerated Damp Heat Testing. En *7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. Waikoloa, USA.
- Brabec, C., Dyakonov, V., Parisi, J. y Sariciftci, N. (2003). *Organic Photovoltaics: Concepts and Realization*. Springer.
- Cherouana, A. y Labbani, R. (2017). Study of CZTS and CZTSSe solar cells for buffer layers selection. *Applied Surface Science* 424, 251–255.
- Cornelius, S. (2013). Charge transport limits and electrical dopant activation in transparent conductive (Al,Ga):ZnO and Nb:TiO₂ thin films prepared by reactive magnetron sputtering. *Disertación doctoral*. Technische Universität Dresden.
- Dong, S., Zhang, K., Xie, B., Xiao, J., Yip, H.-L., Yan, H., Huang, F. y Cao, Y. (2019). High-Performance Large-Area Organic Solar Cells Enabled by Sequential Bilayer Processing via Nonhalogenated Solvents. *Advanced Energy Materials* 9(1), 1802832.
- Fraunhofer ISE. (2019). *Photovoltaics report*. Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- Global Atlas Carbon. (2019). *Fossil Fuels Emissions*. Global Atlas Carbon.
- Gordillo, G., Ramirez Botero, A. A. y Ramirez, E. A. (2016). Development of novel control system to grow ZnO thin films by reactive evaporation. *Journal of Materials Research and Technology* 5(3), 219–225.
- Gueddim, A., Bouarissa, N., Naas, A., Daoudi, F. y Messikine, N. (2018). Characteristics and optimization of ZnO/CdS/CZTS photovoltaic solar cell. *Applied Physics A* 124, 199.
- Hanket, G., Fields, S. y Elliott, J. (2014). *Design and testing of pilot-scale Cu and mixed-vapor Ga-In evaporation sources*. En 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). Denver, USA.
- Jang, J. S., Kim, J., Ghorpade, U., Shin, H. H., Gang, M. G., Park, S. D., Kim, H.-J., Lee, D. S. y Kim, J. H. (2019). Comparison study of ZnO-based quaternary TCO materials for photovoltaic application. *Journal of Alloys and Compounds* 793, 499–504.
- Jung, E., Jeon, N., Park, E., Moon, C., Shin, T., Yang, T.-Y., Noh, J. y Seo, J. (2019). Efficient, stable and scalable perovskite solar cells using poly(3-hexylthiophene). *Nature* 567, 511–515.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A. y Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 894–900.
- Kannan, N. y Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62, 1092–1105.
- Kumari, N., Patel, S. R. y Gohel, J. V. (2018). Optical and structural properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis for enhanced efficiency perovskite solar cell application. *Optical and Quantum Electronics* 50(4), 180.
- Liang, Y. (2019). Chemical vapor deposition synthesis of Ge doped ZnO nanowires and the optical property investigation. *Physics Letters A* 383(24), 2928–2932.
- Luo, J., Wang, Y. y Zhang, Q. (2018). Progress in perovskite solar cells based on ZnO nanostructures. *Solar Energy* 163, 289–306.
- Manor, A., Katz, E. A., Tromholt, T. y Krebs, F. C. (2012). Enhancing functionality of ZnO hole blocking layer in organic photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 98, 491–493.
- Montoya, L. y Arango, P. (2007). Structural and morphological characterization of ZnO films deposited on glass supports. *DYNA* 74, 37–45.
- Ramirez, A. A., Gil, I., Gordillo, G. y Latifi, A. M. (2020). Analysis of a plasma-assisted reactive evaporation process for preparation of ZnO thin films: Modeling and experimentation. *Thin Solid Films* 698, 137846.
- Wang, C. y Yu, C. (2013). Detection of chemical pollutants in water using gold nanoparticles as sensors: a review. *Reviews in Analytical Chemistry* 32(1), 1–14.

- Wang, K., Liu, C., Meng, T., Yi, C. y Gong, X. (2016). Inverted organic photovoltaic cells. *Chemical Society Reviews* 45(10), 2937–2975.
- Wang, W., Winkler, M. T., Gunawan, O., Gokmen, T., Todorov, T. K., Zhu, Y. y Mitzi, D. B. (2014). Device Characteristics of CZTSSe Thin-Film Solar Cells with 12.6% Efficiency. *Advanced Energy Materials* 4(7), 130-146.
- Wibowo, A., Marsudi, M., Amal, M., Ananda, M., Stephanie, R., Ardy, H. y Diguna, L. J. (2020). ZnO nanostructured materials for emerging solar cell applications. *RSC Advances* 10, 42838–42859.
- Yoshikawa, K., Kawasaki, H., Yoshida, W., Irie, T., Konishi, K., Nakano, K., Uto, T., Adachi, D., Kanematsu, M., Uzu, H. y Yamamoto, K. (2017). Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%. *Nature Energy* 2(5), 17032.
- Zheng, X., Streimikiene, D., Balezentis, T., Mardani, A., Cavallaro, F. y Liao, H. (2019). A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. *Journal of Cleaner Production* 234, 1113–1133.

Agrocybe pediades como bioindicador fúngico: Indicios de sensibilidad al herbicida Paraquat

Selena Silva-León¹

Alba Mónica Montiel González²

Laura Verónica Hernández Cuevas³

Jaime Marcial Quino⁴

¹⁻³ Centro de Investigación en Genética y Ambiente
México

El Paraquat es un herbicida de la familia de los bupiridilos que genera radicales libres como mecanismo tóxico. En Latinoamérica es muy usado en la agricultura por su bajo costo y alta eficiencia, aunque se desconocen muchos de los efectos negativos producidos sobre la microbiota edáfica -como los hongos saprótrofos- y sus funciones ecológicas. Los hongos se han descrito como microorganismos de rápida adaptación a distintas presiones ambientales, sin embargo, mientras que algunas especies pueden mostrar una adaptación completa, otras serán sensibles e incapaces de afrontarlas. Estas respuestas, aunadas a su papel como descomponedores primarios, favorecen su uso como bioindicadores específicos para compuestos particulares. En este estudio se determinó *in vitro*, si el Paraquat puede actuar como agente limitante para el crecimiento de *Agrocybe pediades* (cepa CIGYA-002), hongo saprótrofo tolerante a tóxicos como el hexaclorobenceno. Se realizaron cultivos en medio mineral líquido a concentraciones de 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L de Paraquat (Camacho et al. 2017), con dos controles, uno sin fuente de carbono y otro sin Paraquat. El herbicida se adicionó en dos momentos, al inicio del cultivo y después de las 72 h. Cada tratamiento contó con tres réplicas, incubadas en oscuridad a 30 °C (Silva, 2019), con agitación de 100 rpm durante 216 horas. La biomasa fue la variable de respuesta, cuantificada por el método de diferencia de peso. Los datos se analizaron mediante ANOVA de 1 factor y la prueba *post hoc* de Tukey ($\alpha=0.05$) (SPSS Statistic 25). El Paraquat inhibió el crecimiento del hongo a todas las concentraciones probadas, lo que evidencia su intolerancia a este compuesto. Estos resultados muestran el potencial de la cepa CIGYA-002 de *A. pediades* como un bioindicador altamente sensible a la presencia de Paraquat, apto para detectarlo aun en cantidades mínimas.

¹ Contacto: selena.biologia@gmail.com

² Contacto: amonicamg@yahoo.com

³ Contacto: funcicuevas@hotmail.com

⁴ Contacto: jmarcialq@ciencias.unam.mx

1. INTRODUCCIÓN

El Paraquat (Dicloruro de 1,1-Dimetil 4, 4-bipiridilo) es un reactivo que promueve la generación de radicales libres ROS como el anión superóxido O_2^{2-} y el altamente reactivo hidroxilo OH, que reacciona con la mayoría de las moléculas orgánicas; actúa por contacto y es usado principalmente en la agricultura para el control de malezas (Viales, 2014); el Paraquat se puede adsorber en el suelo debido a las cargas que tienen distintos componentes de la materia orgánica, posteriormente puede liberarse en función de las condiciones ambientales, como la alcalinización del suelo que mejora la disponibilidad del compuesto y la erosión que favorece su filtración a los mantos acuíferos. A pesar de ser un producto altamente tóxico, en Latinoamérica se sigue usando de manera intensiva y extensiva, principalmente en Colombia y México, y aún es usado en algunas zonas agrícolas de los Estados Unidos (Chan et al., 2014).

En octubre del año 2020 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA pidió decidir acerca de la propuesta enfocada hacia la reducción del riesgo ecológico potencial por el uso de este producto y la protección de la salud pública, basándose en los hallazgos de evaluaciones de riesgo preliminar y en los comentarios hechos a la propuesta, no obstante, el resultado de la solicitud y de las evidencias condujo solo a solicitar requisitos nuevos para el empaque del compuesto (EPA, 2020). En la evaluación preliminar del compuesto, efectuada en el año 2019, se identificaron riesgos potenciales en mamíferos, aves, invertebrados terrestres, plantas y algas, pero no se presentaron evidencias de daño en microorganismos como los hongos, debido a la creencia de que éstos pueden tolerar distintas condiciones ambientales, aunque al mismo tiempo se reconoció que también pueden ser sensibles, indicándose la necesidad de dirigir estudios para evaluar su susceptibilidad a éste y otros compuestos (EPA, 2020).

Los hongos son microorganismos ubicuistas y cosmopolitas; forman parte de todos los ambientes terrestres en los que, a través de interacciones con otros organismos microbianos y no microbianos y con su entorno, realizan funciones variadas y continuas, importantes para la dinámica y el equilibrio de los ecosistemas (Aguirre et al., 2014). De entre los distintos grupos de hongos terrestres, son los saprótrofos los encargados de degradar y de transformar la materia orgánica a formas químicas de fácil asimilación para ellos y para otros organismos, contribuyendo con ello de manera importante y vital al reciclaje y a la disponibilidad de nutrimentos en los suelos (Aguirre et al., 2014), donde pueden estar expuestos a distintas condiciones ambientales adversas, como lo es la presencia de xenobióticos, que se sabe, llegan a zonas geográficas muy alejadas de los centros de emisión debido a que son transportados fácilmente por vía aérea o acuática (Lucio et al., 2021).

Estas circunstancias revelan la importancia de evaluar la salud de los ecosistemas, aun cuando esta tarea sea cada día más compleja, pues la gran cantidad y diversidad de compuestos xenobióticos que ingresan al ambiente va en aumento. Por ello, en las últimas décadas se ha incrementado el uso de biomarcadores para evaluar y monitorear diferentes matrices ambientales en los ecosistemas, con el fin de detectar la presencia de compuestos dañinos, siendo de especial interés aquellos que, debido a sus dinámicas de transformación, a su persistencia o a su bioacumulación representen problemas serios para la biota (incluido el ser humano) y, en consecuencia, para el mantenimiento y el futuro de los ecosistemas (Lucio et al., 2021).

Un biomarcador está representado por la respuesta funcional, fisiológica o bioquímica, a nivel celular o de interacciones moleculares de un organismo, de una población o de una comunidad, que se afecta ante un peligro potencial, biótico o abiótico, sin embargo, para realizar una evaluación ambiental o un programa de monitoreo, se deben usar varios biomarcadores que describan los síntomas de la relación causa-efecto (Toro, 2011). Los biomarcadores permiten realizar evaluaciones en una pequeña parte o muestra de organismos específicos, denominados bioindicadores, de una o de varias zonas sospechosas de contaminación, para confrontarlos con las de los mismos organismos pero que proceden de una zona control, sin afectación por los contaminantes bajo estudio y aunque esto dependerá siempre de las características fisicoquímicas de los éstos, es posible evaluar su efecto *in vitro*.

Los biomarcadores y bioindicadores presentan ventajas y desventajas que deben conocerse para determinar el potencial de organismos específicos, de su fisiología y de sus funciones para considerar su

factibilidad de uso. Los bioindicadores de importancia primaria son ventajosos al ser indicadores de efecto, de alta relevancia ecológica; en contraste, características como baja relación con la causa, escasa variabilidad de la respuesta, limitada especificidad a la causa de tensión y tiempo de respuesta largo, son propiedades desfavorables o indeseables en los bioindicadores (Adams, 2012). Lo anterior muestra la necesidad de evaluar biomarcadores que poseen respuestas tanto celulares como subcelulares; un biomarcador es utilizado como un indicador primario de exposición ya que tiene altas sensibilidad a los tensores y relación directa.

Por ello, es importante elegir un buen candidato como bioindicador para comenzar a seleccionar los biomarcadores respectivos, ya que a partir de su estudio detallado podrán analizarse una serie de biomarcadores potenciales adecuados para mostrar una o varias respuestas del organismo ante la exposición a diferentes agentes externos. En diversos hongos y otros grupos biológicos, se han encontrado bioindicadores apropiados para detectar perturbación ambiental ocasionada por contaminación y diversos contaminantes particulares (Gracia et al., 2017). El gremio de los hongos saprótrofos no es la excepción y aunque se estima que de la enorme diversidad de especies que existen en el grupo, son solo aproximadamente 1000 las que a nivel mundial se han estudiado con mayor intensidad, por lo que se conocen como hongos de referencia; aquéllas en las que se han realizado estudios como bioindicadoras son muy escasas (Gracia et al., 2017).

Uno de estos casos es el de *Agrocybe pediades*, en el que Hernández (2021) mostró que una cepa de este hongo (cepa CIGYA-002) tolera concentraciones de 500 mg/L de Hexaclorobenceno HCB, uno de los muchos compuestos xenobióticos que se han encontrado en ecosistemas templados donde esta especie habita de manera natural (Ortega, 2008). A pesar de su tolerancia a HCB, es el mecanismo de toxicidad del compuesto lo que define que una especie o una cepa sea atractiva como potencial bioindicador para contaminantes específicos. El Paraquat es uno de ellos, ya que al adsorberse en el suelo y estar disponible para los distintos componentes de la microbiota edáfica carente de los mecanismos de protección celular ante factores de estrés oxidativo, podría ocasionar respuestas distintas y actuar como agente limitante o selectivo de las comunidades fúngicas. En razón de ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del Paraquat en el crecimiento de *A. pediades* y el papel de este hongo como posible bioindicador.

2. MÉTODO

El diseño de los experimentos fue aleatorizado con controles. Se utilizó *Agrocybe pediades*, cepa CIGYA-002 del Laboratorio de Biología Molecular del Centro de Investigación en Genética y Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, duplicada en la colección de microorganismos del Centro Nacional de Recursos Genéticos, con registro CM-CNRG 700. El hongo es un macromiceto saprótrofo aislado de un bosque de *Juniperus deppeana* ubicado en el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala, México (Ortega, 2018). La cepa se sometió a diferentes concentraciones de Paraquat en dos momentos con respecto a la adición de éste al medio de cultivo; se adicionó al inicio y a las 72 h del cultivo, utilizando como variable de respuesta la producción de biomasa.

Para ello fue necesario propagar la cepa a partir del micelio obtenido en la primera propagación o aislamiento original, resguardada a 4 °C; la segunda generación de micelio fue incubada en oscuridad a 30 °C, durante 15 días sin agitación (incubador orbital Prendo INO 650 V-11) en medio sólido Agar Extracto de Malta (EMA) (Silva, 2019). Una tercera generación de micelio, propagada como se indicó antes, se utilizó para la inoculación en medio líquido mineral mínimo, con glucosa y extracto de levadura como fuentes de carbono y de nitrógeno, se incubó a 30 °C (Silva, 2019) en una incubadora orbital (Prendo INO 650 V-11) a 100 rpm; esta tercera generación se usó para el experimento de exposición al compuesto. Las concentraciones de Paraquat fueron, para un experimento, 0, 20, 40, 60, 80, 90 y 100 mg/L y, en un segundo momento y experimento fueron de 0, 5, 10, 15 y 20 mg/L (Figura 1), estimada esta última como la concentración mínima inhibitoria de este compuesto probada en hongos saprótrofos (Camacho et al., 2017).

Las cantidades de Paraquat a adicionar en el medio de cultivo para obtener las concentraciones deseadas se calcularon a partir de la concentración de la fórmula comercial de Paraquat que contiene 25 % de ingrediente activo. Se utilizaron matraces Erlenmeyer de 125 mL con 30 mL de medio mineral mínimo, con

glucosa y extracto de levadura (5 g/L y 1 g/L, respectivamente). Cada matraz fue inoculado con cinco cilindros de agar de 9.45 mm de diámetro colonizados con micelio, tomados de la zona de crecimiento activo (periferia de la caja de Petri con micelio). Se evaluó solo el crecimiento fúngico por medio de la generación de biomasa, obtenida con el método de peso seco, en tres repeticiones por tratamiento. La biomasa se obtuvo filtrando el contenido de los matraces del cultivo mediante una bomba de vacío (Millipore®) con ayuda de un embudo Buchner, un matraz Kitasato y papel filtro Whatman No. 1 estériles. Obtenida la biomasa, se dejó en el horno de secado (Drying Oven FCD- 3000 serials), durante tres días a 45 °C a peso constante, una vez seca, la biomasa se pesó en una balanza analítica (Denver Instruments). La Figura 1 resume las actividades experimentales.

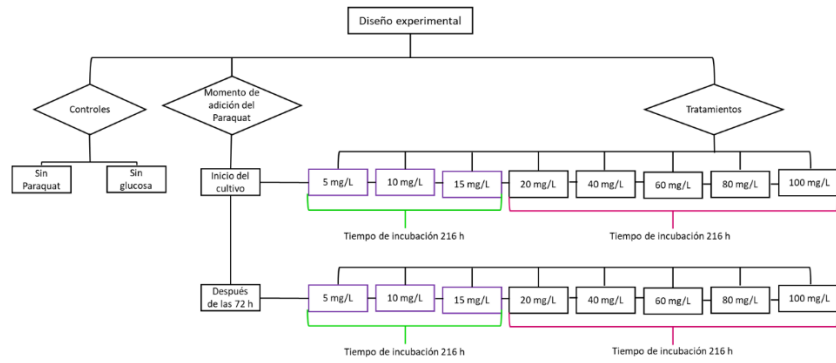


Figura 1. Diseño experimental. El muestreo se realizó cada 72 h por triplicado para todos los tratamientos, evaluando biomasa como variable de respuesta

Análisis estadístico. Se utilizó estadística descriptiva obteniendo la media y la desviación estándar de las tres réplicas en cada muestreo, cada 72 horas. Se analizó una sola variable (biomasa) en grupos independientes, mediante un análisis de varianza ANOVA de 1 factor con comparaciones múltiples con la prueba de *pos hoc* de Tukey con un valor de $\alpha=0.05$. Estos análisis fueron realizados en el programa estadístico SPSS Statistics 25.

3. RESULTADOS

3.1 Efecto del Paraquat adicionado al inicio del cultivo sobre el crecimiento de *A. pediades* a concentraciones de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L

La generación de biomasa agregando el Paraquat al inicio del cultivo, tomando en cuenta que el inóculo fue de 0.5 g/L de biomasa (Figura 2), presentó diferencias significativas ($F= 7.758$, $p < 0.001$). El control sin Paraquat fue el único que mostró diferencias significativas con respecto a todos los tratamientos; en él se produjo una biomasa máxima de 3.406 ± 0.173 g/L al final del cultivo. Por otro lado, en el medio sin glucosa el micelio sobrevivió con la reserva del cilindro de agar con el que se inoculó, e incluso genero poca biomasa; en los tratamientos con Paraquat se observó algo parecido, lo que indica que el compuesto es muy tóxico, ya que a pesar de que el medio en el que se agrega cuenta con todos los nutrientes necesarios para el crecimiento del hongo, el compuesto no le permite crecer más allá de lo que crece sin reserva de glucosa.

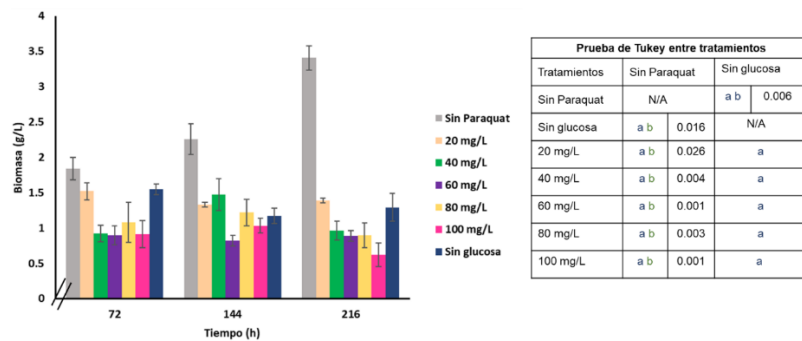


Figura 2. Biomasa generada cuando se agrega el Paracuat al inicio del cultivo. Cada barra representa el promedio \pm SD de tres réplicas. En la tabla de la derecha se muestra los resultados de la prueba de Tukey para cada tratamiento con los respectivos valores. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

3.1.1 Efecto del Paraquat adicionado después de 72 h de cultivo sobre la biomasa de *A. pediades* a concentraciones de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L

A las 72 horas de incubación la cepa de *A. pediades* generó 1.706 ± 0.300 g/L de biomasa lo que permite saber cuál fue el crecimiento antes y después de agregar el Paraquat. Estos resultados muestran que aun añadiendo el compuesto cuando el hongo pasa la fase de adaptación, las concentraciones son letales. Los análisis estadísticos muestran que existen diferencias significativas entre el control sin Paraquat y todos los tratamientos, incluyendo el control sin glucosa; entre este último y los tratamientos con Paraquat no hubo diferencias estadísticas ($F= 3.307$, $p < 0.031$) (Figura 3).

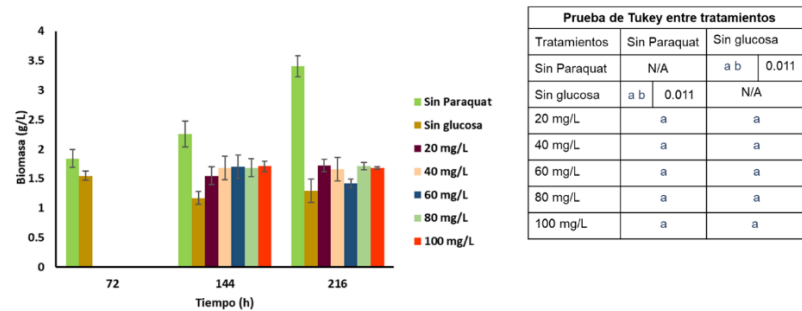


Figura 3. Biomasa generada cuando se agrega el Paracuat a las 72 horas de cultivo. Cada barra representa el promedio \pm SD de tres réplicas. En la tabla de la derecha se muestra los resultados de la prueba de Tukey para cada tratamiento con los respectivos valores. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

3.2 Efecto del Paraquat adicionado al inicio del cultivo sobre la biomasa de *A. pediades* a concentraciones de 5, 10, 15 y 20 mg/L

Se observó que, independientemente de la concentración de Paraquat utilizada, éste resulta muy tóxico cuando es agregado al inicio del cultivo. Los análisis estadísticos mostraron que el control sin Paraquat fue significativamente diferente del resto de los tratamientos, que entre sí fueron iguales ($F= 5.708$, $p < 0.006$) (Figura 4).

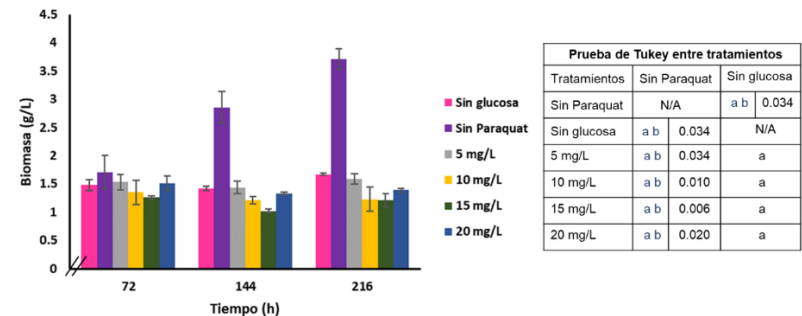


Figura 4. Biomasa generada cuando se agrega el Paracuat al inicio del cultivo. Cada barra representa el promedio \pm SD de tres réplicas. En la tabla de la derecha se muestra los resultados de la prueba de Tukey para cada tratamiento con los respectivos valores. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

3.2.1 Efecto del de Paraquat adicionado después de 72 h de cultivo sobre la biomasa de *A. pediades* a concentraciones de 5, 10, 15 y 20 mg/L

A las 72 horas de incubación el control sin Paraquat generó 1.706 ± 0.300 g/L de biomasa. Los análisis estadísticos muestran que en este caso no hubo diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ($F= 1.851$, $p= 0.177$) (Figura 5).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Agrocybe pediades es un hongo del cual se han estudiado pocas propiedades. Al respecto de su tolerancia o adaptación a la contaminación por diversos compuestos xenobióticos solo existe el trabajo de Hernández (2021), quien registró su tolerancia al Hexaclorobenceno. Los efectos de la exposición a pesticidas como el

Paraquat se han explorado únicamente en unas cuantas especies de hongos saprótrofos, gremio funcional al que pertenece *A. pediades*, pero no en él. Este es el primer estudio donde se abordan tales efectos. La generación de biomasa por *A. pediades* (cepa CIGYA-002) fue diferente a la reportada por Camacho et al. (2017) para otro hongo saprótrofo. En ese estudio mostraron que dos cepas del género *Polyporus* pueden tolerar concentraciones de hasta 150 mg/L de Paraquat en grado reactivo.

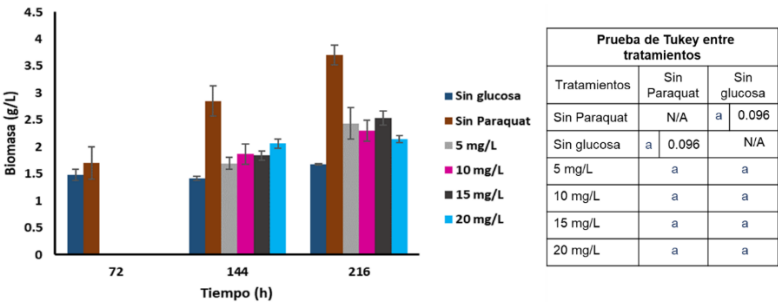


Figura 5. Biomasa generada cuando se agrega el Paraquat a las 72 horas de cultivo. Cada barra representa el promedio \pm SD de tres réplicas. En la tabla de la derecha se muestra los resultados de la prueba de Tukey para cada tratamiento con los respectivos valores. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

Aunque ambos hongos son basidiomicetos, pertenecen a órdenes taxonómicos distintos y, no obstante que son saprótrofos, su respuesta ante el estrés oxidativo es distinta ya que está influenciada por factores como el ambiente en el que se encuentran y el acervo genético que poseen, que, aunque les permita hacer frente a diferentes condiciones ambientales, en algunas especies será más apropiado o podrá activarse de manera más efectiva que en otras. Es importante considerar que el Paraquat usado por estos autores fue grado reactivo; esta forma química, carente de otros compuestos, favorece el que algunos organismos, como *Polyporus* puedan hacerles frente, produciendo agentes antioxidantes o activando alguna estrategia fisiológica para contrarrestar los efectos del compuesto de manera directa para continuar desarrollándose.

En este estudio, se usó Paraquat comercial de venta libre, integrado por una mezcla del ingrediente activo y coadyuvantes que lo hacen más efectivo para la eliminación de hierbas, pero más agresivo para la biota existente al no actuar como un agente selectivo. Los resultados de este trabajo son evidencia de lo anterior, ya que el producto usado impidió por completo el crecimiento de *A. pediades*, incluso a la concentración más baja (5 mg/L). De acuerdo con la información técnica del producto, una vez que éste ingresa a la célula vegetal a la que está dirigido, o entra en contacto con electrones libres producidos por el metabolismo del organismo, éstos reaccionan con el ión Paraquat produciendo la forma radical libre; cuando el oxígeno reconvierte el radical libre y se produce peroxidación, los productos atacan a los ácidos grasos no saturados de la membrana, abriéndola y desintegrándola de manera continua por el reciclaje del Paraquat/radical libre, hasta que se agota el suministro de electrones libres y la célula muere (Tecnoagricola, 2021). Este mecanismo está bien descrito para las plantas, pero poco se conoce sobre él en hongos.

Por ejemplo, en *Paracoccidioides brasiliensis*, hongo saprótrofo del suelo, que a su vez puede actuar como patógeno de mamíferos, el estrés causado por Paraquat promueve la expresión de genes que ayudan a la síntesis de quitina, uno de los principales carbohidratos complejos que conforman la pared celular de los hongos, la que funciona como su primera defensa ante diferentes circunstancias, facilitando o impidiendo el paso del compuesto (Vinícius et al., 2013). De acuerdo con el cese completo del crecimiento de *A. pediades* ante el Paraquat, se sospecha la posibilidad de que este hongo carezca de este tipo de mecanismos de defensa o de que estén inactivos debido a algún tipo de interacción bioquímica. El diseño de estos experimentos permitió evidenciar de manera indirecta algunas de estas posibilidades. Por ejemplo, el fácil ingreso del compuesto al dañar las barreras naturales del hongo hacia agentes externos (pared y membrana celulares) debidos a la preparación del inóculo, puesto que el crecimiento cesó al agregar el compuesto al mismo tiempo que los fragmentos de micelio.

Cuando el herbicida se adicionó después de la recuperación del hongo, a las 72 h, aunque los resultados muestran que el hongo creció muy poco, a expensas de los nutrimentos del segmento de agar, a partir de ese momento su crecimiento estuvo comprometido, hasta morir a las 360 h (datos no mostrados). Es muy importante resaltar que, de acuerdo con los resultados de este trabajo, la toxicidad del Paraquat hacia *A.*

pediades no depende específicamente de la dosis, ni del tiempo en el que se agrega el compuesto, sino del mecanismo de acción y de la aparente incapacidad de *A. pediades* para hacerle frente. Todas estas situaciones son interesantes de explorar y de dilucidar de manera más precisa y detallada. Aunque el Paraquat no pueda bioacumularse en *A. pediades*, puede proponerse como un bioindicador apto para detectar el compuesto en cantidades mínimas, que es una de las características más significativas y deseables de los bioindicadores fúngicos (Guzmán y Álvarez, 2014) y que esta especie podría considerarse como un buen bioindicador de la calidad del suelo, en casos en los que se sospeche de la presencia de Paraquat como xenobiótico.

5. CONCLUSIONES

Los resultados indican que *Agrocybe pediades* (cepa CIGYA-002) es muy sensible al Paraquat cuando éste se agrega al inicio del cultivo y después de 72 horas de crecimiento, es decir, cuando el hongo se encuentra en las fases de adaptación y de crecimiento activo, independientemente de las concentraciones del producto.

Estos resultados son indicativos del potencial de uso de *A. pediades* como un bioindicador fuertemente sensible al herbicida ya que responde negativamente a su presencia, aún a concentraciones mínimas. Asimismo, los resultados muestran la necesidad de continuar y de ampliar el estudio de este hongo, dirigido a aspectos más detallados, como la expresión de enzimas que se encargan de aminorar el efecto oxidativo del Paraquat.

Por ejemplo, mediante el análisis del citocromo p450 como biomarcador de exposición, en donde al menos se deberían explorar dos enzimas del complejo, como la glutatión S-transferasa y la superóxido dismutasa, que han probado ser muy útiles en estudios ecotoxicológicos.

REFERENCIAS

- Adams, S. M. (2002). *Biological Indicator of Aquatic Ecosystems Stress: Introduction and Overview*. En Adams, S. (Ed.), *Biological indicators of aquatic ecosystems stress*. American Fisheries Society.
- Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J. y Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 76-81.
- Camacho-Morales, L.R., Gerardo-Gerardo, J.L., Guillen, N.K. y Sánchez, J.E. (2017). Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca. *Asociación Argentina de microbiología* 49 (2), 189-196.
- Chan, C. W., Heredia, A. G., Rodríguez, V. R. y Arias, M. R. M. (2014). Toxicidad *in vitro* de los herbicidas atrazina y Paraquat sobre el crecimiento vegetativo y la esporulación de hongos saprobios del suelo. *Revista internacional de contaminación ambiental* 30(4), 393-406.
- EPA. (2020). *Seguridad laboral al usar pesticidas, Dicloruro de Paraquat*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- Guzmán-Dávalos, L. y Álvarez, B. I. (2014). Hongos y líquenes como indicadores y biorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambient* 25(2), 111-120.
- Hernández, A. (2021). Análisis de la capacidad de crecimiento de *Agrocybe pediades* en presencia de hexaclorobenceno. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Lucio-Flores, S.A., Otazo-Sánchez, E.M., Romero-Bautista, L. y Gaytán-Oyarzún, J.C. (2021). Hongos macroscópicos como bioacumuladores de metales pesados. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 8(16), 60-65.
- Ortega Ávila, R. (2018). Aislamiento, identificación, crecimiento *in vitro* y conservación de basidiomicetos saprótrofos de un bosque de *Juniperus*. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Silva León, S. (2019). Efecto de la temperatura sobre la producción de enzimas lacasas expresadas por *Agrocybe* cf. *pediades* cultivado en medio sólido. Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Tecnoagricola. (2021). *Paraquat 25*. Portal Tecnoagricola.
- Toro-Restrepo, B. (2011). Uso de biomarcadores en la evaluación de la contaminación. *Revista Luna Azul* 32, 121-127.
- Viales, L. G. (2014). Intoxicación por Paraquat. *Asociación Costarricense de Medicina Forense* 31(2), 16-30.
- Vinicius, M. C. A., Cláudio, S., Costa de Oliveira, R. y Nunes, R. (2013). Gene expression modulation by paraquat-induced oxidative stress conditions in *Paracoccidioides brasiliensis*. *Fungal Genetics and Biology* 90, 101-109.

Residuo de café transformado en bioplástico

Paulina Borunda Baquera¹

Angélica Hernández Quintero²

Elsa Marcela Ramírez López³

Universidad Autónoma de Aguascalientes
México

El café es considerado como uno de los productos primarios más valiosos a nivel mundial, ya que es un producto básico que se comercializa en todo el mundo. También su importancia radica en que es crucial para la economía y la política de diversos países. Asimismo, proporciona empleo a millones de personas alrededor de todo el mundo, mediante el transporte, comercio, cultivo, cosecha y el procesamiento del café. El centro nacional de investigaciones del café CENICAFÉ pudo determinar y encontrar que el desecho del café tiene una gran cantidad de celulosa, aproximadamente entre 57%-70%, lo cual puede ser utilizada para llevar a cabo procesos industriales importantes donde pueda ser aprovechada. El objetivo del estudio fue obtener un bioplástico con características similares a los plásticos convencionales a partir de los residuos de la percolación del café. El bioplástico se obtuvo a partir del tratamiento de los residuos de café por medio de una digestión de Kraft y emblanquecimiento de la celulosa, y posterior formulación del bioplástico. Los resultados mostraron, bajo las diferentes formulaciones de las nueve muestras estudiadas, que la producción del bioplástico está relacionado con el tiempo y la temperatura durante la digestión Kraft. El bioplástico obtenido a una temperatura mayor a 150°C y reaccionando durante 5 horas dio las mejores características de textura y firmeza, a temperaturas inferiores a 130°C, junto con tiempos de cocción en el digestor menores de 3.5 horas, la celulosa para elaborar un bioplástico se vuelve más frágil, se rompe fácilmente y su textura no es uniforme. La celulosa extraída podría emplearse como un bioplástico siendo el mejor cuando las condiciones de operación fueron de 50°C, 1 atmósfera de presión y 5 horas de reacción, presentando características similares a los plásticos convencionales. Además de no presentar un crecimiento bacteriano sobre el material.

¹ Licenciada en Biotecnología. Profesora del Departamento de Ingeniería Bioquímica del Centro de Ciencias Básicas.
Contacto: pau4247@hotmail.com

² Profesora del Departamento de Ingeniería Bioquímica del Centro de Ciencias Básicas.
Contacto: marcela.ramirezl@edu.uaa.mx

³ Profesora del Departamento de Estadística del Centro de Ciencias Básicas.
Contacto: angelica.hernandez.q@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El café es considerado como uno de los productos primarios más valiosos a nivel mundial, ya que es un producto básico que se comercializa en todo el mundo. Es superado en valor únicamente por la industria petrolera como fuente de diversos países en desarrollo. También su importancia radica en que es crucial para la economía y la política de diversos países. Asimismo, proporciona empleo a millones de personas alrededor de todo el mundo, mediante el transporte, comercio, cultivo, cosecha y el procesamiento del café (AMECAFÉ-SIAP, 2016). Otra importancia que cabe mencionar es que el café es la bebida predilecta a nivel mundial, ya que muestra gran impacto en el ámbito comercial. Por su contenido de cafeína, es considerada como una bebida con propiedades que son altamente estimulantes y con múltiples beneficios, como lo es: la concentración, reactivación de la memoria, propiedades antioxidantes, efecto prebiótico, ayuda a la digestión, exfolia la piel, entre muchas cualidades más (AMECAFÉ-SIAP, 2016).

México se ha colocado en el lugar número once en la producción de café a nivel mundial y en el doceavo lugar como exportador a nivel internacional. De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA, en 2018 se registró la participación de 500 mil cafecultores en todo el país, y es aquí donde radica desde el punto de vista social, la importancia del café, además de que considerando las familias de estos grupos y las del personal ligado a la transformación y comercialización del grano, alrededor de 3 millones de mexicanos dependen del café en algún grado. En la producción de café rebasa el medio millón de toneladas, por eso México ocupa el onceavo lugar en producción de semilla verde (SAGARPA, 2019).

En México, el cultivo y la producción de café ha llegado a 14 estados de la República Mexicana, que van desde la frontera sur del país, hasta el pacífico norte. Cada una de las regiones tiene características propias del clima, pero en su mayoría con las condiciones necesarias para la producción de café. La mayoría de las regiones se ubican en ubicaciones de origen volcánico. Los datos arrojados por AMECAFÉ-SIAP (2016), el 40.0% de la producción total en México se realiza en áreas de selvas altas y mediana, el 23.0% se produce en las áreas de bosques de pinos y encinos, el 21.0% se produce en selvas bajas y finalmente el 15.0% en bosques mesófilos en las montañas (AMECAFÉ-SIAP, 2016).

La recolección del ciclo cafetalero en México inicia desde octubre y termina a finales de septiembre, aunque la cosecha se realiza principalmente de noviembre a marzo. Durante su recolección, esta se realiza de manera manual y se recolecta grano por grano con la finalidad obtener un café de alta calidad, debido a que las cerezas sin madurar o demasiado maduras pueden descalificar el café, agregando sabores desagradables al momento de consumirlo. Por esta razón se debe mantener un equilibrio, consistencia en los granos de café durante la recolección de manera manual. Bajo estas condiciones, en México se cultiva principalmente el café de la especie Arábica y en menor medida el de la especie Robusta, debido a que va dirigido exclusivamente al sector del café soluble, mientras que la variedad Arábica es mayormente consumida debido a su suave sabor (SAGARPA, 2019).

En México la producción cafetalera se compone en 97.0% de café de la especie Arábica (*Coffea arábica*) cuyas principales variedades son Typica, Bourbon, Maragogipe, Caturra, Mundo Novo, Garnica, Catauai y Catimor (Benitez, 2014).

En cuanto a la especie robusta (*Coffea canephora*), su participación en la producción nacional es poco significativa, ya que le corresponde tan sólo 3.0% de la superficie. Su cultivo se ubica principalmente en ciertas zonas bajas de los estados de Chiapas, y Veracruz, y su importancia estriba en el uso que hace de ella la industria productora de café soluble (INFOASERCA, 2016).

Con base en el registro del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP, durante 2018 en México se produce alrededor de 860,970 toneladas del cultivo de café Cereza al año. Esto a su vez, las cosechas y la producción se concentran principalmente en cuatro entidades federativas del país, de las cuales; Chiapas produce alrededor de 333,149 toneladas al año, siendo el estado de mayor producción de café en México, Veracruz alcanza una producción total de 209,536 toneladas por año, Puebla alrededor de 141,344 toneladas al año y Oaxaca se posiciona en el cuarto lugar con una producción total de 68,752

toneladas al año, dichos estados producen cerca del 85% del total nacional en cosecha de café verde. El 15% restante de la producción total de café nacional, lo dan los estados de: Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, México, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Tabasco.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Problemática ambiental en la industria del café

Existe una problemática ambiental ante los residuos y subproductos que genera el café, los cuales son inevitables en este tipo de industrias. Como se mencionó anteriormente, el café es la segunda mercancía más comercializada en el mundo, por lo tanto, se genera una cantidad considerable de residuos y subproductos de este, desde el procesamiento de la cereza hasta la obtención de la bebida, los cuales constituyen una fuente grave de contaminación y problemas ambientales (López, 2014).

Los procesos de biodegradación de los residuos de café requieren tiempos largos, ya que se considera la gran demanda de oxígeno que se requiere para degradarlo. Al liberar directamente los residuos de café, representan un alto riesgo para la flora y fauna presentes en el ecosistema. El tostado y la elaboración de la bebida generan varios residuos sólidos como lo son la cáscara, la pulpa, piel plateada y el café utilizado. Los tres primeros comprenden casi el 45% de la cereza del café, los cuales son los principales subproductos de la industria. En México, la mayoría del café que se produce dentro del país es transformado por la vía húmeda que, a diferencia de la vía seca, el proceso húmedo permite la recuperación de los residuos. Pero de todos los residuos antes mencionados, la pulpa del café es el que genera la mayor cantidad, siendo el principal residuo generado y a su vez el que origina el mayor problema de contaminación ambiental de esta industria. La degradación de este material va desde semanas hasta meses para su degradación parcial por medio de agentes microbianos nativos (AMECAFÉ-SIAP, 2016).

En México ninguna industria controla los residuos generados por la producción de café, por lo tanto, hasta hoy en día sigue siendo un problema de contaminación en el país. Asimismo, es considerable la contaminación ambiental que causa el proceso industrial de café, siendo la pulpa el mayor contaminante, pero durante esta investigación, la pulpa del café no será un objeto de estudio. Aunque se considerara un estudio de estos contaminantes en un futuro con el mismo propósito (INFOASERCA, 2016).

Se ha encontrado algunas soluciones biotecnológicas que tienen beneficios ecológicos ante la problemática ambiental que ocasiona la industria del café con el uso de sus desechos. Entre las más importantes y destacables están, la creación de biocombustibles, fertilizantes orgánicos, composta, fermentación láctica para liberación de compuestos fenólicos, alimento para animales, producción de papel y creación de sustratos para la producción de hongos (Mata et al., 2020).

SAGARPA (2018) declaró que el 99.0% de las plantaciones del país, se cultivan bajo sombra y si a ello se le agrega, la alta proporción de cafetales de montaña y sistema tradicional, los beneficios de los cafetales en cuanto a captura de carbono y agua, conservación de suelos y de la biodiversidad, son muy significativos la cantidad de toneladas producidas que no se desperdicia en su totalidad. Asimismo, el mucílago desprendido del grano de café es utilizado de manera ecológica, ya que gracias al proceso de lavado de los granos de café en algunas partes de México (Tepic, Colima) se les ofrece a los cerdos y vacas principalmente como fuente de azúcares, puede ser enviado a procesos de tratado de aguas o a biodigestores, evitando así su desperdicio (Café cambio y ambiente, 2015).

2.2 Bioplásticos

Los bioplásticos son considerados como aquellos plásticos que son biodegradables y derivan de recursos renovables, como el almidón o la celulosa presente en las plantas. Un material biodegradable es considerado así cuando puede ser degradado por microorganismos que generan moléculas más sencillas y asimilables para el ambiente. Existen muchos tipos de plásticos sintéticos comunes, como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, etc., pero estos plásticos no son considerados biodegradables, ya que los microorganismos no tienen las enzimas necesarias para romper las uniones químicas de las moléculas

que forman parte de este tipo de plásticos. Por lo tanto, deben de tener tres características principales para ser considerados como un bioplástico: biocompatibles, en lo que se refiere a la compatibilidad orgánica, biodegradables en base a su funcionalidad e interacción con los microorganismos y biogénicos, producidos a través materiales renovables (Centro de Desarrollo Tecnológico, 2007).

La celulosa es el polímero principal que compone los tejidos vegetales, y por lo tanto es el polímero más abundante que existe dentro de la naturaleza. El centro de Desarrollo Tecnológico de España (2007) menciona que la celulosa es considerada como un polisacárido complejo con morfología cristalina. Se forma por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico. Es una hexosa que por hidrólisis da glucosa, aunque es más resistente al hidrólisis que el almidón. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, estructura que hace que sea insoluble en ésta y que origina fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales (Centro de Desarrollo Tecnológico, 2007).

Se ha demostrado que los bioplástico con base de celulosa pueden ofrecer propiedades benéficas como: resistencia al agua, resistencias mecánicas como la tensión y el impacto, termosellables, laminables, buena imprimibilidad y cierta rigidez que no les permite ser muy flexibles en comparación a otros plásticos (Llerena y Monzón, 2017; Pulido et al., 2016).

Actualmente, existe una creciente en el mercado de los bioplásticos, que en un futuro podrían llegar a ser competitivos por precio en los costos del procesado, comparado con los plásticos convencionales basados en la petroquímica como PET, PE y PP. Poco a poco la concienciación de los consumidores hacia materiales que sean más amigables con el medio ambiente va en aumento y esto es clave para que los bioplásticos puedan alcanzar una investigación más detallada y así alcanzar un mercado superior a lo actual.

3. MÉTODO

La obtención del bioplástico a partir de los residuos de la percolación del café, obtenido de la cafetería de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, se hizo en diferentes etapas: 1) blanqueamiento de residuos de café, 2) digestión Kraft, 3) blanqueamiento de la celulosa, y 4) bioplástico. Además de un control biológico al bioplástico obtenido.

1. *Curva de la rapidez de secado de los residuos de café.* La velocidad de secado por lote, de los residuos de la percolación del café, se realizó en un horno de convección a una temperatura de 90°C, tomando muestras cada 30 minutos y determinando su porcentaje de humedad (Treybal, 1980). La determinación de la humedad del material fue por el método de análisis de la OAC (1975). Tomando una muestra entre 5 y 10 g, secándola en un horno a 90°C durante 24 horas hasta la obtención de peso constante.
2. *Blanqueamiento de los residuos de café.* Para la extracción de la celulosa se emplearon los residuos de la percolación del café arábica llevándolos a un tamaño de partícula uniforme, lo más reducido posible, hasta quedar en forma de polvo. Y antes de comenzar este proceso, se hicieron pruebas de decoloración con cloroformo e hipoclorito de sodio, adicionando a 10 g del residuo, hasta cubrirlo; dejando macerar durante 30 minutos, 1 día y 1 semana.
3. *Digestión Kraft.* La digestión Kraft se llevó a cabo en un reactor a una presión de 1.5 atm, siguiendo el método de Vega Ramírez (2004) tomando una muestra de 225 g de residuos de café seco (3.5% de humedad y de tamaño de partícula uniforme, previamente decolorada durante un día en cloroformo, adicionando 25 g de sulfuro sódico (Na_2S) y 1 L de hidróxido de sodio (NaOH) 1N. En base a los cálculos realizados fue necesario mantener una relación 6:1 entre el residuo de café, hidróxido de sodio y el sulfuro sódico, y suficiente agua destilada. El reactor fue colocado en una plancha caliente. Y las temperaturas de estudio (Tabla 1) fueron medidas con el termómetro infrarrojo. El rendimiento de la celulosa se calculó en porcentaje, teniendo la relación de la materia prima, residuos de café, y la cantidad de celulosa obtenida después de la digestión, es decir, el peso inicial con respecto al peso final y la relación multiplicada por 100.

4. *Blanqueamiento de la celulosa.* La celulosa obtenida de la digestión Kraft fue sometida a blanqueo, vaciando 100 g de ésta a un vaso de precipitados en donde se adicionaron 250 mL de hipoclorito de sodio, la suficiente para cubrir al material, y diluyéndolo con 175 mL de agua destilada. Esta mezcla se calentó a 40°C en una parrilla con agitación constante, durante 4 horas. Finalmente, para retirar el exceso de líquido se pasó por papel filtro. La celulosa obtenida se sometió a dos procesos más de blanqueamiento. La muestra blanqueada se secó durante 6 horas en el horno de convección a 60°C.
5. *Elaboración el bioplástico.* El bioplástico fue formulado de acuerdo a la literatura revisada, en la Tabla 1 se muestra las formulaciones empleados al 1% y 2%. Las soluciones se vaciaron en vasos de precipitados y se colocaron en una parrilla de calentamiento y de agitación magnética, calentando a 90°C, y a una velocidad de agitación de 150 rpm durante 20 minutos, hasta obtener una masa, que fue el bioplástico. Éste fue colocado en una base de aluminio, dando una forma deseada para su posterior secado n condiciones ambientales durante 24 horas.

Tabla 1. Proporciones para la elaboración del bioplástico.

Insumos	Formulación 1 (%)	Formulación 2 (%)
Celulosa de residuos de café	20	25
Almidón	20	8
Glicerina	15	15
Ácido acético glacial al 5%	5	5
Ácido bórico	5	5
Agua	35	37
Resina	0	5

6. *Control microbiológico.* El control microbiológico del bioplástico, como producto final, se realizó por triplicado, tomando muestras y sembrando en placas de Petri con agar nutritivo, y posterior incubación a 28°C. Cada una de las muestras fueron tomadas al azar.

3.1 Diseño experimental

El diseño experimental fue realizado considerando las variables experimentales como fueron la temperatura y tiempo de cocción del café durante la digestión Kraft, teniendo tres niveles de temperatura. El diseño experimental fue factorial de nivel tres con dos variables, obteniendo un total de nueve experimentaciones, es decir, un análisis tipo 3² (Montgomery, 2006), las cuales se consignan en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de experimentaciones en la digestión Kraft.

Muestra	Tiempo (Horas)	Temperatura (°C)
1	5	150°C
2	5	130°C
3	5	100°C
4	3.5	150°C
5	3.5	130°C
6	3.5	100°C
7	2.5	150°C
8	2.5	130°C
9	2.5	100°C

4. RESULTADOS

4.1 Rapidez de secado

Los residuos de la percolación del café arábica se secaron hasta una humedad entre el 3.5 y 4% (bh). Se hizo una molienda del material. y se redujeron a un tamaño de las partículas lo más pequeñas posible, hasta obtener un polvo, ya que de esta forma facilitó la acción de los agentes digestores y así llegar directamente a las fibras, las cuales se encuentran ligadas unas con otras por la acción de la lignina. Y con posteriores tratamientos obtener al bioplástico. La Figura 1 muestra el proceso de secado del café en un horno de convección.



Figura 1. Residuos de café en proceso de secado

La velocidad de secado del residuo de café empleado para la producción del bioplástico se muestra en la Figura 2. La ecuación obtenida de la rapidez de secado presentó un coeficiente de determinación superior al 99%, la ecuación (1) expresa el ajuste para la velocidad de secado del residuo de café.

$$y = 3 \cdot 10^{-8}x^3 - 1 \cdot 10^{-5}x^2 + 3 \cdot 10^{-4}x + 0.4745 \quad (1)$$

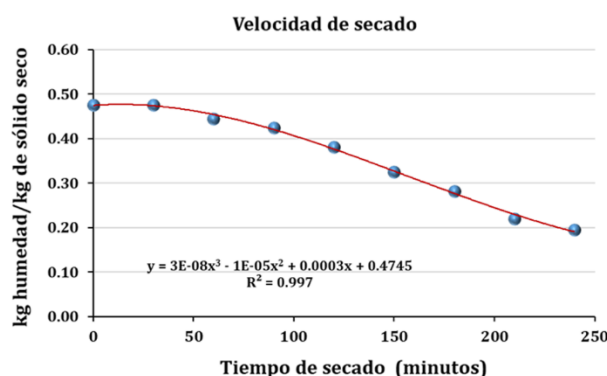


Figura 2. Rapidez de secado del residuo de la percolación de café

Con los residuos secos se tuvo un segundo proceso de homogenización con la ayuda de un tamizador de acero inoxidable de un tamaño de poro pequeño, con lo cual se obtuvo residuos del café en forma de polvo ya listo para pasar a la digestión Kraft.

4.2 Blanqueamiento de los residuos de café

De las pruebas realizadas para la decoloración del residuo de café, previa al comienzo de la digestión Kraft, dejando inmersa en cloroformo e hipoclorito de sodio. Este último compuesto presentó una mayor decoloración del material en un tiempo de 30 minutos, bajo 24 horas de inmersión el material sufría oxidación muy importante, por lo que todo el residuo a emplear recibió este tratamiento.

4.3 Digestión Kraft

Después de realizar los 9 experimentos de la digestión Kraft en el reactor a presión de 1.5 atmósferas, para la obtención de celulosa con las diferentes variaciones de tiempo y temperatura (Tabla 1) se observaron las diferencias en la forma y coloración de la celulosa obtenida, siendo esta similares entre sí. En los 3 experimentos operados a 150°C dieron una apariencia similar, presentando grumos de celulosa uniformes y compactos de coloración clara (Figura 3A). En los experimentos operados a una temperatura de 130°C (Figura 3B), dieron apariencia muy similar entre ambos, presentando grumos poco dispersos y con tonos más oscuros en comparación a la temperatura de 150°C.

Esto mismo sucedió en los 3 experimentos donde el calor aplicado fue de 100°C (Figura 3C), con la diferencia de que los grumos presentados se dieron con mucha dispersión en comparación a las temperaturas más altas como se muestra en la Figura 3A. Se pudo ver una clara diferencia entre el uso de las diferentes temperaturas de los experimentos realizados.

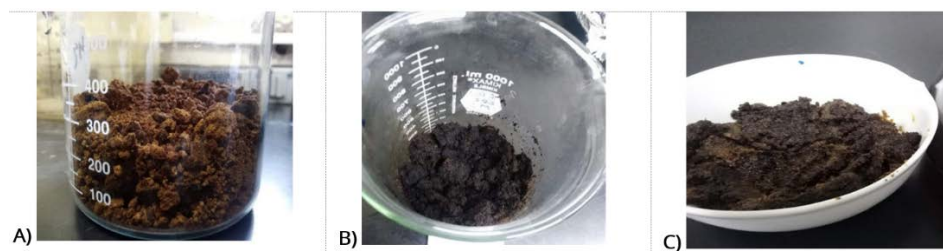


Figura 3. Obtención de grumos de celulosa a partir de la digestión Kraft a diferentes tiempos: A) Temperatura de 150°C durante 5 horas, B) Temperatura de 130°C durante 3.5 horas, y C) Temperatura de 100°C durante 2.5 horas

El rendimiento obtenido de la celulosa con respecto a la materia prima después de la extracción en cada una de las muestras en base al peso inicial con respecto al peso final, ya que en el momento de la extracción, muchos de los componentes de los residuos del café son degradados por los reactantes. El mayor rendimiento fue de aproximadamente un 25%, con las mejores características observables con el tratamiento a 150°C, 1 atmósfera de presión y en un tiempo de 5 horas (Figura 4).

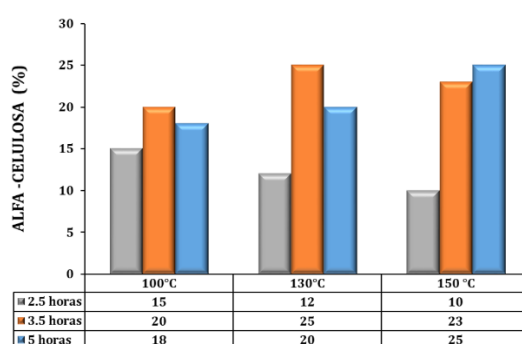


Figura 4. Rendimiento de la alfa-celulosa a diferentes temperaturas y tiempos de reacción

4.4 Blanqueamiento de la celulosa

El blanqueamiento de la celulosa fue la penúltima etapa para la obtención del bioplástico, para este proceso se usó hipoclorito de sodio y no cloroformo, como se tenía contemplado, debido a que se obtuvieron mejores resultados. Para el blanqueamiento, se adicionó a la celulosa obtenida, el hipoclorito de sodio y agua destilada en las proporciones adecuadas, donde se quedó en agitación magnética por 4 horas a una temperatura de 40°C debido a que una temperatura baja ayuda a facilitar la remoción de residuos del café. El lavado de la celulosa se hizo en tres ocasiones hasta obtener un color blanquecino como se muestra en la Figura 5. En la Figura 6 se puede observar la celulosa obtenida después del proceso.

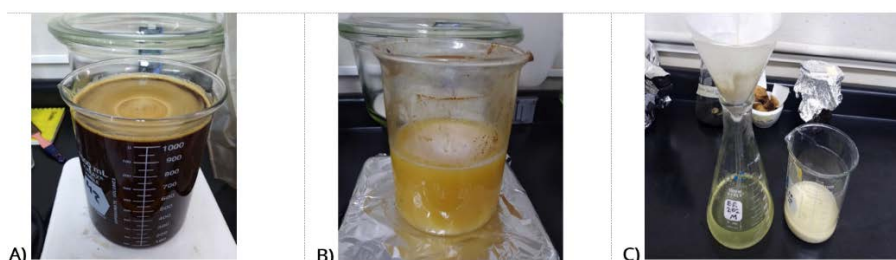


Figura 5. Tratamiento de la celulosa extraída con hipoclorito de sodio y agua destilada: A) Primero, B) Segundo, y C) Tercer blanqueamiento

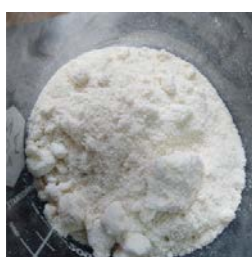


Figura 6. Celulosa producida a partir de residuos de café arábica

4.5 Elaboración el bioplástico

Durante el proceso de la elaboración del bioplástico en los 9 experimentos se pudo observar las diferencias entre cada uno. Teniendo en cuenta que estas diferencias observadas se deben principalmente a las variables de tiempo y temperatura, así como como las dos formulaciones realizadas, dando resultados interesantes, donde se puede determinar que variable y que formulacion es mejor para la creacion de un bioplástico.

La producción del bioplástico se realizó de acuerdo a las dos formulaciones presentadas en la tabla 1 y bajo las condiciones de operación de la Tabla 2. La primera muestra en donde se operó durante 5 horas a 150°C y bajo la formulación 1 y 2, los resultados se muestran en la Figura 7. En la formulación 1 (Figura 7A) se observó una consistencia con poca textura, flexible, sin olor, sin quebraduras. En la formulación 2 (Figura 7B) se observó la formación de un bioplástico con textura muy suave, flexible, olor bajo a resina y moldeable.

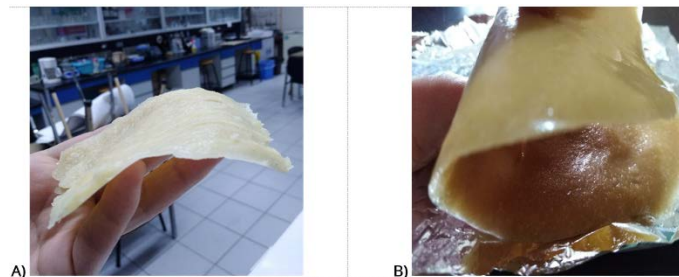


Figura 7. Bioplástico elaborado de la muestra 1 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, y B) Formulacion 2

En la Figura 8 se puede ver el bioplástico obtenido de la muestra 2 de extracción de celulosa, bajo un tiempo de operación de 5 horas a 130°C, en la formulación 1 (Figura 8A) se observó la formación de un bioplástico muy similar a las características cualitativas de la muestra 1. Y en la formulación 2 (Figura 8B) la formación de un bioplástico con características similares a la muestra 1 pero con mas textura.

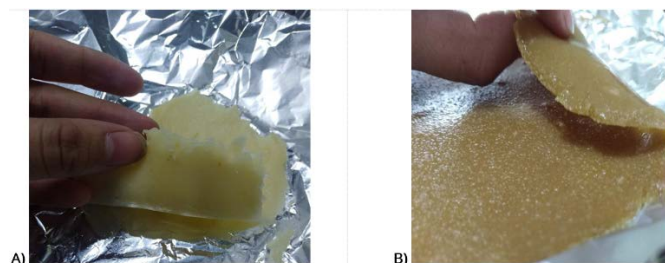


Figura 8. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, y B) Formulacion 2

En la Figura 9 se puede ver el bioplástico obtenido de la muestra 3 de extracción de celulosa, bajo un tiempo de operación de 5 horas a 100°C, en la formulación 1 (Figura 9A) se observó una consistencia con mucha textura, flexible, sin olor, pero propenso a quebraduras. Y en la formulación 2 (Figura 9B) se obtuvo una dureza notable, poco moldeable, poco olor a resina presentando quebraduras en alguna de sus partes.

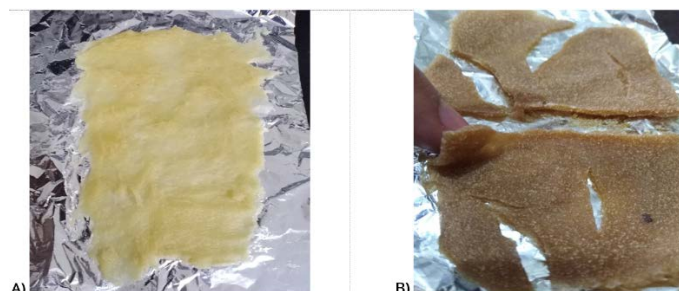


Figura 9. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulacion 2

El bioplástico elaborado de la muestra 4 de extracción de celulosa a 150°C durante 3.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 la formación de un bioplástico con características similares la muestra 1 (Figura

10A). En la formulación 2 se observó la formación de un bioplástico con características similares a la muestra 1 con la diferencia de que presentó menos flexibilidad (Figura 10B).

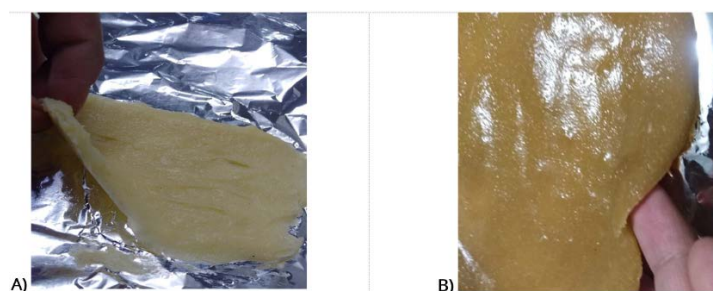


Figura 10. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulación 2

El bioplástico elaborado de la muestra 5 de extracción de celulosa a 130°C durante 3.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 (Figura 11A) la formación de un bioplástico mas delgado con textura, felexible, sin olor ni quebraduras. La formulación 2 presentó un olor fuerte a resina, poca felxibilidad, textura rugosa y con una minima parte de quebraduras (Figura 11B).



Figura 11. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulación 2

El bioplástico elaborado de la muestra 6 de extracción de celulosa a 100°C durante 3.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 (Figura 12A) un bioplástico con textura, poco flexible, sin olor, sin quebraduras pero propenso a tenerlas. En la formulación 2 se observó un bioplástico con textura, poca dureza, olor a resina y difícil de moldear (Figura 12B).



Figura 12. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulación 2

El bioplástico elaborado de la muestra 7 de extracción de celulosa a 150°C durante 2.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 (Figura 13A) en donde se observó una consistencia con dureza , muy poco flexible, sin olor, con una quebradura en la mitad. En la formulación 2 se observó un bioplástico muy moldeable, olor fuerte a resina, dureza deseable, sin quebraduras, pero propenso a tenerlas (Figura 13B).

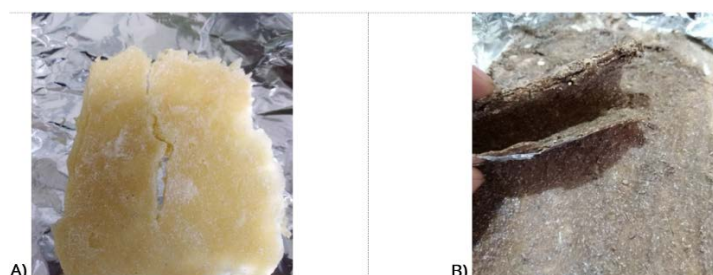


Figura 13. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulación 2

El bioplástico elaborado de la muestra 8 de extracción de celulosa a 130°C durante 2.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 (Figura 14A) en donde se observó una consistencia de textura rugosa, sin flexibilidad, sin olor y con evidentes quebraduras. En Figura 14B se muestra la ormulación 2 donde se observó muy rugoso, sin flexibilidad, olor fuerte a resina y algunas quebraduras.

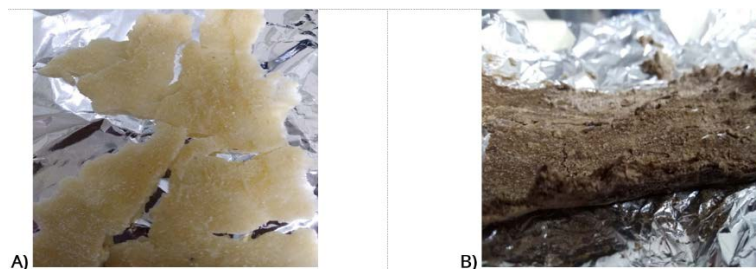


Figura 14. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulacion 2

El bioplástico elaborado de la muestra 9 de extracción de celulosa a 100°C durante 2.5 horas de reacción se obtuvo en la formulación 1 (Figura 15A) en donde se observó una consistencia de textura rugosa, sin flexibilidad, sin olor y con muchas quebraduras. La formulación 2 se observó muy rugoso, sin flexibilidad, olor fuerte a resina y con dureza pero que facilmente se puede romper (Figura 15B).

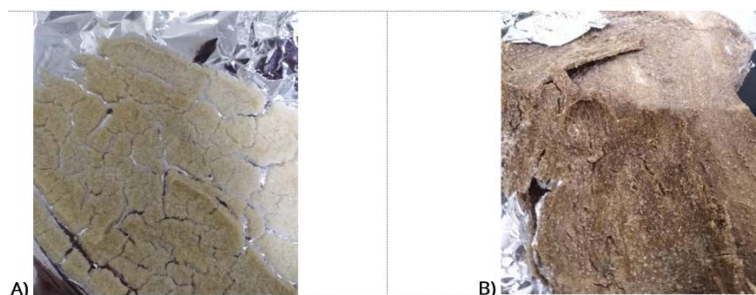


Figura 15. Bioplástico elaborado de la muestra 2 de extracción de celulosa: A) Formulación 1, B) Formulacion 2

4.6 Control microbiológico

Se decidió realizar pruebas microbiológicas de los bioplásticos obtenidos en cajas con agar nutritivo con la finalidad de observar el crecimiento bacteriano, el cual no se presentó en ninguna de las muestras estudiadas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los residuos de la percolación del café de la especie arábica (*Coffea arábica*) obtenidos de la cafetería sur de la Universidad Autónoma de Aguascalientes presentó una humedad residual inicial alrededor del 78% y estuvo conformado en grumos grandes y compactos, al moler el residuo de café permitió obtener un tamaño de partícula pequeño, lo cual fue óptimo para la extracción de la celulosa, ya que su pequeño tamaño facilitó la acción de los solventes en la digestión Kraft y estos pudieron llegar de una forma más directa a las fibras de celulosa, las cuales se encuentran ligadas unas con otras por la acción de la lignina.

La pérdida de humedad en la velocidad de secado mostró que en un tiempo de 250 minutos se pudo obtener hasta un 3.7% de humead bajo condiciones de base húmeda, lo que indica la rapidez de secado del residuo de café, teniendo una cantidad de humedad de 0.20 kg de humedad/kg de residuo de café seco (Figura 2), perdiendo casi el 100% de su contenido inicial, lo cual, y de acuerdo con Treybal (1980), es un resultado adecuado de secado.

Por lo tanto, durante el proceso de secado de los residuos de la percolación de café, se puede determinar que el tiempo aproximado para secar una muestra de 300 g de residuo y alcanzar una humedad residual del 3.8% es alrededor de 4 horas sometida a una temperatura de 90°C, donde la transferencia de masa posee un comportamiento exponencial, como se ve en la Figura 2, en la cual esta descrita en la ecuación (1) para el ajuste.

La decoloración del residuo de café con cloroformo en base al tiempo de exposición a este, previamente a la extracción Kraft, consistió en retirar la mezcla de sustancias orgánicas coloridas que son consideradas impurezas para celulosa que se va a extraer. El cloroformo es un agente oxidante que degrada las moléculas de color, lo que daña el poder de absorción de la luz de estas. Rueda et al. (2015) menciona en su investigación que cualquier sustancia de color blanco, los electrones de sus moléculas ya se encuentran al máximo nivel energético y por ello no absorben más energía y repelen todas las frecuencias de la luz.

Mientras tanto, en cualquier otra sustancia de color, como en el caso de los residuos de la percolación del café, los electrones de sus moléculas tienen una energía particularmente baja y, por tanto, son susceptibles de capturar energía y mostrar el color correspondiente a la frecuencia energética rechazada, por lo tanto, oxidan esos electrones de baja energía decolorando así las sustancias (Rueda et al., 2015). El proceso de decoloración de los residuos de café secos con cloroformo en los tratamientos de inmersión de un día y 1 semana que duró el experimento, fue poco significativo. Por este motivo se decidió probar con el hipoclorito de sodio como método de blanqueamiento para los residuos, las pruebas de 30 minutos y 24 horas dieron mejores resultados de blanqueamiento que el cloroformo debido a que es un agente altamente corrosivo como lo describen Pulido et al. (2016).

Durante la extracción de celulosa por el método de digestión kraft, el hidróxido de sodio 1N actuó directamente sobre la lignina y la celulosa, haciendo las fibras más solubles. Además, fue necesario el uso del sulfuro sódico, para ayudar a subir de nivel de azufre dentro de la digestión para que el NaOH realice la acción de la degradación de las fibras de celulosa (García y Riaño, 1999).

Los grumos de celulosa con diferentes texturas obtenidos fue dependiente de las temperaturas y los tiempos usados en la Tabla 2. Y la determinación del rendimiento en forma de porcentaje de la extracción de alfa celulosa extraída de los residuos de café, la cual varió significativamente, de tal manera que el porcentaje de rendimiento a las 2.5 horas alcanzó su pico máximo en 15%, y al incrementar la temperatura, este porcentaje baja hasta un 10%. Caso contrario ocurre con el porcentaje de rendimiento a las 5 horas, entre más aumentó la temperatura, mayor fue el rendimiento, llegando a un pico máximo de 25% de rendimiento total de la celulosa extraída a los 150°C (Figura 4). Asimismo, se determinó que someter los residuos de café a la digestión Kraft durante la temperatura de 100°C es irrelevante, ya que el porcentaje de rendimiento obtenido al final de los experimentos es demasiado bajo, por lo tanto, no se recomienda esta temperatura para la extracción de celulosa en el uso de un bioplástico.

Mientras tanto, en la representación gráfica de los rendimientos de alfa celulosa con respecto al tiempo, también resultó ser significativos (Figura 4). En el caso de la muestra sometida a una temperatura de 150°C durante el tiempo máximo de 5 horas, obtuvo un rendimiento alto del 25%, la misma eficiencia se obtuvo a las 3.5 horas con los mismos parámetros, siendo estos los rendimientos más altos obtenidos de alfa celulosa durante la extracción Kraft. Mientras que el tiempo transcurrido a las 2.5 horas tuvo los rendimientos más bajos durante la extracción, siendo este tiempo no apto para la extracción de celulosa.

Por otra parte, se puede determinar que la temperatura de 100°C y el tiempo de residencia del residuo dentro del digestor afectó significativamente el porcentaje de extracción de celulosa debido principalmente a que las moléculas de lignina que se encuentran ligadas a las de celulosa no se han desligado de estas áreas y causan que la celulosa se oxide y se degrade más rápidamente. Caso contrario es el de temperaturas que van por encima de los 150°C, donde a medida que transcurre el tiempo, el porcentaje de alfa celulosa aumenta; aun así se tuvo el cuidado de no aumentar más los tiempos y las temperaturas porque la tendencia de la extracción es que a medida que la temperatura y el tiempo aumenta la celulosa se degrada, esto es debido a que la temperatura alta afecta a la celulosa ocasionando que se queme, haciendo casi imposible un correcto análisis cuantitativo de las muestras analizadas (García y Riaño, 1999).

Durante el blanqueamiento, de las celulosas obtenidas, con el hipoclorito de sodio permitió remover la lignina que no se pudo retirar mediante el proceso de la digestión Kraft (Figura 5). Esta se considera un residuo que ocasiona que la celulosa se oxide y quede un tono amarillento. En la Figura 6 se muestra la extracción final de celulosa con un tercer blanqueamiento, quedando como resultado una celulosa completamente blanca y limpia de residuos que afecten durante la elaboración del bioplástico.

De acuerdo con las formulaciones descritas en la parte metodológica (Tabla 1), de acuerdo con Ortega Cahui (2019) se determinaron dos formulaciones para elaborar el bioplástico. La diferencia entre la formulación 1 y 2 varía en los porcentajes de resina y almidón añadido, dejando los porcentajes de los demás insumos muy similares entre sí, lo cual no provoca un resultado significativo entre esas variables. Se pretendió observar cualitativamente la textura, flexibilidad, soporte, olor, dureza y la formación de los diferentes bioplásticos obtenidos. Los bioplásticos obtenidos con la formulación 1 presentaron una mejor maleabilidad y flexibilidad que los de la formulación 2, esto se debió al uso de resina y al tiempo empleado para la extracción de celulosa.

Al mismo tiempo, los bioplásticos fabricados con esta formulación presentaron un olor característico, una mayor dureza y textura, así como la coloración café debido a la resina utilizada. Mientras tanto, los bioplásticos de la formulación 1 se puede determinar que presentaron una mejor coloración, textura, y flexibilidad. Las fisuras y quebraduras presentadas en todos los bioplásticos se debió principalmente a la relación que existe entre la temperatura y el tiempo de duración en el digestor Kraft, por lo tanto, se puede decir que la mejor relación entre estas 2 variables para encontrar un bioplástico deseable, se encuentra en temperaturas superiores a los 150°C y una duración de 5 horas. El uso de resina entre las variables deseadas no presentó un resultado significativo, ya que en la muestra 1, tanto la formulación 1 y 2 presentaron consistencias similares. Asimismo, se puede decir que, a temperaturas menores de 130°C, junto con tiempos de cocción en el digestor menores de 3.5 horas, la celulosa para elaborar un bioplástico se vuelve más frágil, se rompe fácilmente y su textura no es uniforme.

La utilización de los insumos para las 2 formulaciones propuestas se debe principalmente que para la elaboración un bioplástico a nivel laboratorio se necesita en mayores proporciones los polímeros a utilizar, en este caso el principal polímero utilizado fue la celulosa extraída de los residuos de café, el cual contiene una gran cantidad de celulosa, aproximadamente entre 57%-70% (García y Riaño, 1999). Su utilización en los bioplásticos se debe a que la celulosa está compuesta por cadenas moleculares complejas, es muy utilizada en la industria para hacer algunos de los primeros polímeros que se conocen hoy en día. Se encuentra dentro de la biomasa del vegetal, junto con la hemicelulosa y lignina y es el principal componente de las paredes celulares, lo que la hace un material resistente (Wong et al., 2013).

Asimismo, la adición de una parte de almidón de maíz, se debió principalmente a que es uno de los polímeros más utilizados a nivel mundial como materia prima, lo que lo hace un material resistente. También se aprovechan sus estructuras químicas naturales, las cuales hacen que los microorganismos adecuados puedan degradar dicho material. Este punto es importante debió a que en el uso de bioplásticos existen normatividades, en donde estos productos deben satisfacer las normas internacionales de biodegradabilidad como lo son: DINV 54900, ISO 14855, EN 13432, si los bioplásticos cumplen con estas normas pueden entrar en el mercado donde se evalúa la toxicidad del material descompuesto si se abandona en el medio ambiente (CEN, 2020). En el uso y manejo del plastificante, la glicerina fue usada por la formación de su composición química. Compuesta de tres carbonos, ocho hidrógenos y tres oxígenos, con enlaces simples, lo que permite que sea usada como un lubricante debido a su consistencia líquida y su capacidad de atraer el agua del entorno, también es inodora, de sabor dulce y con un alto coeficiente de viscosidad (Llerena y Monzón, 2017).

Los dos tipos de ácidos usados (Ácido acético glacial 5% y ácido bórico) funcionaron como conservadores para evitar la aparición de bacterias en el plástico. La acción conservadora se consigue por la acidez que induce. Este hecho impide que muchos microorganismos puedan crecer en condiciones óptimas, pero no los mata (García, 2015). Pero en el caso del ácido bórico (ácido inorgánico), su función es proporcionarle dureza y consistencia al bioplástico (García, 2015). Tanto el ácido acético glacial al 5% como el ácido bórico mejora la resistencia al esfuerzo cortante. Asimismo, a utilización de resina en la elaboración del bioplástico tuvo como objetivo proporcionar dureza en su composición. La función del agua destilada fue como diluyente de la mezcla, capaz de integrar de una manera más fácil la masa del bioplástico en proceso para su posterior obtención.

En cuanto al control microbiológico se realizaron 3 cultivos en agar nutritivo, colocando aleatoriamente una muestra de los diferentes bioplásticos elaborados. No se encontró crecimiento de microorganismos, esto

se debe a la presencia de polifenoles en los residuos del café, los cuales son reconocidos por su actividad antimicrobiana. También el ácido acético glacial al 5% como el ácido bórico cumplieron una función conservadora que impide el crecimiento de microorganismos (García, 2015). La combinación observada de celulosa con almidón para la fabricación de un bioplástico, resultan quebradizos y no servirían para fabricar películas flexibles y resistentes. de un manejo industrial.

6. CONCLUSIONES

La extracción de celulosa es primordial para la elaboración del bioplástico. Al realizar la primera extracción de celulosa y realizar las distintas pruebas de limpieza con la ayuda del hipoclorito de sodio, fue posible obtener un bioplástico a partir de los residuos sólidos de la percolación del café.

Los insumos adecuados para la extracción de celulosa son el sulfuro sódico y el hidróxido de sodio, teniendo una relación 6:1 respecto al residuo del café; esto debido que el hidróxido de sodio, si se encuentra en una mayor proporción, causará una acción mayor sobre las fibras causando su desgaste y dificultando el proceso del bioplástico.

Los aditivos principales que se pueden utilizar para elaborar un bioplástico respecto a la literatura encontrada son la utilización de polímero, un plastificante, un disolvente y un ácido en las concentraciones adecuadas.

La celulosa extraída podría emplearse como un bioplástico, presentando un buen control microbiológico por la presencia de polifenoles en los residuos del café, los cuales son reconocidos por su actividad antimicrobiana. Asimismo, los ácidos utilizados cumplieron una función conservadora que impidieron el crecimiento de microorganismos en los bioplásticos obtenidos.

El bioplástico obtenido a partir de los residuos de la percolación del café presentó algunas características similares a los plásticos convencionales, como es su textura y rigidez. Sin embargo, aún falta más estudios para poder llevarlo a un producto comercial.

REFERENCIAS

- AMECAFÉ-SIAP. (2016). Recuperado: https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_An%C3%A1lisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf
- Benítez, E. (2014). *Transmisión de los precios internacionales del café y su relación con los precios que reciben los productores de la Sierra Norte de Puebla*. Colegio de Postgraduados, Puebla.
- Café, Campo y Ambiente. (2015). *Beneficio ecológico de café*. Recuperado: <http://cafecampoambiente.blogspot.mx/2012/08/beneficioecologicodecafe.html>
- Centro de Desarrollo Tecnológico. (2007). *Bioplásticos. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo*. Observatorio Industrial del Sector Químico. España.
- CEN. (2020). Recuperado: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>
- García-Muñoz, A.F. y Riaño-Luna, C. E. (1999). Extracción de celulosa a partir de borra de café. *Cenicafé* 50(3), 205-214.
- García Quiñonez, A.V. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. FEPADE.
- INFOASERCA. (2016). *Café de México: Hacia los mercados de calidad*. Recuperado: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/103/ca103.pdf>
- López Barrera, D. M. (2014). Composición química y nutraceutica del residuo sólido del café (*Coffea arabica* L) utilizado y la actividad de los productos de su fermentación colónica in vitro en un modelo de inflamación. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Llerena Gonzales, J. L. y Monzón Martínez, L. J. (2017). Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (*Oryza sativa*), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (*Manifera indica*). *Trabajo de grado*. Universidad Católica de Santa Marina.
- Mata, G., Gaitán, R. y Salmenes, D. (2020). *El cultivo del shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral*. Instituto de ecología, México.
- Montgomery, C. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa.
- Ortega, M. B. (2019). Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz. *Trabajo de grado*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Pulido, E., Morales, B. Zamudio, M. y Lugo, F. (2016). Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir del tule. *Revista de energía química y física* 3(6), 31-38.

- Rueda, I., Vallejo, Corea, M., Palacios, E. y Chairez, G. (2015). Estudio de la degradación de poliácido-l(+)-lactico-glicólico en cloroformo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14, 813-827.
- SAGARPA. (2019). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado: http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/intension/Intencion_cosechaPerenne_cultivo2018.pdf
- Treybal, R.E. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. McGraw-Hill.
- Vega Ramírez, C. A. (2004). Extracción de fibra corta de alfa-celulosa a partir de la borra del café. Trabajo de grado. Universidad de los Andes.
- Wong, J. E., Guyot, S., Rodríguez, R., Gutiérrez, G., Contreras, J. C., Saucedo, G. y Aguilar, C. N. (2013). Alternativas Actuales para el Manejo Sustentable de los Residuos de la Industria del Café en México. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 5(10), 33-40.

Estudio de la propagación de epidemias en una red de libre escala tipo Barabasi Albert

Alexander Santos Niño¹

Angie Camila Urrego Mendivelso²

Tatiana Milena Hernández Novoa³

Universidad de los Llanos
Colombia

La situación actual de la pandemia ha generado una explosión de trabajos relacionados con la propagación de una infección con las características del COVID-19. Actualmente, en Colombia se ha modelado matemáticamente el contagio a partir de modelos compartimentales donde la población se divide en grupos de acuerdo a su estado de salud, sin embargo, los resultados encontrados fueron descartados debido a que los modelos son deterministas. En este artículo exponemos el método de percolación de vínculos para el análisis de la propagación de una infección y comparamos sus resultados con los modelos compartimentales. Se encuentra que en una red aleatoria con características de libre escala la fracción promedio de nodos infectados disminuye exponencialmente con la probabilidad de eliminación de vínculos. De esta forma, el modelo se muestra como una alternativa para simular escenarios de contacto y reducir el número de individuos infectados al final de la epidemia.

¹ Contacto: asantos@unillanos.edu.co

² Contacto: Angie.urrego@unillanos.edu.co

³ Contacto: Tatiana.hernandez@unillanos.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud OMS, la COVID-19 es una enfermedad infecciosa causada por el Coronavirus que propagó inesperadamente a nivel mundial debido a su largo tiempo de incubación, de 2 a 14 días, y los síntomas, que se pueden confundir con una neumonía simple y en algunas ocasiones causa una enfermedad alveolar masiva (Singhal, 2020; Villegas, 2020; OMS, 2020). Para analizar este tipo de infecciones, se cuentan con modelos epidemiológicos compartimentales, como el modelo SI y el modelo SIR, estos dependen del número de reproducción R_0 que representa el promedio de individuos que contraerán la enfermedad de una persona contagiada (Rock et al., 2014). Estos modelos compartimentales suponen una acción en masa, es decir, la probabilidad de tener contacto con un infectado es la misma para todos los individuos del sistema. Sin embargo, se han construido modelos que se propagan a través de una red de contactos que permite calcular la probabilidad de infección de cada individuo (Pastor y Vespignani, 2001).

Existen diferentes tipos de modelos epidemiológicos que tienen como objetivo describir el proceso de transmisión de una enfermedad (Li, 2018). Habitualmente consideran un sistema cerrado, ya que los procesos de cambio demográfico suelen presentarse en términos de decenas de años y en general responden a preguntas como ¿qué causa la epidemia? ¿Cómo crece el número de infectados en el transcurso del tiempo? y al final de la infección ¿Cuántos individuos fueron infectados? (Diekmann y Heesterbeek, 2000).

Una clase de modelos epidemiológicos son los modelos compartimentales, donde se asigna una letra al estado de salud de cada individuo dividiendo la población en grupos disjuntos (Li, 2018; Diekmann y Heesterbeek, 2000). El modelo más básico considera dos grupos rotulados con las letras S e I (susceptible-infectado) contando con un solo estado de infección (Newman, 2018). Otro modelo, ampliamente conocido, es el desarrollado por Kermack y McKendrick (1927), quien incluye el estado recuperado. Además, se han planteado modelos que describen otros procesos de propagación como el SIS (que supone un individuo recuperado no mantiene la inmunidad ante la enfermedad y puede enfermarse nuevamente), el SIRS (donde la persona que se recupera obtiene una inmunidad temporal y después de algún tiempo vuelve al estado susceptible) y recientemente el SIDARTHE, aplicado específicamente a modelar la propagación del virus COVID-19 en Italia (Giordano et al., 2020).

Para el comportamiento dinámico de la enfermedad, en Colombia se emplearon los modelos compartimentales SIR y SEIR, donde se proponen los estados E y R, que presentan individuos expuestos y recuperados respectivamente. En el primer estudio se determinó la necesidad de una mayor capacidad diagnóstica para establecer la red de contactos y desinfectar zonas pobladas y hogares (Manrique et al., 2020). El segundo estudio aplicó el modelo usando el número básico de reproducción más alto registrado y la letalidad calculada para la ciudad de Cali, sin embargo, se descartaron los resultados del modelo por el hecho de ser deterministas y generar resultados imprecisos (Ortega et al., 2020). A partir de ese momento en Colombia no se registran estudios de modelos compartimentales aplicados al coronavirus.

En este sentido los modelos epidemiológicos en redes son más adecuados, no solo por considerar procesos estocásticos sino porque los compartimentales no describen el comienzo de la propagación, por el hecho de considerar una acción en masa, donde todos los individuos tienen la misma probabilidad de contraer la enfermedad (Nesterov et al., 2020). Las redes reales han sido ampliamente estudiadas y se han encontrado propiedades estructurales que incluyen el mundo-pequeño (Travers y Milgram, 2011) y la distribución de grado de libre escala (Barabási y Bonabeau, 2003).

Actualmente se tiene suficiente información para establecer el modelo compartimental que mejor se ajusta al comportamiento de la enfermedad y se puede establecer la red de contactos de los individuos con aplicaciones como CoronApp en Colombia (Moreno et al., 2002) o ImmuniApp en Italia (Quarteroni et al., 2020). En el presente trabajo se estudia la dependencia de la probabilidad de transmisión en redes con respecto a la fracción de individuos infectados al final de la epidemia. Para esta tarea se exponen los principales modelos compartimentales y se realiza una simulación que identifica los nodos más propensos a infectarse en una red de acoplamiento preferencial tipo Barabasi-Albert. Esta investigación es de tipo

cuantitativo con un enfoque teórico experimental con el que, a través de simulaciones, se calcula el número promedio de contagiados de una epidemia tipo SIR que se propaga en una red aleatoria.

2. MARCO CONCEPTUAL

Usualmente un modelo epidemiológico se desarrolla a partir de tres pasos: 1) modelar el proceso de contactos, 2) modelar la fracción de contactos entre individuos susceptibles e infectados, y 3) especificar la probabilidad de que un individuo infectado propague la enfermedad a un individuo susceptible (Diekmann y Heesterbeek, 2000). Los modelos matemáticos son aplicados cuando se tiene suficiente información de la patogénesis de la infección, estableciéndose diferentes suposiciones, realizando el análisis, interpretando y comparando los resultados con datos disponibles (Li, 2018). Históricamente se han analizado las epidemias por medio de seis herramientas que incluyen modelos compartimentales, transmitidos por vectores, espaciales, de meta-población, en redes y modelos basados en agentes. Los más conocidos son los compartimentales que incluyen un sistema acoplado de ecuaciones diferenciales donde los individuos son caracterizados por su estado en la red, dividiéndose en grupos acorde a su estado de salud donde el número de reproducción R_0 representa el promedio de personas que contrajeron la enfermedad de una persona contagiada (Hethcote, 2000).

Una segunda herramienta estudia los modelos transmitidos por vectores, en donde consideran dos grupos por donde se propaga el virus. Un grupo son los huéspedes quienes tienen o pueden contraer el virus y el otro los mosquitos que son encargados de transmitir la enfermedad entre los primeros (Macdonald, 1952; Ross, 2012). Al igual que en los modelos compartimentales se calcula el número básico de reproducción R_0 que en este caso depende de la fuerza de la infección, la tasa de incubación, la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad de los mosquitos (Rock et al., 2014).

Los modelos espaciales tienen en cuenta la distribución geográfica de la enfermedad, identificando regiones donde los individuos están más expuestos al virus. De este modo, la propagación depende de qué tan cerca estén las personas susceptibles a una región infectada (Lawson, 2013). Cuando dos regiones se conectan y se conocen las razones de migración, las epidemias se estudian a partir de modelos de metapoblaciones, que mezclan elementos compartimentales y espaciales, el primero clasifica los individuos (susceptibles, infectados, recuperados) y el segundo localiza las poblaciones (Rock et al., 2014). Con este tipo de estructuras, un modelo importante estudia la dinámica de transmisión de enfermedades con poblaciones de mosquitos donde la enfermedad se propaga por la migración de personas de una región a otra, es decir, en este modelo los individuos expuestos constituyen un nuevo compartimiento (Adams y Kapan, 2009).

Los modelos basados en agentes imitan las complejas interacciones de los individuos en una sociedad y a partir del conocimiento de un conjunto de características evalúan la probabilidad de infección. A menudo tienen en cuenta la localización, las interacciones, las rutas de transporte y los rasgos de comportamiento (Deangelis y Grimm, 2014). Sin embargo, el estudio de la dinámica poblacional desde esta perspectiva requiere de tecnologías sofisticadas, que no están al alcance de cualquier grupo de investigación (Lanzas y Chen, 2015).

Una herramienta que es sofisticada y no requiere equipos de gran capacidad es el análisis de redes. Los modelos consisten en abstraer un sistema real a un conjunto de nodos y vínculos; los primeros son individuos o grupos de personas que se relacionan o tienen contacto generando un vínculo entre ellos (Lanzas y Chen, 2015). Debido a que es complejo considerar todas las relaciones entre los individuos de una red real, se han creado diferentes algoritmos para imitar su comportamiento entre los que se cuentan las redes aleatorias tipo Erdos-Renyi (Erdős et al., 1960), redes de mundo pequeño tipo Watts-Strogatz o libre escala tipo Barabasi-Albert (Barabási y Albert, 1999). La transmisión de enfermedades vectoriales desde esta perspectiva incluye una red bipartita, donde los nodos están separados en dos grupos con distribuciones de libre escala, un grupo corresponde a individuos que se exponen a la enfermedad debido al contacto con el otro grupo de mosquitos, simulando enfermedades transmitidas por vectores.

La propagación de la epidemia COVID-19 se ha estudiado a partir de modelos compartimentales, en redes y basados en agentes, dado el mecanismo de transmisión de la infección, en el cual no es necesario el

contacto físico sino estar un tiempo considerable suficientemente cerca de una persona infectada (Bell et al., 2021). El uso de redes para el estudio de esta epidemia se ha realizado reconstruyendo la propagación del COVID-19 que tuvo lugar en el crucero Diamond Princess, en donde individuos tuvieron contacto con personas infectadas generando un brote epidemiológico (Liu et al., 2020).

Sin embargo, conocer cómo se propaga el COVID-19 a través de cada contacto es una difícil tarea incluso con las aplicaciones disponibles, generando que entidades de salud pública ordenen cuarentenas para disminuir el número de casos. Este hecho va en contra de lo estudiado en una conferencia realizada con diferentes líderes científicos en Estados Unidos, quienes concluyeron la importancia de buscar soluciones inteligentes que interrumpan de la menor forma los procesos propios de la sociedad (Bell et al., 2021).

Con el propósito de comparar sus resultados, en este trabajo presentamos la metodología de los principales modelos compartimentales y el modelo de percolación de vínculos usado para encontrar la proporción de infectados al final de la enfermedad. En primer lugar, se exponen los modelos compartimentales y luego se analizan los modelos en redes, estableciendo la dependencia de la probabilidad de transmisión en redes con respecto a la fracción de individuos infectados al final de la epidemia.

3. MÉTODO

3.1 Modelos compartimentales

Para modelar la propagación de un virus los modelos compartimentales asignan un estado de salud a las personas que componen el sistema y el contagio se divide en etapas, es decir, un individuo susceptible que aún no haya contraído la enfermedad puede exponerse al contagio si entra en contacto con un portador de la infección y, en el momento que adquiere la enfermedad mientras su sistema inmune cumple con la función de contrarrestar, pueden ocurrir tres cosas: curarse, morir o quedar en estado crónico. Estas fases se pueden expresar con las letras SI si tienen dos estados, SIR si se agrega el estado recuperado o SEIR cuando los individuos expuestos se consideran un compartimiento.

Los modelos compartimentales utilizan una aproximación de acción en masa, es decir, la probabilidad de contagio es la misma para todos los individuos en el sistema mezclados de manera homogénea (Bell et al., 2021). En el modelo más básico existen solo dos estados, el susceptible que se refiere a un individuo que aún no contrae la enfermedad y el infectado que tiene la enfermedad y puede potencialmente transmitirla si entra en contacto con un individuo susceptible, el modelo matemático que describe la propagación se denomina modelo SI. Si la razón a la que aumentan los individuos infectados es proporcional al producto del número de infectados y el número de susceptibles, la ecuación (1) describe la transmisión de la infección.

$$\frac{di}{dt} = \beta i(1 - i) \quad (1)$$

Donde i es la fracción de individuos infectados, β es la constante de proporcionalidad y $(1 - i)$ la fracción de individuos sanos. La solución de esta ecuación es una función logística de la forma indicada en la ecuación (2).

$$i(t) = \frac{i_0 e^{\beta t}}{1 - i_0 + i_0 e^{\beta t}} \quad (2)$$

Donde $i(t)$ es la fracción de individuos infectados en el tiempo t , i_0 la fracción inicial de individuos infectados y β la constante de proporcionalidad conocida como la razón de la transmisión, que indica el número de contactos promedio que se efectúan por unidad de tiempo. La Figura 1 de la ecuación logística muestra la curva que aumenta exponencialmente en tiempos cortos, lo que corresponde a una fase inicial de la enfermedad en que la mayoría de la población es susceptible; luego, se satura a medida que disminuye el número de susceptibles y la enfermedad tiene cada vez más dificultad para encontrar nuevas víctimas. Como se observa en la Figura 1, a medida que disminuye la razón de transmisión el tiempo necesario para contagiar a todo el sistema aumenta.

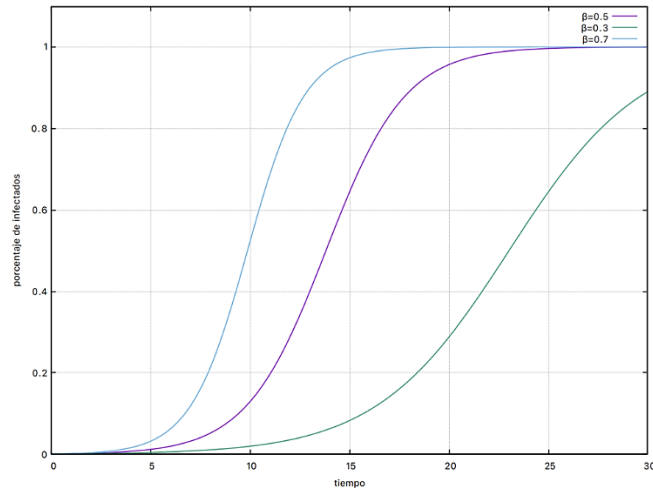


Figura 1. Evolución del número de infectados para el modelo SI cuando la fracción inicial de infectados es el 0.1%

Al contrario del modelo SI donde las personas quedan infectadas permanentemente, el modelo SIR permite considerar individuos que se recuperan de la enfermedad y que gracias a su sistema inmunológico conservan la inmunidad para no volver a adquirirla. En este modelo se genera un nuevo estado de la enfermedad, el cual se simboliza con la letra R de recuperado. Cabe resaltar que este modelo es totalmente mixto, dado que para algunas enfermedades las personas no se recuperan y mueren; en epidemiología estas personas cuentan como recuperadas (Kermack y McKendrick, 1927).

La dinámica de este modelo cuenta con dos etapas, inicialmente las personas susceptibles se infectan al relacionarse con individuos infectados. Estos contactos, al igual que el modelo SI, ocurren a una tasa promedio por persona, sin embargo, en una segunda etapa los infectados se recuperan a una tasa promedio γ (Kermack y McKendrick, 1927). Para describir matemáticamente la transmisión de la infección se plantea un sistema de dos ecuaciones diferenciales acopladas, la primera mostrada en la ecuación (3) es la misma del modelo SI considerando un nuevo estado de susceptible. La segunda ecuación cuenta con dos términos los cuales se presentan en la ecuación (4); el primero relacionado al aumento del número de infectados y el segundo que corresponde a una disminución de los infectados debido a su recuperación.

$$\frac{ds}{dt} = -\beta si \quad (3)$$

$$\frac{di}{dt} = \beta si - \gamma i \quad (4)$$

La fracción de recuperados hace parte del resto de la población y cumplen la condición de $s + i + r = 1$. Para solucionar el sistema de ecuaciones que propone el modelo se requieren métodos numéricos y los resultados se muestran en la Figura 2.

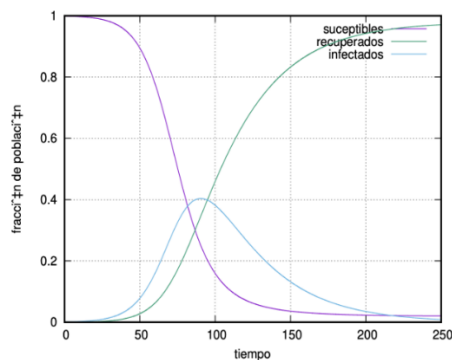


Figura 2. Modelo SIR para una fracción inicial de infectados $i(0) = 0.001$, una razón de transmisión $\beta = 0.12$ y una tasa de recuperación $\gamma = 0.03$

La Figura 2 presenta una disminución sostenida en el tiempo del número de individuos susceptibles contrarrestada con un aumento sostenido del número de recuperados. Los individuos infectados alcanzan

un máximo conocido como pico de la enfermedad. Debido a las restricciones que hay en cada uno de los países las tasas de infección y de recuperación varían en el tiempo presentándose múltiples picos de infección y no solo uno (Kermack y McKendrick, 1927).

En este modelo es posible calcular el tiempo promedio que un individuo permanece infectado. Si γ es la tasa de recuperación, la probabilidad de que un individuo infectado se recupere en un tiempo δt es $\gamma \delta t$ y la probabilidad de permanecer con la enfermedad es el complemento $(1 - \gamma \delta t)$, así la probabilidad de que un individuo siga infectado depende de la probabilidad conjunta, es decir, por cada tiempo δt se multiplica la probabilidad de seguir infectado y se calcula la probabilidad mediante el límite mostrado en la ecuación (5).

$$\lim_{\delta t \rightarrow 0} (1 - \gamma \delta t)^{\tau / \delta t} = e^{-\gamma \tau} \quad (5)$$

Este resultado lleva a establecer límites a la transmisión de la enfermedad, si gamma es suficientemente grande la probabilidad de que un individuo se mantenga infectado tiende a cero y su pronta recuperación hace que la enfermedad no se propague en el sistema (Newman, 2018). Sin embargo, para la COVID-19 esta tasa de recuperación es lo suficientemente pequeña para crear una pandemia.

3.2 Modelos epidemiológicos

Aunque los modelos compartimentales suponen la acción en masa, la mayoría de las personas cuentan con un grupo de conocidos habituales con quienes tienen contacto con regularidad, por lo tanto, el resto de la población puede ser ignorada (Moreno et al., 2002). Los modelos epidemiológicos en redes introducen esta condición y funcionan de manera similar a los modelos totalmente mixtos, pero considerando la red de contactos del individuo (Moreno et al., 2002). En estos modelos la tasa de transmisión para el proceso de infección se define como la probabilidad por unidad de tiempo de que la infección se transmita entre dos individuos, uno susceptible y otro infectado que están conectados por un vínculo en la red apropiada. La tasa de transmisión depende de las propiedades de la enfermedad, dado que, algunas enfermedades se transmiten más fácilmente que otras.

Si aplicamos los modelos en una red, de manera análoga podemos pensar en una tasa de transmisión que se propague por los vínculos que unen a los individuos en la red. De forma similar a lo establecido en el modelo SIR la probabilidad de que no sea transmitida una infección es $\Phi = e^{-\beta \tau}$, y su complemento $(1 - e^{-\beta \tau})$ es la probabilidad de que sea transmitida, donde β es la tasa de transmisión y τ el tiempo en el cual los individuos permanecen infectados (Newman, 2018). De esta forma podemos definir la probabilidad de transmisión como $\Psi = (1 - e^{-\beta \tau})$

Empíricamente se ha encontrado que τ se distribuye alrededor de un valor medio, por ejemplo, el COVID-19 permanece en un huésped de 2 a 14 días y, a diferencia de lo considerado por el modelo SIR, su distribución está lejos de ser exponencial (OMS, 2020). Teniendo en cuenta que cada individuo infectado permanece con la enfermedad en promedio durante el mismo periodo de tiempo, los individuos susceptibles tienen la misma probabilidad de contraer la enfermedad de su vecino infectado, lo que permite construir un modelo epidemiológico que se enfoca en las componentes de la red.

El modelo de percolación de vínculos toma la red de contactos y con una probabilidad Φ elimina posibles caminos por donde la enfermedad es transmitida dejando solo las componentes por donde se propaga. En la Figura 3 se observa el procedimiento para calcular la cantidad de infectados en una red: 1) en color verde se identifican los individuos de la red unidos por vínculos que representan los contactos, 2) luego, se reconoce al individuo infectado en la red (puede ser más de uno), 3) seguidamente se suprime una fracción Φ de los vínculos para finalmente, (iv) infectar los individuos por donde la enfermedad puede propagarse.

Este modelo permite calcular el número de infectados en una red, sin embargo, en la literatura consultada no se ha explorado la relación entre el número de personas infectadas al final de la epidemia y la probabilidad de transmisión. En este artículo estudiamos la probabilidad de transmisión para una red aleatoria de acoplamiento preferencial tipo Barabasi-Albert. Los resultados se muestran a continuación.

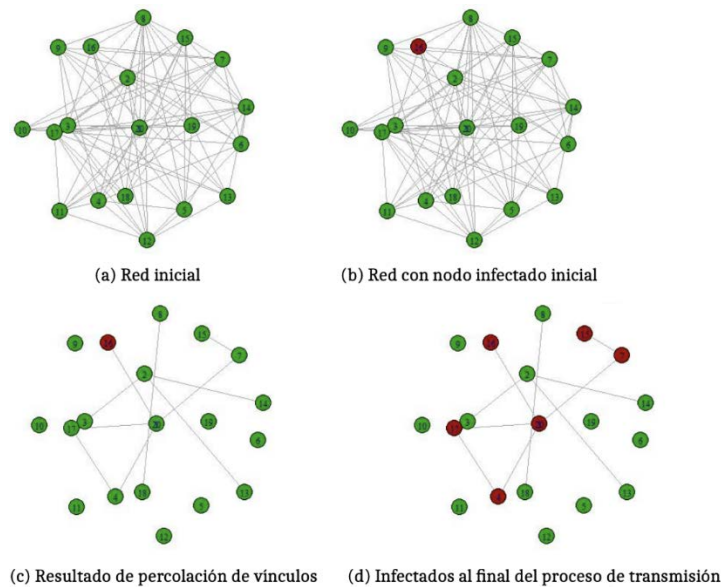


Figura 3. Metodología del modelo de percolación de vínculos, los nodos verdes representan individuos susceptibles y los nodos rojos individuos infectados

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados mostrados en la figura 3 corresponden a una red aleatoria tipo Erdos-Renyi ER, en la que los vínculos entre cualquier par de nodos de la red se establecen con una probabilidad p . En el caso de aplicar el modelo de percolación de vínculos a una red ER, el problema de la propagación de la epidemia se reduce a encontrar la componente a la que pertenece el nodo infectado. Esta situación ya ha sido estudiada para este tipo de redes aleatorias y se conoce muy bien el comportamiento, cuando aumenta la probabilidad de unión entre dos nodos aparece una componente gigante a la que la mayoría de nodos pertenece, de esta forma el estudio de la epidemia en los modelos ER se reduce a establecer si el individuo infectado inicialmente pertenece o no a la componente gigante (Newman, 2018).

Un caso más interesante es el de una red aleatoria de acoplamiento preferencial. En el modelo propuesto por Barabasi BA (Barabási y Bonabeau, 2003) una red crece al añadir nodos que se conectan preferencialmente con nodos que tienen más conexiones, es decir, cuando se agrega un nodo a la red, es más probable que se conecte con nodos de mayor grado a que se conecte con nodos que tienen pocos vínculos. La distribución de grado encontrada sigue una ley de potencias y explica esta estructura observada en las redes reales. La Figura 4 muestra el resultado del modelo de percolación de vínculos para una red aleatoria tipo BA de 10^5 nodos, promediada sobre 10^4 repeticiones. El recuadro muestra una relación exponencial entre la probabilidad de transmisión y la fracción promedio de nodos infectados, este resultado es nuevo en la literatura.

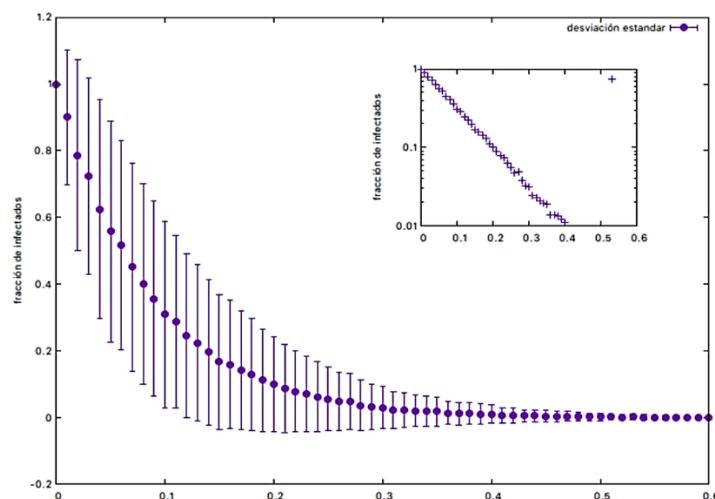


Figura 4. Cálculo de la dependencia de la fracción de infectados respecto a la tasa de transmisión ϕ

Este método brinda una alternativa para estudiar la propagación de una epidemia. De esta forma, las redes aleatorias permiten establecer escenarios de propagación para alterar de forma mínima el desarrollo de la humanidad (Bell et al., 2021), contrario al caso del Diamond Princess (Liu et al., 2020) en donde se estudia la red posterior a la propagación.

5. CONCLUSIONES

En este documento se hace una revisión de dos de los principales modelos de propagación de enfermedades y se comparan sus resultados. Los modelos compartimentales dividen a la población en grupos disjuntos y establecen procesos de propagación.

El modelo más conocido considera tres compartimientos que dependen del estado de salud del individuo: una persona susceptible pasa a un otro estado si ha tenido contacto con un individuo infectado y ha adquirido la enfermedad, luego de un tiempo en el que el sistema inmunológico actúa pasa a estar recuperado clasificándose en un último grupo.

Estos modelos consideran una acción en masa y la probabilidad de contagio es la misma para cada individuo del sistema, contrario a los modelos de redes en los que un individuo solo se relaciona con un grupo de conocidos con los que tiene contacto con regularidad. El modelo de percolación de vínculos permite encontrar el número de personas infectadas al final de la epidemia a partir de la eliminación de vínculos con una probabilidad establecida.

Para una red aleatoria de libre escala, los resultados indican que la fracción promedio de nodos infectados disminuye exponencialmente con la probabilidad de eliminación de vínculos. Este modelo se muestra como una alternativa de estudio de las epidemias para simular escenarios de contacto y transmisión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de los Llanos por el apoyo y financiamiento de esta investigación.

REFERENCIAS

- Adams, B. y Kapan, D. D. (2009). Man bites mosquito: understanding the contribution of human movement to vector-borne disease dynamics. *PloS one* 4(8), 123-134.
- Barabási, A. y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science* 286(5439), 509-512.
- Barabási, A. y Bonabeau, E. (2003). Scale-free networks. *Scientific american* 288(5), 60-69.
- Bell, J., Bianconi, G., Butler, D. et al. (2021). Beyond COVID-19: network science and sustainable exit strategies. *Journal of Physics: Complexity* 2(2), 021001.
- Deangelis, D. L. y Grimm, V. (2014). Individual-based models in ecology after four decades. *F1000prime reports* 6.
- Diekmann, O. y Heesterbeek, J. A. P. (2000). *Mathematical epidemiology of infectious diseases: Model building, analysis and interpretation* Vol. 5. John Wiley y Sons.
- Erdos, P., Renyi, A. et al. (1960). On the evolution of random graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.* 5(1), 17-60.
- Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Di Filippo, A., Di Matteo, A. y Colaneri, M. (2020). Modeling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. *Nature medicine* 26(6), 855-860.
- Hethcote, H. W. (2000). The mathematics of infectious diseases. *SIAM review* 42(4), 599-653.
- Kermack, W. O. y McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Containing papers of a mathematical and physical character* 115(772), 700-721.
- Lanzas, C. y Chen, S. (2015). Complex system modelling for veterinary epidemiology. *Preventive veterinary medicine* 118(2-3), 207-214.
- Lawson, A. B. (2013). *Statistical methods in spatial epidemiology*. John Wiley y Sons.
- Li, M. Y. (2018). *An introduction to mathematical modeling of infectious diseases* Vol. 2. Springer.
- Liu, F., Li, X. y Zhu, G. (2020). Using the contact network model and Metropolis-Hastings sampling to reconstruct the COVID-19 spread on the "Diamond Princess". *Science bulletin* 65(15), 1297-1305.
- Macdonald, R. G. (1952). The analysis of equilibrium in malaria. *Tropical diseases bulletin* 49(9), 813-29.
- Manrique, F., González, V., Gutiérrez, O. et al. (2020). Modelo SIR de la pandemia de Covid-19 en Colombia. *Rev. Salud Pública* 22, 1-9.
- Moreno, Y., Pastor-Satorras, R. y Vespignani, A. (2002). Epidemic outbreaks in complex heterogeneous networks. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems* 26(4), 521-529.

- Nesterov, A. I., Villafuerte, P. H. M. y Berman, G. P. (2020). In Response to COVID-19: Configuration Model of the Epidemic Spreading. *arXiv preprint arXiv:2007.05496* 1-17.
- Newman, M. (2018). *Networks*. Oxford University Press.
- OMS. (2020). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. Recuperado: <https://www.who.int>
- Ortega, D., Arango, D., Muñoz, E., Cuartas, D. E., Caicedo, D., Mena, J., Torres, M. y Méndez, F. (2020). Predicciones de un modelo SEIR para casos de COVID-19 en Cali, Colombia. *Revista de Salud Pública* 22(2), 56-68.
- Pastor, R. y Vespignani, A. (2001). Epidemic spreading in scale-free networks. *Physical review letters* 86(14), 3200.
- Quarteroni, A., Parolini, N. et al. (2020). *Data Analysis and Predictive Mathematical Modeling for COVID-19 Epidemic Studies*. Mathematics Online First Collections. Springer.
- Rock, K., Brand, S., Moir, J. y Keeling, M. J. (2014). Dynamics of infectious diseases. *Reports on Progress in Physics* 77(2), 026602.
- Ross, R. (2012). *The prevention of malaria*. Press.
- Singhal, T. (2020). A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19). *The Indian Journal of Pediatrics* 23, 1-6.
- Travers, J. y Milgram, S. (2011). *An experimental study of the small world problem. The structure and dynamics of networks*. Princeton University Press.
- Villegas, M. (2020). Pandemia de COVID-19: Pelea o huye. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque* 6(1), 78-87.

Comportamiento micromagnético de nanodiscos de Fe en función del espesor

Mauricio Galvis Patiño¹
Johans Restrepo Cárdenas²
Hernán David Salinas³
Universidad de Antioquia
Colombia

En el presente trabajo se presenta los resultados del estudio de las propiedades micromagnéticas y la dinámica de magnetización de nanodiscos de Fe con condiciones de contorno libre en función del espesor, para lo cual se ha utilizado el método de diferencias finitas en el marco de la ubermag. Los bucles de histéresis muestran una relación directa entre el campo coercitivo H_c y la remanencia con respecto al espesor. Además, los diagramas de magnetización indican la presencia de estados magnéticos de tipo vórtice V y dominio único SD con movimiento tanto del núcleo como de las paredes del dominio magnético a través de campos de nucleación H_n y aniquilación H_{an} . Por otro lado, se muestra el comportamiento de las diferentes energías que constituyen el hamiltoniano del sistema, donde se evidencia una competencia entre la energía de intercambio E_{ex} y el dipolo E_d .

¹ Contacto: mauricio.galvisp@udea.edu.co

² Contacto: johans.restrepo@udea.edu.co

³ Contacto: hernan.salinas@udea.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el estudio de las propiedades magnéticas de distintos sistemas a escala nanométrica juega un papel fundamental en diferentes disciplinas, donde se espera que con el desarrollo de nuevas tecnologías se optimicen tiempos y costos en la producción de materiales, como por ejemplo, en el caso de la espintrónica y la magnónica (Monteblanco, 2017). Es por ello, que es importante predecir y validar propiedades magnéticas de los materiales a través de técnicas de simulación para establecer relaciones entre la geometría y las propiedades del sistema físico de estudio, por ejemplo, en los sistemas de nanodiscos magnéticos de Fe, se aprecia que las propiedades magnéticas están determinadas en gran medida por el tamaño, la geometría, la relación de aspecto y los parámetros físicos propios de cada material (Vigo, 2018) en cuanto, a sus configuraciones magnéticas se caracterizan por presentar dos tipos principales asociadas al movimiento de paredes de dominio, en los ciclos de inversión.

La primera es conocida como dominio tipo único DU, caracterizada por tener todos sus momentos magnéticos apuntando en la misma dirección y la segunda, es la de dominio tipo vórtice V (Marques, 2007), que da a lugar a la eliminación de polos magnéticos en la superficie del nanodisco y presenta una distribución circular de momentos magnéticos alrededor de un núcleo, con capacidad de desplazamiento. Esta fase magnética está asociada con un campo de nucleación, formación del vórtice y aniquilación, destrucción del vórtice (Lancho, 2015).

El comportamiento magnético de estos discos puede ser entendido como una consecuencia de la competición entre varias energías presentes tratando de lograr su estado de equilibrio durante el proceso de magnetización (Blanco, 2017).

Las energías que tienen lugar son: a) energía de anisotropía E_K , la cual favorece un eje de fácil magnetización, tratando de alinear los momentos magnéticos en esta dirección; b) energía de intercambio (E_{ex}), es propia de primeros vecinos, sin embargo, se extiende a todo el material estudiado, influye de tal manera que los momentos magnéticos se alinean en el mismo sentido de sus vecinos; c) energía Zeeman (E_z), resulta de la aplicación de un campo magnético externo y trata de lograr que todos los momentos magnéticos apunten en el mismo sentido del campo, y por último, se tiene la energía magnetostática, conocida también como dipolar (E_d), es la responsable de la formación de los dominios magnéticos y logra que cada momento magnético sienta la influencia del resto comportándose como uno solo; así pues, la energía interna de una partícula ferromagnética es el resultado de estas cuatro contribuciones y es un funcional de la magnetización (ecuación (1)), que a su vez es función del espacio.

$$E[m(r)] = E_d + E_{ex} + E_K + E_z \quad (1)$$

Esta clase de discos ha sido el objeto principal de varias investigaciones debido a sus aplicaciones en: biomedicina (Barba, 2011) el almacenamiento de datos (García, 2012), baterías y dispositivos magneto-plasmónicos (Feng, 2017), entre otras.

2. MÉTODO

Hemos considerado un sistema de Fe con condiciones de frontera libre cuya geometría viene dada en forma de nanodiscos con radio constante de $R = 60$ nm y de espesor variable desde 3 hasta 18 nm. Los parámetros físicos de entrada son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físicos de entrada para Fe

Constante de anisotropía	48 kJ/m ³
Tipo de anisotropía	Cúbica
Planos cristalinos	[100]/[001]
Constante de rigidez (A)	21 pJ/m
Constante de amortiguamiento (α)	0.5
Magnetización de saturación (Ms)	1.7 MA/m ³
Celda de discretización	3 nm

Inicialmente la magnetización fue dispuesta de manera aleatoria, luego se aplicó un campo magnético externo en un rango de ± 200 mT (paso de 5 mT) en la dirección x, donde se halla uno de los ejes de fácil magnetización; el tiempo empleado para cada iteración fue de 0.5 ns, lo que garantiza un cambio suave de la magnetización.

Las simulaciones se llevaron a cabo a través del programa Ubermag que utiliza algunos paquetes de simulación micromagnéticos existentes, como OOMMF y mumax3. Además, se empleó el método de diferencias finitas donde la muestra es discretizada en pequeñas celdas unitarias idénticas en forma de paralelepípedo, cuyo tamaño de arista se fijó en 3.0 nm, garantizando de esta forma, que entre una configuración magnética y la siguiente halla una desviación mínima del ángulo de los vectores que representan el promedio de los momentos magnéticos contenidos en cada una de las celdas de discretización; por lo tanto, el valor elegido de la celda debe ser siempre menor que la longitud de intercambio, dada por la ecuación (2).

$$l_{ex} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}} \quad (2)$$

Donde, $A = 2.1 \times 10^{-11}$ J/m se conoce como constante de rigidez de intercambio, $M_s = 1.7 \times 10^6$ A/m es la magnetización de saturación y μ_0 la permeabilidad del espacio libre (Rivas, 2015). Por otro lado, a través del código abierto Object Oriented MicroMagnetic Framework OOMMF, software desarrollado por el National Institute of Standards and Technology NIST, Donahue y Porter (1999), y por medio de la ecuación (3) se soluciona la dinámica de la magnetización dependiente del tiempo, conocida como ecuación diferencial de Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG).

$$\frac{dm}{dt} = \gamma_0 (m \times H_{eff}) + \alpha \left(m \times \frac{dm}{dt} \right) \quad (3)$$

Donde el primer término de esta ecuación representa la precesión del vector magnetización M alrededor del campo efectivo (H_{eff}); a su vez, el segundo término describe la disipación de este, hasta alcanzar el equilibrio en un estado de mínima energía, además, $\gamma_0 = \mu_0 \gamma = 2.211 \times 10^5$ mA⁻¹s⁻¹ es la razón giromagnética y α es la constante de amortiguamiento de Gilbert, la cual no afecta las propiedades de equilibrio de los sistemas magnéticos, razón por la que se eligió un valor relativamente alto ($\alpha = 1$), con el fin de reducir el tiempo de computo hasta que el sistema alcance el equilibrio, si por el contrario se deben realizar estudios dinámicos donde los campos varíen en el tiempo, como en el caso de las resonancias ferromagnéticas, entonces se sugiere un valor más pequeño ($\alpha = 0.5$) (Torrejón, 2010). La ecuación (4) permite obtener el campo efectivo.

$$H_{eff} = - \frac{1}{\mu_0 M_s} \frac{\delta w(m)}{\delta m} \quad (4)$$

Siendo $w(m)$ el funcional de densidad de energía del sistema que está determinado por la ecuación (5).

$$w(m) = w_1 + w_2 + w_3 + \dots = \sum_{i=1} w_i(m) \quad (5)$$

Al integrar sobre el volumen total de la muestra se obtiene la ecuación (6).

$$E[m] = \int_{V_0}^V w(m) dv \quad (6)$$

Por último, el Hamiltoniano del sistema viene dado por la ecuación (7).

$$H = -Am \cdot \nabla^2 - K [(m \cdot u_1)^2 (m \cdot u_2)^2 + (m \cdot u_1)^2 (m \cdot u_3)^2 + (m \cdot u_2)^2 (m \cdot u_3)^2] - \frac{1}{2} u_0 M_s m \cdot H_d - u_0 M_s m \cdot H \quad (7)$$

Donde u es la anisotropía uniaxial a lo largo del eje x en dirección $[1, 0, 0]$, $m = M/M_s$ es la magnetización normalizada, H_d es el campo desmagnetizante debido a la interacción magnetostática, y H es el campo magnético externo aplicado a lo largo del eje de fácil magnetización $[1, 0, 0]$.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 1 se muestran los ciclos de histéresis obtenidos mediante Ubermag para un nanodisco de Fe con $R = 60$ nm y cuyo espesor fue variado cada 3 nm, desde 3 hasta 18 nm en presencia de un campo magnético externo aplicado de ± 250 mT. Se puede observar, que para los primeros 2 gráficos (1a -1b) con espesores de 3 y 6 nm respectivamente, la forma cuadrada del ciclo de histéresis es característica de un material ferromagnético (Balke, 2013), lo que sugiere estados de magnetización de tipo (DU) con rotación coherente y como se aprecia en la Figura 2 el campo coercitivo presenta un cambio mínimo cercano a los 4 mT; de igual manera, a partir de los 9 nm se manifiesta un cambio en la forma del ciclo comenzando a presentar una especie de hombros que se relacionan directamente con la formación y el movimiento de las paredes de dominio magnético, lo que provoca una transición en el modo de inversión de la imanación, pasando de un estado tipo DU a V (Cowburn, 1999).

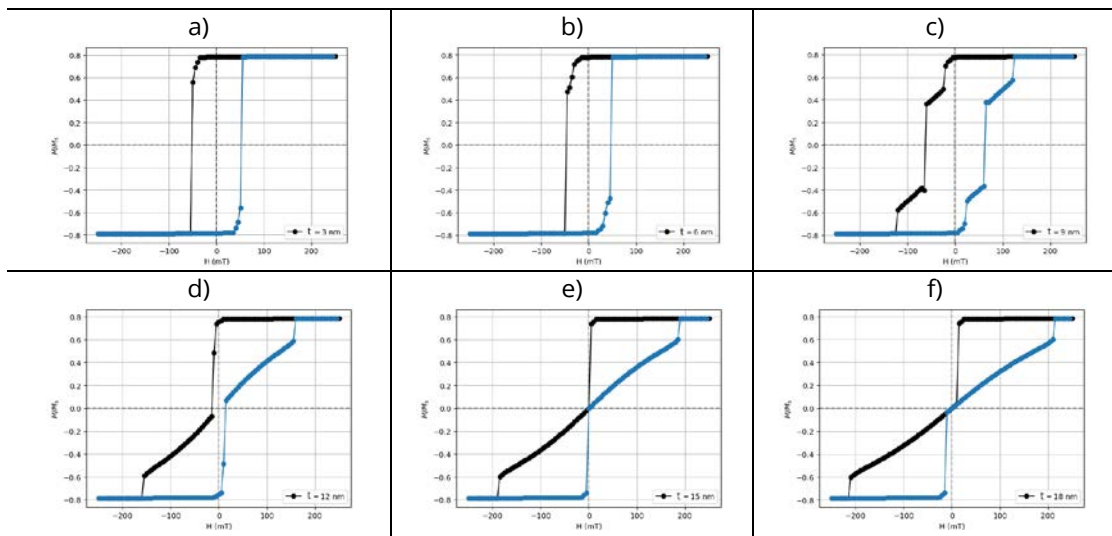


Figura 1. Ciclos de histéresis obtenidos mediante Ubermag de nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm para espesores de: a) 3 nm, b) 6 nm, c) 9 nm, d) 12 nm, e) 15 nm y f) 18 nm. La rama del campo decreciente está representada por los círculos negros, de igual forma la rama del campo creciente por los círculos azules

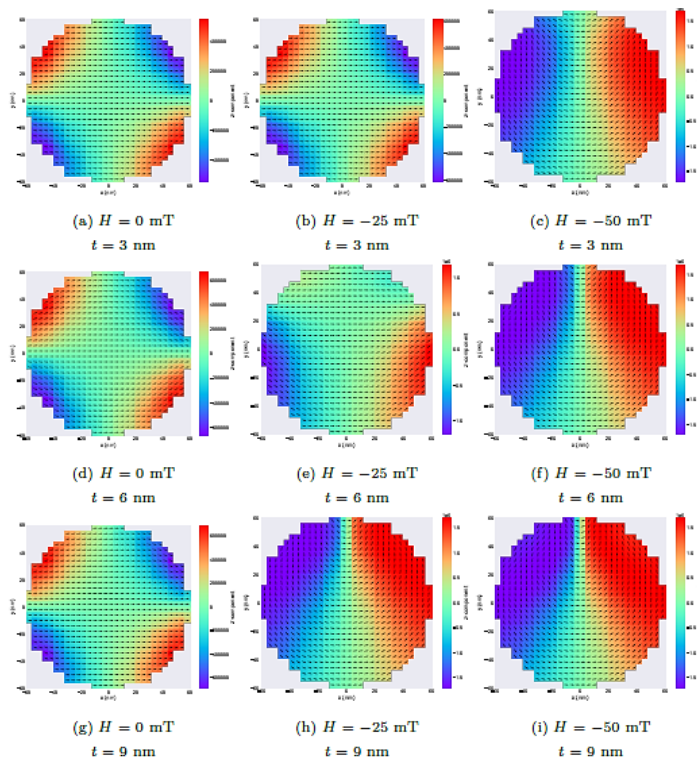


Figura 2. Diagramas de magnetización obtenidos mediante Ubermag de nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm para espesores de 3 nm: a) $H = 0$ mT, b) $H = -25$ mT y c) $H = -50$ mT. 6 nm: d) $H = 0$ mT, e) $H = -25$ mT y f) $H = -50$ mT y 9 nm: g) $H = 0$ mT, h) $H = -25$ mT y i) $H = -50$ mT

Asimismo, a partir de los 12 nm se empieza a presentar un estrangulamiento en la curva de histéresis, de modo que al aumentar el espesor el campo coercitivo disminuye hasta su valor mínimo, alrededor de los 15 nm. Por otro lado, se observa que la remanencia (M_r) tiene un valor similar al de la magnetización de saturación (M_s) para espesores de 3, 6 y 9 nm, también, se muestra una pequeña caída para los 12 nm, y al igual que el H_c desaparece por completo a partir de 15 nm. En general, el H_c y la M_r disminuyen con el aumento del espesor.

En las configuraciones magnéticas de tipo vórtice como las mostradas en la Figura 3 (g, i), se presencia un desplazamiento vertical y hacia abajo, tanto del núcleo en el plano (x, y), como de los momentos magnéticos que lo circundan, los cuales presentan también una componente (z). Para aquellos momentos que se encuentran en el lado izquierdo del centro del vórtice, la componente apunta hacia adentro del plano, por el contrario, para los que se encuentran en el lado derecho, apunta hacia afuera. Este desplazamiento que se da como consecuencia de la competición entre la E_d y la E_{ex} viene acompañado del movimiento de paredes de dominio, lo que favorece el crecimiento de los dominios magnéticos que se encuentran en la misma dirección que el campo aplicado, dejándolos en su gran mayoría sobre el plano (x, y). Este proceso de magnetización de tipo (V), empieza cuando el campo aplicado disminuye desde un estado de mínima energía (M_s) hasta el siguiente ($-M_s$), lo que provoca la inversión de la magnetización y da lugar al H_n , y finaliza con el comienzo del H_{an} , previo a la saturación, pasando a un estado (DU) (Segura, 2006).

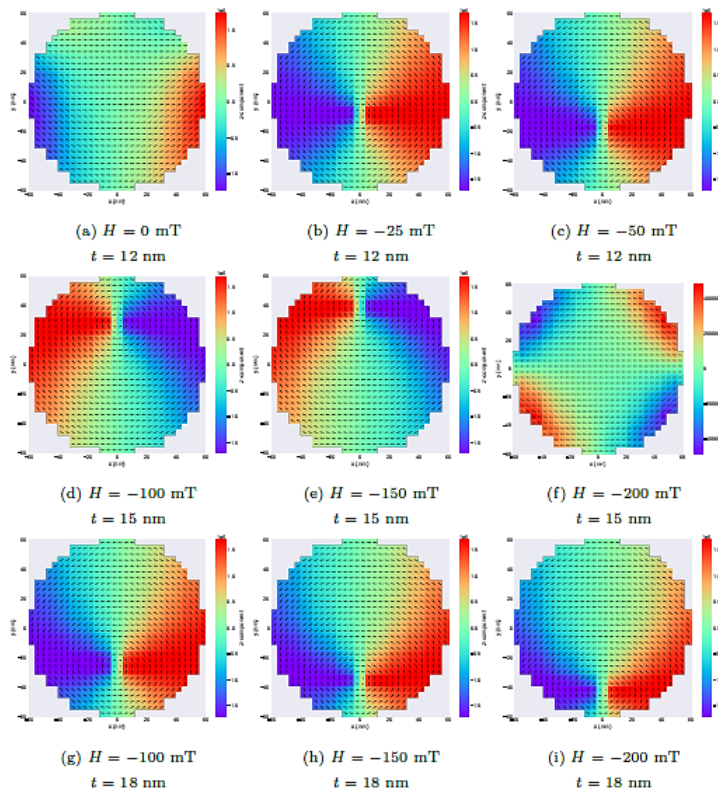


Figura 3. Diagramas de magnetización obtenidos mediante Ubermag de nanocilindros de Fe con $R = 60$ nm para espesores de 12 nm: a) $H = 0$ mT, b) $H = -25$ mT y c) $H = -50$ mT. 15 nm: d) $H = -100$ mT, e) $H = -150$ mT y f) $H = -200$ mT y 18 nm: g) $H = -100$ mT, h) $H = -150$ mT y i) $H = -200$ mT

De igual manera en la Figura 4 se muestra el comportamiento del campo coercitivo H_c en función del espesor (Obrador et al., 2008), donde se aprecian dos estados magnéticos bien definidos, el primero es un estado (DU) para espesores inferiores a 9 nm caracterizado por polos magnéticos en la superficie del nanodisco y sin componentes fuera del plano y el segundo es un estado tipo (V) para espesores mayores, donde se evidencia un núcleo con momentos magnéticos que lo circundan y tienen la propiedad de desplazarse por el plano, presentando también, componentes de la magnetización fuera del plano; además se observa un pico para un espesor de 9 nm, en donde se alcanza el máximo valor del H_c (~ 61 mT) y se separan los dos estados; a partir de este valor, el H_c disminuye hasta desaparecer por completo a los 15 nm.

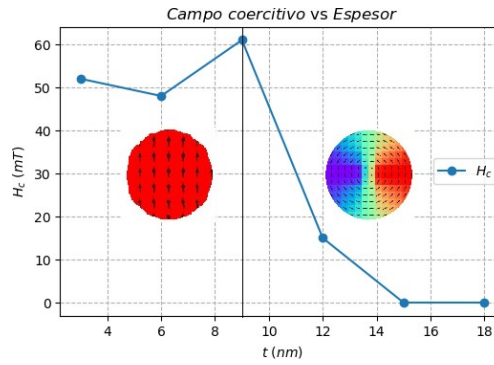


Figura 4. Campo coercitivo en función de la altura de nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm para espesores desde 3 hasta 18 nm, variando cada 3 nm

En la Figura 5 se aprecia que la configuración de tipo (V) aparece cuando el H_c toma su mayor valor, lo que da lugar a la generación de campos de H_n y H_{an} , los cuales presentan un comportamiento directamente proporcional respecto a la altura. Además, esta es una configuración deseada, ya que elimina los polos magnéticos de la superficie del disco (Gélvez, 2019), sin embargo, para que sea energéticamente favorable se debe garantizar que los nanodiscos tengan el suficiente espesor para lograr que el coste de energía sea menor al de tener todos los dominios magnéticos orientados en un estado de tipo (DU).

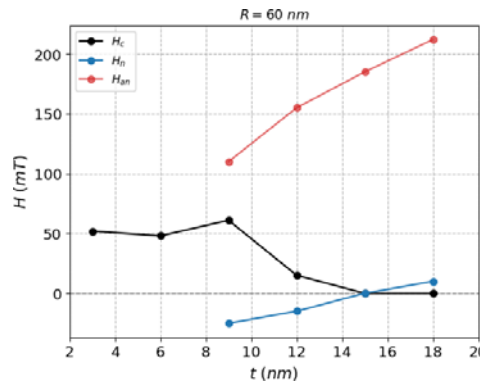


Figura 5. Campo de nucleación H_n , aniquilación H_{an} y coercitivo H_c , en función del espesor de nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm para espesores desde 3 hasta 18 nm, variando cada 3 nm

Haciendo un recorrido por la rama izquierda de las energías que intervienen en el proceso de magnetización para $t = 3, 6$ y 9 nm de la Figura 6, se tiene:

1. En cuanto a la energía de anisotropía (6a - 6c) obtiene su menor valor cuando el campo aplicado tiene un valor de 250 mT, correspondiente a la M_s , aquí en este punto, tanto el campo aplicado como el eje de fácil magnetización poseen la misma dirección, no obstante, al disminuir el valor del campo aplicado, se observa un comportamiento sin cambios significativos hasta cerca de los -25 mT para espesores de 3 y 6 nm y de 0 mT para 9 nm, después de estos valores se tiene un comportamiento lineal hasta alcanzar un valor máximo en $\sim 7,00 \times 10^{-19}$, $\sim 1.70 \times 10^{-18}$, y $\sim 2.80 \times 10^{-17}$ J respectivamente; en este punto empieza el proceso de inversión de la magnetización acompañada del movimiento de las paredes de dominio hasta obtener de nuevo un estado de mínima energía ($-M_s$), donde todos los dominios magnéticos se encuentran sobre el eje de fácil magnetización.
2. La energía dipolar (6d - 6f) muestra su máximo valor en 250 mT cuando todos los momentos magnéticos apuntan en la misma dirección (M_s), y disminuye junto con el H hasta obtener valores cercanos a -25 mT para espesores tanto de 3 como de 6 nm y de 0 mT para 9 nm. A partir de este punto empieza la inversión de la magnetización hasta alcanzar un estado de mínima energía alrededor de los -50 mT para los 3 y 6 nm y -70 mT para los 9 nm de espesor. Después la energía sufre un aumento de manera lineal hasta llegar a la $-M_s$, donde nuevamente alcanza su mayor valor.
3. La energía de intercambio (6g - 6i) presenta su menor valor cuando el campo aplicado tiene un valor de 250 mT, correspondiente a la M_s , aquí en este estado todos los momentos magnéticos se encuentran

alineados tanto con sus primeros vecinos como con el campo aplicado. Asimismo, al disminuir el valor del campo aplicado se observa un comportamiento sin cambios significativos hasta cerca de los -25 mT para espesores de 3 y 6 nm y de 0 mT para 9 nm, después de estos valores se tiene un comportamiento lineal hasta alcanzar un valor máximo en $\sim 4.80 \times 10^{-19}$, $\sim 1.65 \times 10^{-18}$, y $\sim 4.60 \times 10^{-18}$ J respectivamente; en este punto, empieza el proceso de inversión de la magnetización acompañada del movimiento de las paredes de dominio hasta obtener de nuevo un estado de mínima energía ($-M_s$).

4. En (6j – 6i) se aprecia que, cuando el campo aplicado es igual a 250 mT, la E_z tiene un valor mínimo, dado que este estado corresponde a la magnetización de saturación (positiva), donde todos los momentos magnéticos apuntan en la misma dirección que el campo. Siguiendo la trayectoria de ida (círculos negros) se aprecia que, con una disminución del campo aplicado, la energía Zeeman aumenta hasta obtener su máximo valor para un H cercano a los -25 mT, este aumento está relacionado con el cambio de ángulo ($\neq 0$) entre los momentos magnéticos y el campo aplicado; después de obtenido este valor máximo se observa una disminución constante de la E_z cerca de: $\sim 0.51 \times 10^{-17}$ J; $\sim 0.82 \times 10^{-17}$ y $\sim 1.00 \times 10^{-17}$ J para espesores de 3, 6 y 9 nm respectivamente; seguidamente se ve un comportamiento lineal hasta conseguir de nuevo el estado de saturación (negativa) y ahora se recorre un camino de regreso (círculos azules) que muestra un comportamiento análogo al camino de ida.

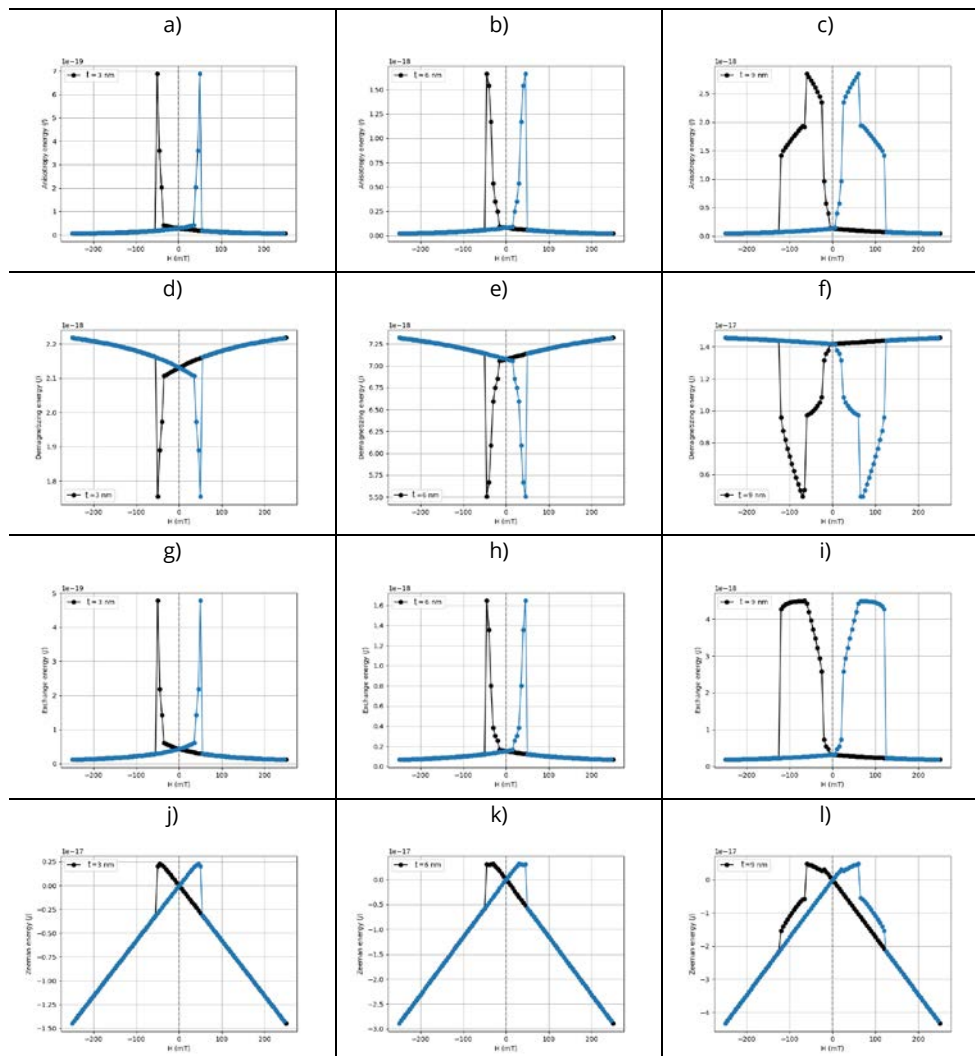


Figura 6. Diagramas de energía: E_k , E_d , E_{ex} , y E_z obtenidos mediante Ubermag de nano- discos de Fe con $R = 60$ nm para espesores de 3 nm, 6 nm, y 9 nm respectivamente. La rama del campo decreciente está representada por los círculos negros, de igual forma, la rama del campo creciente por los círculos azules

Se puede afirmar que las energías E_z y E_k no compiten entre sí, ya que los momentos magnéticos pueden alinearse al mismo tiempo tanto con el H como con el eje de fácil magnetización; por otro lado, en cuanto a la E_{ex} , se aprecia que tampoco compite con ninguna de estas dos energías, sin embargo, si lo hace con la E_d , ya que esta trata de alinear los momentos magnéticos en un sentido diferente al propuesto.

Partiendo del estado de magnetización de tipo (DU) correspondiente a la M_s en los 250 mT y realizando un recorrido por la rama de la izquierda de los gráficos mostrados en la Figura 7 se encuentra un cambio significativo de todas las energías que constituyen el Hamiltoniano del sistema para valores críticos de ~ -10 , ~ 0.50 y ~ 10 mT para espesores de 12, 15 y 18 nm respectivamente.

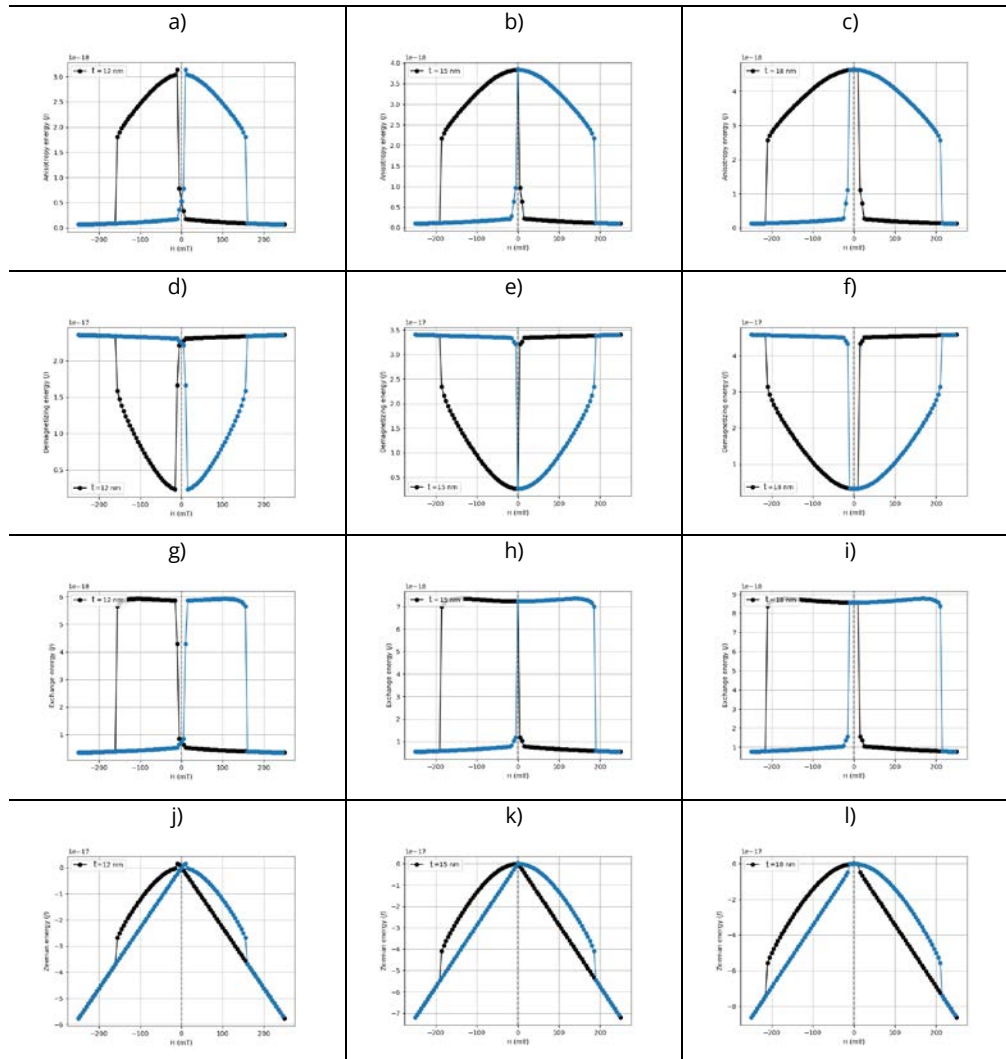


Figura 7. Diagramas de energía: E_K , E_d , E_{ex} , y E_z obtenidos mediante Uebermag de nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm para espesores de 12 nm, 15 nm, y 18 nm respectivamente. La rama del campo decreciente está representada por los círculos negros, de igual forma la rama del campo creciente por los círculos azules

Este cambio da lugar al proceso de nucleación del vórtice y es previo al proceso de inversión de la magnetización en el caso de los 15 y 18 nm de altura, por otro lado, se observa que, con el aumento del espesor, también lo hace la región donde existe el vórtice magnético, es decir desde el H_n hasta H_{an} ; además, se tiene:

1. La energía de anisotropía (7a - 7c) es mínima cuando el campo aplicado tiene un valor de 250 mT y presenta un pequeño cambio antes de llegar a los valores críticos en donde el eje de fácil magnetización y los dominios magnéticos presentan direcciones distintas favoreciendo el incremento de esta hasta alcanzar el mayor valor en $\sim 3.15 \times 10^{-18}$, $\sim 3.85 \times 10^{-18}$ y $\sim 4.44 \times 10^{-18}$ J, después empieza la inversión de la magnetización acompañada de un estado tipo V con un núcleo en el plano (x, y), que al ir desplazándose permite que los momentos magnéticos vayan alineándose de nuevo con el eje de fácil magnetización lo que minimiza la energía de manera gradual hasta llegar al H_{an} donde desaparece el estado magnético de tipo (V) y da paso a un estado de (DU).
2. La energía dipolar (7d - 7f) muestra su máximo valor en 250 mT cuando todos los momentos magnéticos apuntan en la misma dirección, pero al disminuir el H se presenta una pequeña disminución hasta obtener los valores críticos; a partir de los cuales la E_d decae de manera

permanente llegando a un estado de mínima energía cercano a los 0.20×10^{-17} J, a partir de este estado se observa una tendencia al incremento, comportamiento que se asocia al comienzo de la inversión de la magnetización a través de un estado magnético tipo (V) en donde el desplazamiento del núcleo en el plano (x, y) favorece el crecimiento de los dominios magnéticos que se encuentren en el mismo sentido del campo aplicado, tendencia que seguirá hasta la aparición del H_{an} .

3. La energía de intercambio ($7g - 7i$), presenta un mínimo valor cuando el campo aplicado es de 250 mT, y a medida que este decrece se observa un comportamiento sin mayores variaciones, sin embargo, cuando se alcanzan los valores críticos se aprecia un incremento en esta debido a la variación de ángulo entre los momentos magnéticos de primeros vecinos hasta obtener valores de $\sim 5.80 \times 10^{-18}$, $\sim 7.20 \times 10^{-18}$, y $\sim 8.50 \times 10^{-18}$ J para 12, 15 y 18 nm respectivamente.
4. La energía Zeeman ($7j - 7i$) muestra un mínimo valor para un $H=250$ mT y alcanza un máximo valor de 0 J en ausencia de este. Cuando el campo es aplicado en sentido contrario da lugar al estado magnético de tipo V y se tiene un comportamiento no lineal de la E_z debido a la formación de campos de nucleación (H_n) y aniquilación (H_{an}) en los intervalos: a) (-10, -160), b) (0.5, -190) y c) (10, -210) mT para espesores de 12, 15 y 18 nm respectivamente. Después se tiene un comportamiento lineal hasta alcanzar el estado de saturación negativa ($-M_s$).

4. CONCLUSIONES

La dinámica de la magnetización en nanodiscos de Fe con $R = 60$ nm y cuyo espesor varía desde 3 hasta 18 nm presenta dos tipos característicos de estado magnético, conocidos como monodominio y vórtice, que se relacionan con la saturación del sistema (M_s) y con la formación tanto de campos de aniquilación (H_a), como de nucleación (H_n) respectivamente; además, se evidencia la competencia directa entre la E_{ex} , que intenta colapsar las paredes de dominio magnético y la E_d que intenta expandirlas; en cuanto, a la E_K no compite con la E_z , debido a que el campo magnético externo aplicado apunta en el mismo sentido y la misma dirección que uno de los ejes de fácil magnetización [1, 0, 0].

Por otro lado, se evidencia que, al aumentar el espesor de los nanodiscos de Fe, el ciclo de histéresis empieza a sufrir un estrangulamiento, acompañado de la aparición de unos hombros que tienen relación directa con el movimiento de paredes de dominio magnético y estados de tipo vórtice lo que genera campos de nucleación y aniquilación, así mismo se ve que el campo coercitivo va disminuyendo hasta desvanecerse por completo.

REFERENCIAS

- Balke, N. J. (2013). Current and surface charge modified hysteresis loops in ferroelectric thin films. *Journal of Applied Physics*, 118(7), 1-8.
- Barba, J. J. (2011). Nucleación de vórtices y antivórtices en películas superconductoras con nanoestructuras magnéticas. *RESPUESTAS-Journal of Engineering Sciences*, 45-49.
- Blanco, C. (2017). *Interacciones magnéticas en sistemas tierra rara-metal de transición y su estudio mediante técnicas de radiación sincrotrón*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo.
- Cowburn, R. (1999). Single-Domain Circular Nanomagnets. *The American Physical Society*, 83(5), 67-80.
- Feng, H. Y. (2017). *Magnetoplasmonic Nanorings: Novel Architectures with Tunable Magneto-optical Activity* in. Madrid: UAM.
- García, M. C. (2012). *Síntesis de nanopartículas magnéticas y su aplicación en nanocompuestos de matriz polimérica con propiedades magnéticas*. Zaragoza, España: Prensas de la universidad de Zaragoza.
- Gélvez, C. F. (2019). Coercive field enhancement in Co nanodisk. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 13LT01, 13-20.
- Lancho, J. A. (2015). *Estudio de la dinámica lineal de vórtices magnéticos en nano-dots*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Marques, I. (2007). *Estudo, via simulações, do comportamento de vórtices em nanodiscos magnéticos*. Brasil: Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Monteblanco, E. P. (2017). Espintrónica, la electronica del espín spintronics, spin electronics. *Revista Tecnifica (Tecnia)*, 5-16.
- Obradors, X., Puig Molina, T., Ricart, S. et al. (2008). Material superconductor nanoestructurado tipo REBa₂Cu₃O₇

- (RE=Tierra Rara o Ytrio) con una elevada densidadde centros de anclaje de vórtices y su método de preparación. *Oficina española de patentes y marcas*, 2-22.
- Porter, M. J. (1999). *OOMMF User's Guide, Version 1.0*. USA: U.S. Department of Commerce.
- Rivas, R. (2015). Dinámica de la magnetización de medios magnéticos. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 9(1), 63-74.
- Segura, J. G. (2006). *Síntesis, caracterización y estudio en superficie de nanoimanes moleculares*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Torrejón, J. (2010). *Estudio del acoplamiento magnetoelástico y magnetostático en microsistemas multicapas bifásicos*. Madrid: Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.
- Vigo, H. (2018). *Influencia de la anisotropía uniaxial en la configuración magnética de nanodiscos usando simulación micromagnética*. Trujillo: Biblioteca digital dirección de sistemas de informática y comunicación-UNT.

CIENCIAS HUMANAS

Vivencias de afrontamiento para mejorar la calidad de vida en cuidadores primarios de pacientes en condición de discapacidad que generen dependencia

Greys Carolina Otero de Oro¹

Camila Vanessa Daza Alvernia²

Lesby Johanna Lora Carrillo³

Delia Karina Meza Rojas⁴

*Universidad de Santander Campus Valledupar
Colombia*

Tener a cargo una persona en condición de discapacidad y que este a su vez genere dependencia, ya sea parcial o total, causa una crisis al interior de la familia, principalmente para los cuidadores primarios, el artículo presenta acciones de intervención que permiten mejorar la calidad de vida desde las propias vivencias de afrontamiento en los cuidadores primarios de pacientes en condición de discapacidad que generen dependencia. Se presenta un estudio cualitativo con un diseño de investigación acción, mediante entrevistas semiestructuradas, árbol de problemas y talleres de intervención a seis participantes. Los hallazgos se agruparon en dos temas principales, calidad de vida y estrategias de afrontamiento, se evidenció que los cuidadores han visto afectada su calidad de vida en las dimensiones del bienestar físico, psicológico y social. Dentro del plan de intervención los cuidadores resignificaron desde sus vivencias las estrategias de afrontamiento de apoyo social, familiar y de espiritualidad que permitió fortalecer su calidad de vida (psicológica y social). En el marco de este estudio, es comprensible que el uso de estas estrategias facilite a los cuidadores el desempeño de su labor de manera efectiva, minimizando así los efectos negativos ocasionados por esta, como, por ejemplo, el abuso o maltrato, donde es probable que se generen situaciones con altos niveles de estrés que puedan conducir a cambios en el temperamento o comportamiento del cuidador primario, por lo que es probable que tenga una respuesta agresiva o violenta hacia el discapacitado (Achury et al., 2011; Narvaez et al., 2019; Uhden, 2014). Todas las acciones que contribuyen al cuidado del cuidador permiten no solo que el cuidador genere bienestar psicológico, si no que le facilita realizar sus labores eficazmente generando cambios favorecedores en su calidad de vida y en la del paciente a su cuidado (reciprocidad positiva).

¹ Psicóloga. Perteneciente al semillero de investigación Physis.

Contacto: val15211082@mail.ude.edu.co

² Psicóloga. Perteneciente al semillero de investigación Physis.

Contacto: val15211004@mail.ude.edu.co

³ Psicóloga Social, Especialista en Métodos y técnicas de Investigación en Ciencias Sociales, Magíster en Teoría y Práctica de la Prosocialidad y sus Aplicaciones en la Logoterapia, y Maestrante en Primera Infancia: Educación y Desarrollo. Docente investigadora y Asesora del Semillero Physis.

Contacto: les.lora@mail.udes.edu.co

⁴ Psicóloga, Especialista en Salud Familiar y Magíster en Gerencia en Recursos Humanos. Docente Investigadora y Asesora del Semillero MBK Motivated by knowledge.

Contacto: de.meza@mail.udes.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El paciente con discapacidad y la dependencia que esta pueda generar es una problemática que no solo afecta a la persona que vive esta realidad, sino también en gran medida a la persona a cargo de los cuidados. A lo largo de los años se ha observado la aparición de muchos casos donde hay enfermedades que son causantes de limitaciones y que llevan a la persona a la pérdida total o parcial de su capacidad de autocuidado y por ende lo lleva a depender de un cuidador, que en el mayor de los casos es un familiar.

El 90% de las personas con dos o más limitaciones tienden a generar una dependencia casi que absoluta de su cuidador primario, ameritando por parte de ellos un acompañamiento para realizar sus actividades básicas y para su propio autocuidado como citó (Alcaraz et al., 2015). A través del Registro de Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad RLCPD, entre 2002 y 2018 se ha identificado 1.148.889 personas en condición de discapacidad, teniendo en cuenta que, de cada 100 colombianos, tres se encuentran en el RLCPD (Minisalud, 2018).

Como ya se mencionó, la discapacidad no solo afecta la calidad de vida de la persona que lo padece, sino también la de sus familiares y cuidadores, teniendo en cuenta que la demanda de cuidados y ayuda que suministran los cuidadores a su familiar va a sobrepasar la capacidad física y mental del cuidador. Esta sobrecarga que tienen estos cuidadores primarios genera altos niveles de estrés y conlleva a que se presenten alteraciones a nivel físico, psicológico, social y en algunos casos espiritual, así como también repercusiones económicas, laborales, familiares, sobre sus relaciones sociales y tiempo libre (Carretero et al., 2006). Alrededor de las discapacidades existen diversos tipos y con ellas diferentes niveles de gravedad o dependencia; por lo tanto, los recursos de los cuidadores o bien sean las estrategias que utilicen para afrontar la discapacidad y sus implicaciones será muy diverso. (López, 2013). Con relación a lo anterior, emerge la pregunta de investigación en relación: ¿Se puede mejorar la calidad de vida a través del fortalecimiento de las estrategias de afrontamiento?

Las estrategias de afrontamiento fueron las herramientas claves para mejorar la calidad de vida en los cuidadores primarios participantes, ya que a través del conocimiento y fortalecimiento se permitió minimizar los efectos negativos que traen consigo el cumplimiento de su rol. Se buscó que los cuidadores a partir de sus vivencias y experiencias significativa lograran fortalecer y adquirir una serie de estrategias para afrontar de manera adecuada diversas situaciones que se les presenten en su proceso como cuidador lo cual con lleve a mejorar su calidad de vida. Pelechano (2000), citado por (Castaño y León, 2010), define estrategias de afrontamiento como formas específicas que utilizan las personas para manejar los estresores.

Por otro lado, mediante la revisión literaria, se descubrió que gran parte de los estudios direccionados a esta problemática tienen un enfoque más descriptivo, dejando de lado una comprensión más subjetiva de las situaciones particulares de sus experiencias y vivencias como cuidadores en su vida cotidiana. Por estas razones se hizo necesario abrir la perspectiva de estudio, realizando un enfoque cualitativo, con un diseño de investigación acción que permitió utilizar herramientas para la recolección de datos, el análisis de la información e interpretación de esta, comprendidos desde las experiencias personales expresadas por cada participante, lo cual enriqueció los resultados de la investigación, proporcionándonos una visión amplia y completa de la realidad estudiada, para intervenirla.

Cabe mencionar, que en Colombia han sido muy pocos los planes de intervención en pro de mejorar la calidad de vida de los cuidadores primarios de pacientes con discapacidad. Teniendo en cuenta los hallazgos en este país, se han documentado pocos aportes de intervenciones realizadas en las que sobresalen las ciudades de Cartagena, Bogotá y Bucaramanga, sin embargo, estos programas no son específicos para los cuidadores de pacientes con discapacidad, sino para los cuidadores de algún tipo de demencia y otras enfermedades crónicas (Cerquera y Pabón, 2014).

Por lo anterior, este proyecto propuso el diseño e implementación de un plan de intervención desde la psicología y el modelo de investigación acción, el cual facilitó conocer desde sus propias voces las experiencias significativas como cuidador primario, además, de identificar cuáles fueron las estrategias de

afrontamiento que han utilizado a lo largo del proceso y si las perciben como exitosas o no para sobrellevar la carga que produce el cuidado y el ser cuidador.

2. MÉTODO

Se presenta una investigación cualitativa con un diseño de investigación acción desde las perspectivas técnico-científicas de Kurt Lewin (1946), citado por (Maya et al., 2007, p. 19); por lo que se realizó una identificación de las necesidades para construir e implementar el plan de acción que tuvo como finalidad favorecer la calidad de vida de los cuidadores primarios de pacientes con discapacidad. Los participantes fueron incorporados de manera voluntaria, consentida e informada de un instituto de rehabilitación integral de la ciudad de Valledupar, Cesar. Diez cuidadores primarios expresaron su interés en participar y aunque todos fueron contactados, solo seis finalmente aceptaron participar.

Se utilizaron entrevistas semiestructuradas para indagar en la calidad de vida de los cuidadores primarios con el fin de descifrar y comprender, los miedos, las satisfacciones, las angustias, inquietudes, alegrías y experiencias significativas o relevantes que han vivenciado en su proceso de cuidador, el árbol de problema nos permitió la formulación, evaluación y monitoreo del plan de intervención desarrollado, por último los talleres de intervención estuvieron compuesto por una serie de actividades que tenían como finalidad una perspectiva integradora y participativa de los cuidadores, en donde expresaron diferentes conocimientos entre si sobre sus estrategias y experiencias significativas, se trabajaron mediante talleres una serie de recursos que contribuyeron a fortalecer sus estrategias de afrontamiento y a mejorar su calidad de vida.

Se realizó un análisis interpretativo, cuidando que el fenómeno develado fuera representativo de las vivencias de los cuidadores primarios. Para el resguardo del rigor de la investigación se emplearon categorías de análisis mediante el programas Atlas Ti 8, el cual permitió sistematizar las experiencias, realizar una transferencia de los resultados a personas con vivencias y características similares, para lo cual se realizó una descripción detallada del proceso seguido por esta investigación, con el propósito de que otros investigadores puedan seguirla, y confirmar la información, que se categorizo, con frase textuales de los participantes, que sustentan las categorías de análisis.

Durante toda la investigación se respetaron los principios éticos universales involucrados en la investigación con personas: autonomía, respeto, beneficencia y justicia.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos se presentan en tres momentos fase diagnóstica, de intervención y evaluación. En la fase diagnóstica se realizó un análisis de la información obtenida a través de las diferentes herramientas utilizadas para la recolección de datos, la cual facilitó la detección de necesidades para así dar soluciones a través de una fase de intervención.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tuvo como referente los constructos del marco teórico, el primer constructo que se abordado fue calidad de vida, el cual se ve reflejado en las categorías de análisis como *Bienestar físico*, *Bienestar psicológico*, *Bienestar social* y *Bienestar espiritual*. Dichas categorías reúnen la información relacionada con la entrevista semiestructurada focalizada la cual permitió recopilar los datos, conceptos o ideas que comparten en común los cuidadores, además de comprender las percepciones que tienen con relación a sus vivencias.

Al remitirse a la Tabla 1 se observa que todas estas categorías clasificadas han puesto en evidencia la sobre carga que tiene un cuidador primario y como esta ha repercutido de manera significativa, teniendo en cuenta que la calidad de vida está basada en aspectos positivos y negativos que nos permite conocer de manera subjetiva la percepción de esta en cada una de sus dimensiones (Ferrell et al., 1997).

Los resultados evidencian que varios cuidadores principales han sufrido alteraciones significativas en su bienestar físico, psicológico, social y espiritual a partir del diagnóstico y todo el proceso arraigado a este. No obstante, es importante resaltar que no todos estos cambios han sido negativos, puesto que se logró

observar que algunos dominios como lo es el espiritual se encuentra fortalecido, mostrándose de esta manera como una de las fuentes de apoyo o estrategias que más utilizan frente a situaciones de estrés, y desesperanza, con el fin de mitigar muchas de las situaciones difíciles que han tenido que enfrentar, sin embargo, el bienestar físico, psicológico y social se han visto afectados de manera negativa.

Tabla 1. Categoría de análisis de la calidad de vida

Sub-categoría	Relatos codificados
Bienestar físico	<p>S1. Él pesa bastante hay que cárgalo a vece se me dificulta, además hay que estar pendiente de el en la noche, ha sido muy duro la verdad no es fácil.</p> <p>S2. Yo prefiero que mis hijos coman primero, por eso es que estoy más gorda por que como a deshoras, todo esto me afectado apenas es que estoy durmiendo.</p> <p>S3. No llevo una vida del sueño que diga: ah dormí toda la noche, y en la alimentación cuando ella me deja yo lo hago y su peso también me genera cansancio.</p> <p>S4. Se me hace difícil, pero he podido sacar a mis hijos adelante, y a pesar de que tengo mi esposo me siento que estoy sola, pero bueno uno da para todo.</p> <p>S5. Es muy agotador mis hábitos cambiaron mucho.</p> <p>S6. Yo no he sentido ningún cambio, solo cuando se enferma.</p>
Bienestar psicológico	<p>S1. Todavía no he afrontado la situación, hay días que amanezco decaída y hay días que me siento bien, ósea, todavía no he asumido el diagnostico de mi hija, no me he adaptado a ella.</p> <p>S2. Yo trato de sobrellevar las cosas porque es mucha carga para mí, prácticamente estoy sola.</p> <p>S3. Me deprimó y me decaigo.</p> <p>S4. El control de mi vida lo tiene Dios yo no, ¡ay! no, yo a veces siento que me ahogo, que me desespero.</p> <p>S5. Cuando ella tuvo la edad de seis años ese año fue muy duro para mí, porque no avanzaba en el colegio, también me da miedo que en la noche convulsione o algo así, es un temor de madre que siempre tengo y por eso ando pendiente todas las noches.</p> <p>S6. Yo estudié y cuando comencé a trabajar me toco renunciar, no he podido avanzar en lo que yo quiero debido a todo lo que ha pasado.</p>
Bienestar social	<p>S1. Cuando trabajaba el trabajo era una terapia, porque me olvidaba de todo, pero al renunciar e inténame en mi casa ha vuelto pesada la carga, toda una vida yo trabajando, vuelvo y te repito el trabajo es una terapia.</p> <p>S2. A veces siento cansancio y digo sola no doy abasto, me ha tocado sola no tengo ayuda.</p> <p>S3. Hacen fiesta y yo nunca voy, porque pienso como hago para salir con dos bebés a cargo, entonces sí, eso son obstáculos.</p> <p>S4. Yo ni duermo con mi esposo, él duerme allá con el mayor y yo duermo con ella en la cama.</p> <p>S5. Ya no hay relación social, ahora es por teléfono y eso no es lo mismo, a veces no podemos salir porque es una niña que me pesa mucho y ya su peso me afecta.</p> <p>S6. Yo deje de trabajar para dedicarme de lleno a mis hijos, porque ella necesita cuidados especiales.</p>
Bienestar espiritual	<p>S1. Yo digo ¡ay, Dios mío! será que mi hija si va a poder estudiar, mi hija si va a poder hacer esto, pero bueno, con el favor de Dios sí, yo guardo la esperanza de que si va a hacer así.</p> <p>S2. Como familia nos hemos conectamos con la iglesia.</p> <p>S3. El control de mi vida lo tiene Dios.</p> <p>S4. Orar con mi familia, tengo varios familiares médicos y ellos me han ayudado bastante, pero la oración ha sido mi fortaleza.</p> <p>S5. La oración.</p> <p>S6. Los grupos de la iglesia.</p>

El plan de acción *adaptando mi vida*, vivencias de cuidadores primarios de personas en condición de discapacidad se desarrolló en cuatro sesiones en donde se realizaron talleres de intervención, con el objetivo de fortalecer las estrategias de afrontamiento para mejorar la calidad de vida de los cuidadores primarios de pacientes con discapacidad que generan dependencia, cuando se realizó la fase de diagnóstico se develó que los participantes utilizan recursos psicológicos como la religión, el positivismo, el apoyo familiar y la aceptación para afrontar las situaciones estresantes que genera las demanda de cuidado, como se ilustra en la Tabla 2. Además, permitió que los sujetos identificaran aquellas problemáticas que les resultaban más complejas de abordar y darles solución en los momentos oportunos, es por ello que se trabajaron tres temas principales el reconocimiento y expresión de las emociones, cómo se posicionan los cuidadores primarios frente a la estigmatización *La sociedad estigmatiza, pero yo me libero* y la importancia y beneficios del autocuidado en los cuidadores.

En la Tabla 2 se muestra las estrategias de afrontamiento que pudieron vivenciar los cuidadores primarios, en la mayoría de los casos las personas que participaron en la investigación eran las madres de niños y niñas con alguna condición de discapacidad de cualquier orden. Las estrategias de afrontamiento se evidenciaron mediante los talleres psicosociales, en dichos talleres se socializo sobre las emociones que

puede experimentar un cuidador, haciendo énfasis que cuando una emoción negativa se presenta durante mucho tiempo afecta diferentes áreas de su vida (en la pareja, con los hijos y el trabajo), sin embargo, también se aclaró que tener sentimientos negativos son normales y que deben ser consciente de que existen, reconocerlos y aceptarlos como algo lógico, ya que el cuidado es una tarea complicada. Tienen derecho a sentir cualquier tipo de sentimientos: positivos y negativos, estos procesos permitieron revelar desde sus experiencias vividas las estrategias de afrontamiento que han venido utilizando los cuidadores como lo son, el positivismo, aceptación, apoyo familiar, espiritualidad y negación.

Tabla 1. Categorías de análisis de las estrategias de afrontamientos basadas en el marco conceptual de los autores (Lazarus y Folkman, 1986; Solís y Vidal, 2006; Vázquez et al., 2003)

Sub-categoría	Relatos codificados
Positivismo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuerzas de seguir adelante. ▪ Cambios positivos, más activa. ▪ Me ha dado fortaleza y valentía. ▪ Motivación.
Aceptación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconocer la condición. ▪ No debe darnos lastima la condición de nuestro hijo. ▪ Debemos aceptarlo como es. ▪ Aceptar la discapacidad de mi hijo.
Apoyo familiar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mi esposo me ayuda con los cuidados. ▪ Mi familia está muy pendiente.
Espiritualidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aferrarme a Dios me ayudó mucho. ▪ Fe. ▪ Asisto a un grupo a la iglesia eso me ayudó mucho.
Negación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Al principio yo no lo aceptaba, no como hijo, sino que no lo aceptaba discapacitado. ▪ Mi hija no tiene una discapacidad.

De acuerdo con lo anterior, unas de las estrategias de afrontamiento productiva que se pueden observar es la de fijarse en lo positivo como lo relata la siguiente participante:

Participante 1 (Comunicación personal, 11 de septiembre 2019): *Uno los ve con ojos de amor y no ve discapacidad alguna, además uno se va adaptando a organizar su vida y a vivir al máximo disfrutando cada segundo de la vida.*

El anterior relato da cuenta de los positivo como una forma de estrategia de afrontamiento, lo que indica que la participante mantiene una visión optimista ante a la situación y posee la tendencia de ver el lado bueno de las cosas, las personas con una actitud optimista parecen manejar mejor los síntomas de enfermedades (Frydenberg, 2018b; Vázquez et al., 2003).

Otro de los relatos pretende develar la estrategia de aceptación que tiene que ver con el sentido de responsabilidad frente al evento estresante, la persona tiene la capacidad de aceptar el papel y asumir una posición de liderazgo frente al origen del problema y mantenerlo (R. S. Lazarus y Folkman, 1984).

Participante 2: (Comunicación personal, 11 de septiembre 2019): *Las personas que están pasando por una situación similar, les motivo a aceptar la discapacidad de su hijo, para poder convivir a diario con todo lo que conlleva tener un hijo en estas condiciones, después que haya aceptación uno los ve con ojos de amor.*

Por otro lado, las redes de apoyo suelen ser una estrategia muy común de afrontamiento que permite sobreponerse en compañía del otro la experiencia estresante, tal como lo relatan las participantes 3 y 4 a continuación, haciendo énfasis en el apoyo familiar.

Participante 3: (Comunicación personal, 15 de septiembre 2019): *Para mi esposo y para mí el impacto fue fuerte, pero desde el primer día aceptamos y decidimos luchar juntos por ella.*

Participante 4: (Comunicación personal, 15 de septiembre 2019): *Ha sido un proceso lindo, es nuestra razón para vivir, nos ha unido más como familia, la tomamos como a cualquier otro niño y también nos hemos adaptado a realizar actividades incluyendo a nuestros niños, nos divertimos, paseamos juntos y estamos eternamente agradecidos con Dios por regalarnos a nuestra mágica princesa.*

Teniendo en cuenta el relato de la participante 4 también se puede observar otro mecanismo de afrontamiento que es la espiritualidad, por lo que refleja la tendencia de emplear la oración y de creer en un líder espiritual o Dios (Solís y Vidal, 2006).

Desde la perspectiva de los autores (Frydenberg, 2018; Vázquez et al., 2003) nos indica que existe un afrontamiento no productivo porque las personas optan por una actitud pesimistas que se caracterizan por negación y por utilizar estrategias que no permiten encontrar solución a los problemas, que hace que se genere el distanciamiento ante situaciones estresantes que se denota en el relato de la siguiente participante.

Participante 5: (Comunicación personal, 12 de septiembre 2019): *Yo no lo aceptaba, no como hijo, sino que no lo aceptaba discapacitado.*

Por consiguiente, el desarrollo y fortalecimiento de las estrategias de afrontamiento no es un proceso acabado, requiere de la continua intervención del profesional de psicología (Figura 1), las actividades desarrolladas en el programa de intervención en estrategias de afrontamiento fueron ejecutadas de manera preventiva y promocional desde el enfoque de salud y bienestar humano, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los cuidadores primarios. Los participantes manifestaron que satisficieron sus necesidades y expectativas, e incluso, la consideraron como un modelo ejemplarizante ante futuras situaciones.

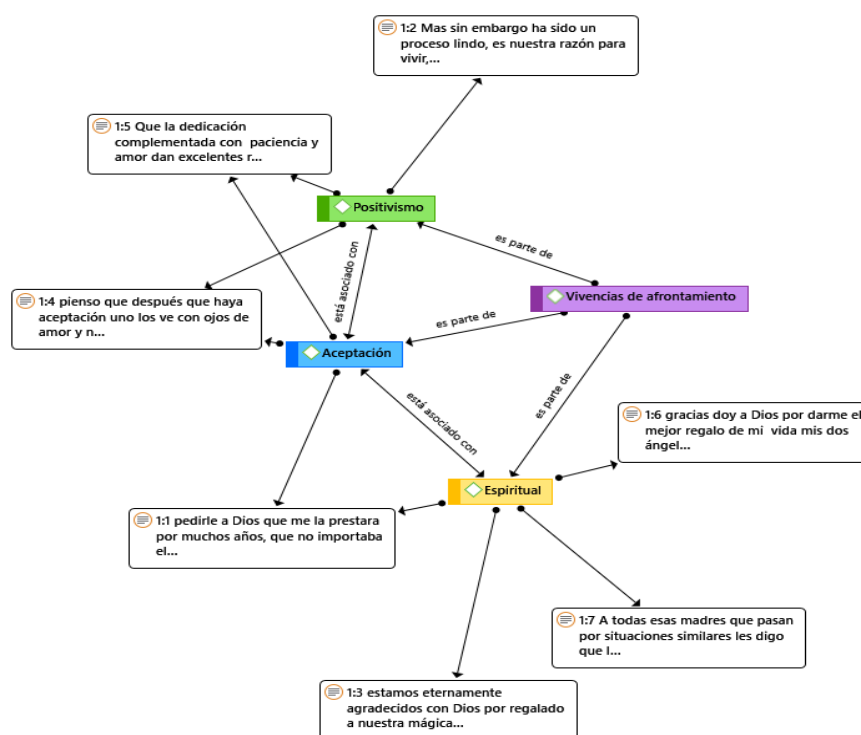


Figura 1. Red semántica de las vivencias de afrontamiento en los cuidadores primarios previo al proceso de intervención

Con respecto a la efectividad, del plan de acción se generaron cambios importantes en el estado emocional, mejoraron en general las afectaciones psicológicas (angustia, irritabilidad, vergüenza, culpabilidad, miedo, soledad y desesperanza) generando una reducción de los sentimientos negativos del cuidador, mediante la reflexión y resignificación de sus vivencias, esto se evidencia mediante los relatos de vida que fue una actividad que permitió evaluar el proceso de fortalecimiento de las estrategias de afrontamiento, donde se develó que las estrategias más utilizadas para hacer frente a las dificultades que se presentan al transformarse en cuidador son: la aceptación *comprensión del diagnóstico*, positivismo *desde el primer día aceptamos y decidimos luchar juntos por ella* y espiritualidad *Dios da toda las fuerzas*:

A las personas que están pasando por una situación similar les motivo a aceptar la discapacidad de su hijo para poder convivir a diario con todo lo que conlleva tener un hijo en estas condiciones, pienso que después

que haya aceptación uno los ve con ojos de amor y no ve discapacidad alguna en ellos, además que uno se va adaptando a organizar su vida y a vivir al máximo y a disfrutar cada segundo de la vida.

Los estudios realizados por Frydenberg (2017) mencionan dos estilos de afrontamiento considerados como productivos o funcionales, uno de ellos es el denominado *Resolver el problema*, que refleja la tendencia a abordar las dificultades de manera directa; el otro es el de *Referencia hacia los otros*, que implica compartir las preocupaciones con los demás y buscar soporte en ellos, dentro de este encontramos el apoyo espiritual, el cual refleja una tendencia a rezar, a emplear la oración y a creer en la ayuda de un líder espiritual o Dios.

En el análisis de sus relatos de vida se pudo identificar que la espiritualidad fue la estrategia más utilizada para resignificar sus experiencias de afrontamiento, presentado un mayor grado de concurrencia, seguido de la aceptación y el positivismo, las cuales generan bienestar en la calidad de vida de los cuidadores.

Por otro lado, estos resultados permiten hacer reflexiones a fin de comprender como se moviliza el aspecto psíquico de los cuidadores que potencializa las estrategias de afrontamiento que se basan en lo espiritual, pero que a su vez favorecen las dimensión física, psicológica y social de los cuidadores primarios con respecto a su calidad de vida (Gutiérrez y Lugo, 2016).

4. CONCLUSIONES

El programa de intervención aborda una problemática importante que afecta a una población vulnerable, los cuidadores primarios de pacientes en condición de discapacidad que generen dependencia. Por consiguiente, dicho programa fue diseñado para ejecutar en 10 sesiones, cada una de las cuales presentaba un objetivo específico, con técnicas adecuadas a dicho propósito y al enfoque acogido, tal como lo plantean los autores de la investigación.

El propósito de este proyecto de investigación fue mejorar la calidad de vida fortaleciendo las estrategias de afrontamiento en los cuidadores primarios de pacientes con discapacidad que generen dependencia en la IPS INARI de la ciudad de Valledupar, Cesar.

Existe una amplia literatura sobre investigaciones que están direccionadas a determinar cómo se encuentra la calidad de vida del cuidador primario. En este estudio se creó un programa de intervención que permitió fortalecer las estrategias de afrontamiento para favorecer la calidad de vida, esto se realizó a partir de la comprensión de las experiencias significativas y las estrategias de afrontamientos, las cuales permitieron la construcción del plan de acción denominado: *Adaptando mi vida: Vivencias de cuidadores primarios de personas en condición de discapacidad*.

De acuerdo con la percepción de la calidad de vida, en esta investigación se logró evidenciar que los cuidadores primarios han presentado alteraciones multidimensionales en ámbito físico, psicológico, social y espiritual como consecuencia de la demanda de cuidado. Este resultado es similar al estudio de (López, 2013) sobre la calidad de vida de cuidadores primarios de pacientes con discapacidad dependiente, en donde sustenta que las personas con discapacidad en condición de dependencia necesitan de un tercero para poder suplir sus necesidades básicas y cómo repercute esta situación en la calidad de vida del cuidador primario.

Con relación a las estrategias de afrontamiento se encontró que cada cuidador cuenta con unos recursos psicológicos para hacer frente a situaciones estresante, también se evidenció que la mayoría de los cuidadores utiliza estrategias como : la religión, apoyo emocional, y apoyo familiar entre otras, en la siguiente investigación (Chen et al., 2015), realizaron un estudio, en la Ciudad de Japón, cuyo objetivo fue desarrollar una intervención dirigida a mejorar las estrategias de afrontamiento y examinar su efectividad para reducir la carga del cuidador. Para ello, se realizó un estudio con 57 cuidadores de pacientes ancianos con demencia, se revisó mediante la lista de afrontamiento WCCL-R, y la carga del cuidador se evaluó por medio de la versión China del Inventario de carga del cuidador. Como conclusión, concretaron que la mediación psicosocial puede ayudar a los cuidadores a acoger estrategias de afrontamiento de apoyo social más centrales en las dificultades, que son útiles en términos de reducir la carga del cuidador.

Respecto a la percepción del cuidado, unas de las consecuencias que más se genera a partir de esta es la deserción laboral debido a las altas exigencias de cuidados, como lo sustenta (Alcaraz et al., 2015), donde investigó sobre la carga percibida por los cuidadores familiares de personas dependientes, las estrategias de afrontamiento usadas por éstos y la percepción que tienen sobre dichas estrategias. Obteniendo como resultados que no se puede establecer discrepancias indicadoras entre las estrategias de afrontamiento utilizadas por los cuidadores y los no cuidadores; además se halló que el sentimiento de carga está comprometido con la percepción que tienen los cuidadores del cuidado y los sentimientos de intranquilidad, miedo e incertidumbre que siente frente al futuro de su familiar en caso de que ellos falten. Igualmente, en este trabajo también se hallaron que los cuidadores tienen sentimientos de frustración, ira, impaciencia, miedos e inseguridades.

Tener una persona a cargo en condición de discapacidad y que este a su vez genere dependencia, ya sea parcial o total, causa una crisis al interior de la familia, principalmente para los cuidadores primarios, por ser los únicos responsables de los cuidados. Al inicio, el informe del diagnóstico entregado a los familiares, va a generar un fuerte impacto, siendo el componente psicológico el más afectado, manifestando sentimientos de miedo, angustia, culpa, tristeza, seguido de una sensación de incertidumbre al enfrentarse a una situación totalmente desconocida. Posterior a ello el cuidador primario pasará por un proceso de adaptación, el cual podría ser positivo o negativo, dependiendo del grado de dependencia del niño y de las estrategias de afrontamiento que utilice para hacer frente a cualquier situación crítica.

La implementación de un plan de intervención basado en el fortalecimiento de las estrategias de afrontamiento resulta eficaz para hacer mejoras en la calidad de vida, teniendo en cuenta que el cuidador primario es a quien generalmente recae el mayor impacto, y que este impacto solo será modulado o dependerá como ya se mencionó arriba del tipo de discapacidad, el curso de esta, la dependencia que pueda generar, y los recursos o estrategias de afrontamiento con las que cuenta el cuidador (Viale et al., 2016). Es decir, si el familiar con discapacidad genera una pérdida total de su capacidad de autocuidado y, por ende, esta requiere de un acompañamiento casi que permanente de un cuidador, en esas circunstancias lo único que le queda son sus recursos psicológicos o bien sea las estrategias de afrontamiento (Landínez et al., 2015). Cabe mencionar, además, que el rol que cumplió el cuidador primario dentro de esta investigación fue trascendental, ya que estos no son simples suministradores de información, sino que por el contrario cumplieron un papel activo para dar respuesta a la problemática planteada inicialmente.

En lo que refiere a intervenciones con cuidadores primarios o familiares se halla coincidencia entre varios autores al concluir que las intervenciones psico-educativas o informativas no han sido suficientes para mejorar la calidad de vida del cuidador (Pujol, 2019; Salamanca et al., 2018) y que por el contrario la mejor forma de intervenir en esta población es por medio de la intervención psicosocial o bien sea psicológica, física, emocional y espiritual con el fin de disminuir la afectación a nivel psicológico del cuidador, creando espacios de relajación y métodos prácticos para mejorar su condición y por ende mejorar el cuidado del paciente en condición de discapacidad. De acuerdo con lo anterior, cabe resaltar que son muy pocos los programas de intervención con modelo de Investigación, Acción, que es un método que involucra el acercamiento a los participantes para trabajar una situación problemática y cambiarla para mejorar, es decir, que las estrategias que se utilicen para fortalecer la calidad de vida de los cuidadores se realicen desde el conocimiento de su contexto y de la situación problemática que están viviendo.

Por otra parte, aun cuando se logra diseñar y ejecutar un plan de acción psicosocial, y adicionalmente, se logran comprobar sus efectos de forma empírica, se pueden presentar limitaciones como la posibilidad de que los cuidadores no asistan rigurosamente a las sesiones; este estudio inició con 10 cuidadores y finalizó con 6, lo que fue el mayor obstáculo para la implementación; los cuidadores generalmente no cuentan con disponibilidad de tiempo y/o soporte para asistir a las sesiones. Lo anterior, abre nuevas líneas de investigación en programas de respiro para cuidadores o espacios verdes que estén orientados a mitigar estas limitaciones.

Finalmente, para que los cuidadores puedan ofrecer unos servicios de cuidados óptimos y de calidad deben preocuparse por su autocuidado y autoestima, si no se cuidan así mismo no podrán cuidar a su familiar, es

por ellos que el cuidador debe ser consciente de que necesitas tiempo para él y sus relacionales sociales. Por lo tanto, es importante señalar que estas estrategias se logran fortalecer a partir de lo que el cuidador logra interiorizar y resignificar desde sus vivencias y relatos de vidas.

REFERENCIAS

- Achury, D. M., Castaño, H. M., Gómez, L. A. y Guevara, N. M. (2011). Calidad de vida de los cuidadores de pacientes con enfermedades crónicas con parcial dependencia. *Investiga. en Enfermería, Imagen y Desarrollo* 13(1), 27-46.
- Alcaraz, Y., Lastra, A. y Tuberquia, X. (2015). *Estrategias de afrontamiento en cuidadores familiares de personas con dependencias de la corporación COLORESA*. Universidad de Antioquia.
- Carretero, S., Garcés, J., y Ródenas, F. (2006). *La Sobrecarga de las cuidadoras de personas dependientes: Análisis y propuestas de intervención psicosocial*. Recuperado: <http://envejecimiento.csic.es/documentos/documentos/polibienestar-sobrecarga-02.pdf>
- Castaño, E. F. y León Del Barco, B. (2010). Estrategias de afrontamiento del estrés y estilos de conducta interpersonal. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy* 10(2), 245-257.
- Cerquera, A. M. y Pabón, D. K. (2014). Intervención en cuidadores informales de pacientes con demencia en Colombia: Una revisión. *Psychologia* 8(2), 73-81.
- Chen, H. M., Huang, M. F., Yeh, Y. C., Huang, W. H. y Chen, C. S. (2015). Effectiveness of coping strategies intervention on caregiver burden among caregivers of elderly patients with dementia. *Psychogeriatrics* 15(1), 20-25.
- Ferrell, B. R., Grant, M. M., Funk, B., Otis-Green, S. y García, N. (1997). Quality of life in breast cancer survivors as identified by focus groups. *Psycho-Oncology* 6(1), 13-23.
- Frydenberg, E. (2017). *Coping and the Challenge of Resilience*. Palgrave.
- Frydenberg, E. (2018a). *Adolescent Coping: Advances in Theory, Research and Practice*. Taylor y Francis.
- Frydenberg, E. (2018b). *Adolescent coping: Promoting resilience and well-being*. Taylor and Francis.
- Gutiérrez, N., y Lugo, N. E. (2016). *Estrategias de afrontamiento espiritual en un paciente oncológico*. Universidad de San Buenaventura.
- Landínez, N. S., Caicedo, I. Q., Lara, M. F., Luna, L. y Beltrán, J. C. (2015). Implementation of an education program for caregivers of dependent or disabled elderly. *Revista Facultad de Medicina* 63(3), S75-S82.
- Lazarus, R. y Folkman, S. (1986). *Estrés y procesos cognitivos*. R. Martinez.
- Lazarus, R. S. y Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.
- López, N. G. (2013). Quality of life of primary caregivers of patients with dependent disability from CRIT Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* VII(3), 139-151.
- Maya, I., García, M. y Santoyala, F. (2007). *Estrategias de la intervención psicosocial: casos prácticos*. Pirámide.
- Minisalud. (2018). *Sala situacional de las Personas con Discapacidad PCD*. Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social.
- Narvaez, C., Castañeda, J. y Arenas, J. S. (2019). *Calidad de vida en cuidador primario*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Pujol, M. S. (2019). Programa de Intervención para cuidadores de personas mayores con Esclerosis Múltiple. *Tesis de maestría*. Universidad de Barcelona.
- Salamanca, S., Pérez, J. M., Mosquera, A. y Sanabria, L. (2018). *Programa de promoción y prevención en salud mental y física de cuidadores oncológicos*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Solís, C. y Vidal, A. (2006). Estilos y estrategias de afrontamiento en adolescentes. *Revista de psiquiatría y salud mental Hermilio Valdizan* VII(1), 33-39.
- Uhden, E. (2014). Las actitudes de los cuidadores: Un factor de riesgo de maltrato a los ancianos. *Revista Iberoamericana en educación e investigación en enfermería* 21, 52-66.
- Vázquez, C., Crespo, M. y Ring, J. M. (2003). Estrategias de Afrontamiento. *Medición clínica en psiquiatría y psicología* 31, 425-436.
- Vázquez, M., Soage, Y., Fariña, F., Vázquez, M. y Fariña, F. (2003). Entrenamiento en estrategias de refuerzo del autoconcepto en menores para la adecuada adaptación al proceso de separación. *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación* 10, 185-196.
- Viale, M., González, F., Cáceres, M., Pruvost, M., Miranda, A. L. y Rimoldi, M. F. (2016). Programas de intervención para el manejo del estrés de cuidadores de pacientes con demencia. *Revista Neuropsicología Latinoa*. 8(1), 35-41.

Discursos filosóficos en las universidades públicas mexicanas: Un análisis exploratorio

Ricardo Lindquist Sánchez¹

Rodolfo García Galván²

Universidad Autónoma de Baja California
México

A pesar de la relevancia que adquiere para el desarrollo de las funciones sustantivas, la fundamentación filosófica del ejercicio universitario ha sido históricamente relegada. En este trabajo se explora los discursos filosóficos presentes en las universidades públicas estatales mexicanas, así como el nivel de rigurosidad de su fundamentación. Con este propósito se llevó a cabo un análisis de marcos-esquemas, centrado en categorías y empleando como insumos los modelos educativos desarrollados por las universidades.

¹ Licenciado en Ciencias de la Educación y Maestrante en Ciencias Educativas.

Contacto: rlindquist@uabc.edu.mx

² Licenciado en economía, Maestro en estudios urbanos y regionales, y Doctor en ciencias económicas.

Contacto: rodocec@yahoo.com.mx

1. INTRODUCCIÓN

Aunque algunas fueron fundadas en el periodo colonial, la mayor parte de las universidades públicas mexicanas se establecieron como instituciones autónomas a lo largo del siglo XX. Desde entonces, han configurado un cuerpo de principios con el que buscan dar respuesta a las demandas de su tiempo. Si bien estos discursos son distintos entre sí, todos parecen articularse en torno al desarrollo de tres funciones sustantivas: la enseñanza, la investigación y la colaboración con el entorno.

En un sentido amplio, las tres funciones sustantivas explican aquello que la universidad realizará, pero no el enfoque con el que habrá de hacerlo. Por esta razón, las universidades diseñan *modelos educativos*, en los que se *concretan los paradigmas educativos que la institución profesa, sirviendo como referencia para todas sus funciones* (Tünnerman, 2008).

A través del modelo educativo, la universidad transita hacia un corpus teórico que, hipotéticamente, sustentará cada una de sus actividades. No obstante, como se verá en este trabajo, los modelos educativos se han convertido en documentos de carácter operativo, en los que no figura una discusión rigurosa y profunda sobre los componentes teóricos del quehacer universitario.

A manera de hipótesis, esto puede obedecer a la marginalidad del análisis filosófico de la universidad en la agenda investigativa. Por una parte, se cuenta con trabajos como los de Latapí (1998), Tanck (2010) y Yurén (1994), en los que se presenta una visión panorámica sobre las tendencias teóricas que han influido al sistema educativo mexicano, pero que poseen un sesgo hacia el nivel básico. Por otro lado, se tienen aportes como los de Martínez y Garrido (2017) y Ocegueda et al. (2014), que presentan un análisis cuantitativo sobre los desafíos de la universidad sin detenerse en una revisión teórica sobre los mismos.

En alcance a lo anterior, el presente estudio busca reconocer los discursos y orientaciones filosóficas vigentes en las universidades públicas mexicanas. Sobre todo, se pretende identificar la lógica de construcción de estos discursos, así como su nivel de claridad conceptual y la compatibilidad teórica entre cada uno de sus componentes.

Una de las primeras problemáticas observables en el discurso filosófico de las universidades consiste en la polisemia de lo filosófico. En efecto, términos como *filosofía institucional* o *misión y visión*, provenientes del campo administrativo, son tratados como equivalentes a una justificación filosófica (González, 2018).

En este punto, valdría preguntarse si el hecho de contar con una filosofía institucional o una misión y visión, garantiza que las universidades posean un sustento filosófico. Desde nuestra perspectiva, la respuesta tiende a ser negativa. Conceptos como *filosofía institucional* o *misión y visión* fungen, más bien, como lineamientos de planeación, pero no como elementos teóricos en los que pueda sustentarse la compleja tarea de las universidades.

En el caso de la filosofía institucional, Guio (2019) la define como *el conjunto de valores, prácticas y creencias que son la razón de ser de la empresa, y que representan su compromiso ante la sociedad*. Como se observa, la filosofía institucional emerge de una discusión administrativa, haciendo énfasis en el ámbito empresarial. Desde luego, universidades y empresas son organizaciones³, pero sus fines son diametralmente distintos. La empresa, por un lado, busca un orden organizativo que le permita incrementar sus beneficios lucrativos, mientras que la universidad desarrolla un conjunto complejo de actividades formativas, investigativas y sociales.

Lo mismo ocurre con conceptos como *misión y visión*, que se han convertido en ejes rectores de la planeación universitaria. De forma general, la misión puede entenderse como el propósito sintético de una organización, mientras que la visión proyecta esta misión hacia el mediano o largo plazo (Nava, 2013). Aquí nos gustaría hacer énfasis en el adjetivo *sintético*, ya que una postura filosófica rigurosa trasciende el diseño de un resumen organizativo.

³ Incluso, ambas pueden comprenderse como organizaciones que dependen del conocimiento.

No está de más señalar que la crítica no es hacia la generación y seguimiento de una misión, visión o filosofía institucional. Desde luego, las universidades, como organizaciones complejas, precisan de directrices para cumplir sus metas y objetivos. Nuestra crítica, más bien, es hacia la tendencia por equiparar estos términos con la fundamentación filosófica del ejercicio universitario.

El segundo reto, todavía más complejo, radica en la rigurosidad de los discursos filosóficos. Ahora, el desafío no es solo identificar si las universidades cuentan con una fundamentación filosófica —o si se reemplaza por un componente administrativo—, sino analizar su nivel de rigurosidad.

Aunque no se enuncia como regla, Cabanchik (2010) señala que la rigurosidad de una postura filosófica puede cotejarse a través de su método. Siguiendo esta lógica, el método de una indagación filosófica consiste en elucidar la estructura argumentativa con la que se llegó a una conclusión. De esta forma, no basta con que las universidades se adhieran a una corriente filosófica, sino que es preciso mostrar *cómo se llegó* a esta conclusión y por qué se prefiere una corriente sobre otra.

Lo que se espera, entonces, es que la filosofía universitaria trascienda una descripción sintética de las prioridades organizativas, y que haga explícita la corriente filosófica a la que se adhiere, así como el método con el que llegó a esta decisión. En efecto, estos criterios pueden resultar demandantes, pero, sin estos, la universidad puede convertirse en una organización eficiente, incluso con indicadores óptimos de desempeño, pero sin un sustento pertinente que guíe sus acciones.

2. MÉTODO

Con el propósito de caracterizar y analizar la rigurosidad de los discursos filosóficos de las universidades públicas mexicanas, se llevó a cabo una revisión de sus modelos educativos. Aunque los efectos de una postura filosófica pueden estar también implícitos en otros documentos normativos, como las leyes orgánicas y los estatutos académicos, consideramos que, dadas sus características, los modelos educativos posibilitan una descripción más detallada sobre los fundamentos filosóficos a los que se adscriben las universidades. La pregunta orientadora del análisis fue: *¿qué posturas filosóficas predominan en los discursos universitarios y cuál es su nivel de rigurosidad?*

En total, fueron consideradas las 35 universidades públicas estatales⁴ reconocidas por la subsecretaría de educación superior de la Secretaría de Educación Pública SEP de México:

1. Universidad Autónoma de Aguascalientes UAA
2. Universidad Autónoma de Baja California UABC
3. Universidad Autónoma de Baja California Sur UABCS
4. Universidad Autónoma de Campeche UAC
5. Universidad Autónoma del Carmen UNACAR
6. Universidad Autónoma de Coahuila UDEC
7. Universidad de Colima UCOL
8. Universidad Autónoma de Chiapas UNACH
9. Universidad Autónoma de Chihuahua UACH
10. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez UACJ
11. Universidad Juárez del Estado de Durango UJED
12. Universidad de Guanajuato UGTO
13. Universidad Autónoma de Guerrero UAGRO
14. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo UAEH
15. Universidad de Guadalajara UDG
16. Universidad Autónoma del Estado de México UAEMEX
17. Universidad de Michoacana de San Nicolás Hidalgo UAMSNH
18. Universidad Autónoma del Estado de Morelos UAEM

⁴ Se aborda a las universidades estatales en la medida en que las nacionales, dada su antigüedad y arraigo, cuentan con una visión institucional consolidada.

19. Universidad Autónoma de Nayarit UAN
20. Universidad Autónoma de Nuevo León UANL
21. Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca UABJO
22. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla BUAP
23. Universidad Autónoma de Querétaro UAQ
24. Universidad de Quintana Roo UQROO
25. Universidad Autónoma de San Luis Potosí UASLP
26. Universidad Autónoma de Sinaloa UAS
27. Universidad Autónoma de Occidente UAO
28. Universidad de Sonora UNISON
29. Instituto Tecnológico de Sonora ITSON
30. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco UJAT
31. Universidad Autónoma de Tamaulipas UAT
32. Universidad Autónoma de Tlaxcala UATx
33. Universidad Veracruzana UV
34. Universidad Autónoma de Yucatán UADY
35. Universidad Autónoma de Zacatecas UAZ

Con relación a la búsqueda, los modelos educativos fueron recuperados de los portales electrónicos de las universidades. El criterio de elección fue cronológico, seleccionando los modelos cuyo diseño fuera más reciente. Sin embargo, no fue posible identificar los modelos educativos de las siguientes instituciones:

1. Universidad Veracruzana UV
2. Universidad Autónoma de Tlaxcala UATx
3. Universidad de Quintana Roo UQROO
4. Universidad Autónoma del Estado de México UAEMEX

En cuanto al análisis, éste fue de alcance exploratorio⁵ y tomó como paradigma el Análisis Crítico del Discurso ACD, entendido como una orientación crítica que *se enfoca en problemas sociales y cuestiones políticas, en lugar de solo estudiar las estructuras discursivas fuera de sus contextos sociales y políticos* (Van-Dijk, 2016).

En concreto, se trató de un análisis de marcos-esquemas AM centrado en *categorías*. Siguiendo la propuesta clásica de Schon y Rein (1994), este tipo de análisis se concentra en marcos o relatos que son afines a un conjunto de actores o sujetos. Los elementos convencionales de análisis en este tipo de acercamientos son: 1) la distinción del actor que enuncia (*quién*), 2) los vehículos simbólicos clave (*cómo*), 3) el contenido a identificar (*qué*), y 4) la reflexión o intervención sobre el propio marco discursivo. En este caso, se llevó a cabo un análisis del marco retórico y no del marco de acción, por lo que se enfatiza la rigurosidad de las aspiraciones y no la evaluación de las prácticas políticas (Urrea et al., 2013).

Asimismo, se trató de un análisis categorial, en tanto que se examinaron los tipos de interconexión discursiva entre conceptos. Las categorías se establecieron a priori, en un acercamiento deductivo, y fueron las siguientes: 1) postura filosófica a la que se adscribe la universidad, y 2) rigurosidad de la fundamentación/elección filosófica. De forma preliminar, y a reserva de los discursos emergentes, definimos *postura filosófica* como una fundamentación del sentido universitario sustentada en teorías, corrientes o escuelas de pensamiento. Al hablar de posturas, buscamos postergar una discusión conceptual aún no resuelta en el campo de la filosofía, y que implica la distinción entre teoría, corriente, sistema y método.

A su vez, entendemos la categoría de *rigurosidad* como el carácter metódico de la postura filosófica, haciendo énfasis en la lógica argumentativa que subyace a esta elección (Cabanchik, 2010). No está de más señalar que, a diferencia de la ciencia, la filosofía no cuenta con un método homogéneo y estandarizado.

⁵ Los datos en este trabajo representan un avance preliminar de la tesis de posgrado intitulada: *Fundamentación de un marco filosófico para las universidades públicas mexicanas: Elementos para una transformación ética, epistemológica y política a partir del otro*.

Por esta razón, se espera identificar procesos metódicos de argumentación, y no necesariamente el seguimiento de un conjunto de pasos predefinidos en la teoría.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Características de las universidades

De forma breve, en este sub-apartado presentamos un primer análisis comparativo entre las universidades públicas estatales, a partir de sus características contextuales. Si bien escapa a la dimensión teórica, consideramos que este análisis permitirá dimensionar las condiciones particulares desde las que cada universidad hace frente a los desafíos sociales, económicos y políticos del presente.

Como se observa en la Tabla 1, aunque comparten una figura jurídica, las universidades públicas estatales mexicanas poseen claras diferencias contextuales. Primero, es posible identificar una distribución asimétrica en la población estudiantil, ya que universidades como la de Sinaloa podrían albergar más de 20 veces la matrícula de sus pares en Campeche (Universidad Autónoma del Carmen) y Baja California Sur.

Tabla 1. Población estudiantil de las universidades públicas estatales

Universidad	Población estudiantil	Año de fundación
Universidad de Guadalajara*	291,600	1972
Universidad Autónoma de Nuevo León*	206,640	1933
Universidad Autónoma de Sinaloa	168,296	1965
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*	105,722	1587
Universidad Autónoma de Guerrero*	89,024	1960
Universidad Autónoma del Estado de México*	88,935	1956
Universidad Veracruzana	88,388	1944
Universidad Autónoma de Baja California	65,921	1957
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*	64,490	1961
Universidad Autónoma de Zacatecas	54,928	1968
Universidad de Quintana Roo	52,210	1991
Universidad Autónoma del Estado de Morelos*	43,255	1953
Universidad de Guanajuato*	42,255	1945
Universidad Autónoma de Coahuila*	38,300	1957
Universidad Autónoma de Tamaulipas*	37,355	1950
Universidad de Sonora	33,919	1942
Universidad Autónoma de Tlaxcala	33,030	1976
Universidad Autónoma de San Luis Potosí*	32,775	1859
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	30,579	1973
Universidad Autónoma de Querétaro	30,498	1991
Universidad Autónoma de Nayarit*	29,627	1969
Universidad Autónoma de Chihuahua	29,180	1954
Universidad Autónoma de Colima	28,462	1940
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	26,525	1958
Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca	26,462	1827
Universidad Autónoma de Yucatán*	25,527	1922
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*	20,573	1540
Universidad Autónoma de Chiapas	20,488	1974
Universidad Autónoma de Aguascalientes*	20,144	1973
Universidad Juárez del Estado de Durango	20,120	1957
Instituto Tecnológico de Sonora	17,173	1955
Universidad Autónoma de Campeche	14,692	1965
Universidad Autónoma de Occidente	10,915	1974
Universidad Autónoma del Carmen	7,881	1967
Universidad Autónoma de Baja California Sur	7,450	1975

*Ofrecen formación en el nivel medio superior, la matrícula de dicho nivel también se incluye en la población estudiantil.

Una segunda diferencia radica en la diversidad de los focos formativos. En el caso de universidades como las de Guadalajara, Nuevo León, Puebla y Guerrero, entre otras, los modelos educativos trascienden el nivel profesional y establecen lineamientos para la formación en educación media superior. En estos últimos, se contemplan elementos para el logro de competencias vivenciales, o bien, en términos de Delors (1994), competencias centradas en aprender a vivir juntos.

Además de la población estudiantil y el alcance formativo, las universidades mexicanas se distinguen por su antigüedad. México tiene universidades que fueron establecidas durante el periodo colonial, como las de Puebla (1587) y Michoacán (1540); durante la etapa de Independencia-Reforma, como las de Oaxaca (1827) y San Luis Potosí (1859); y finalmente un grupo nutrido de universidades que se erigieron a lo largo del siglo XX. Algunas incluso con apenas treinta años de antigüedad.

En principio, esto visibiliza las diferencias entre la tradición y el nivel de arraigo, que podrían reflejarse en la identidad institucional y el pronunciamento filosófico. De esta manera, retomando a Pearse (2014), se esperaría que las universidades coloniales y reformistas posean un cuerpo filosófico de mayor madurez, mientras que las universidades más jóvenes experimenten un proceso de consolidación.

Finalmente, es necesario comparar el estado actual de las universidades mexicanas a partir de la disponibilidad de recursos financieros con los que cuentan. Con este propósito, como se observa en las Figuras 1 y 2, realizamos un comparativo entre el gasto por estudiante considerado en cada universidad. Este cálculo es producto de la división del presupuesto entre la población estudiantil.

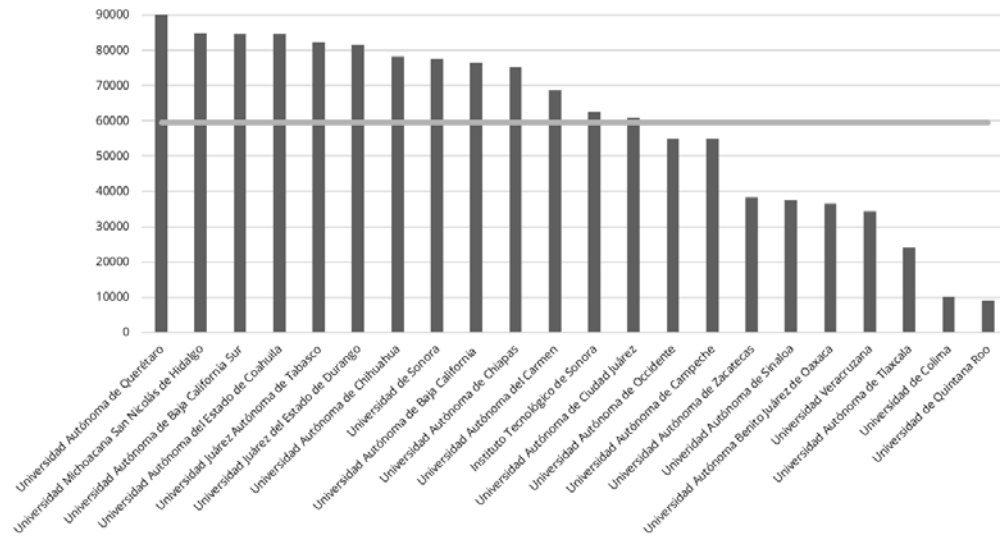


Figura 1. Gasto por estudiante en las universidades públicas estatales (solo oferta superior). Con el propósito de hacer un análisis equitativo, se descartaron las universidades cuya población estudiantil está también conformada por estudiantes de educación media superior

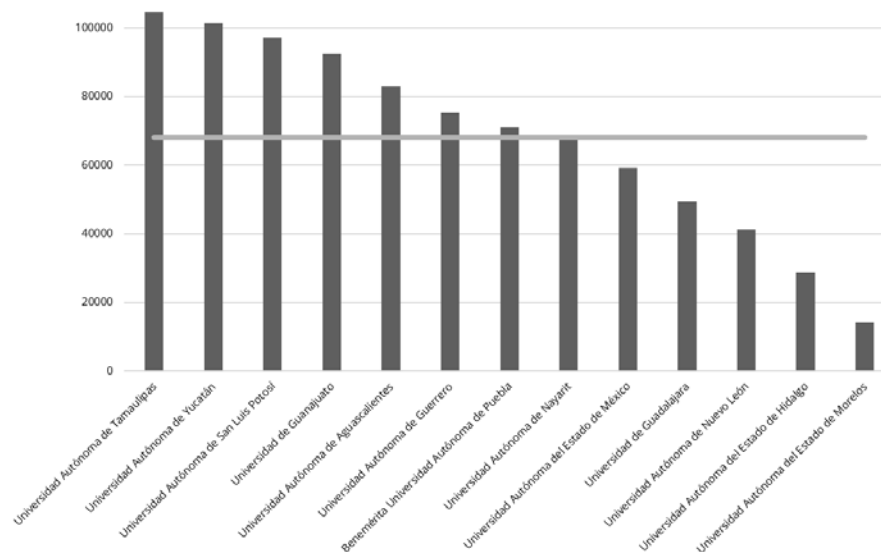


Figura 2. Gasto por estudiante en las universidades públicas estatales (con oferta en educación media superior). Solo se comparan universidades con la misma condición, en tanto que ofertan educación media superior

En promedio, las universidades estatales cuentan con un gasto por estudiante de 59,550 pesos mexicanos anuales, equivalente a 2,966 dólares americanos. Sin embargo, universidades como la de Tamaulipas,

Yucatán y San Luis Potosí sobrepasan el promedio entre un 50 y 80%, mientras que Universidades como las de Morelos, Colima y Quintana Roo cuentan con un gasto por alumno menor a 15 mil pesos. Como lo ha documentado Rojo (2021), la asimetría en la disponibilidad de recursos, aunado al déficit de la inversión en ciencia y educación superior, puede comprometer el cumplimiento de las metas educativas.

Si bien el presente análisis no busca evaluar la puesta en práctica de los discursos, ni el nivel de cumplimiento de los documentos organizativos, consideramos indispensable reconocer la bonanza o austeridad económica, según sea el caso, como factor contextual del desarrollo de las actividades universitarias.

3.2 Posturas filosóficas en el discurso universitario

3.2.1 Tipo de razonamiento

Inicialmente, se identificó que los 31 documentos analizados poseen dos tipos de estructuras. La primera de ellas inicia con una contextualización internacional, nacional y regional, y culmina con una descripción detallada de las implicaciones formativas para el modelo educativo. Este es el caso de los modelos de la Universidad Autónoma de Nuevo León UANL, la Universidad Autónoma de Sinaloa UAS y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí UASLP, por citar algunos ejemplos.

El segundo tipo de estructura, en cambio, inicia con una contextualización internacional, nacional y regional, se detiene en una exposición amplia sobre el origen histórico de la institución, y posteriormente expone los elementos teóricos y procedimentales de su visión formativa. En esta categoría se encuentran la Universidad Autónoma de Baja California, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla BUAP y la Universidad Autónoma de Guerrero UAGRO, entre otras.

A partir de lo anterior, ya es posible observar un primer rasgo de la lógica argumentativa: el tipo de razonamiento. Hablamos de un razonamiento deductivo en aquellos modelos que inician con un nivel complejo de abstracción y culminan con lineamientos prácticos; y de un razonamiento inductivo en los modelos que inician con las particularidades, para justificar después las abstracciones teóricas (Solas et al., 2013). En específico, llama la atención el modelo de la Universidad Autónoma de Chihuahua UACH, el cual inicia con un extenso bloque teórico en el que se exponen los fundamentos filosóficos y epistemológicos que rigen la institución. Este modelo destaca por el nivel de abstracción considerado en sus *aspectos filosóficos*, ya que se trata, esencialmente, de una discusión axiológica y teleológica.

En contraparte, se tienen modelos como el de la BUAP en el que se inicia con la descripción de los perfiles de ingreso y egreso que se tienen considerados para los estudiantes de bachillerato, licenciatura y posgrado. Con esto, parece establecerse una relación de dependencia, en donde los talantes teóricos deben ajustarse a los perfiles formativos, y no a la inversa.

Como se ha mencionado, es necesario resaltar la particularidad a la que se enfrentan 15 de las 35 universidades públicas estatales, en donde, además del nivel superior, se forma a estudiantes de bachillerato. Este es el caso de las universidades de Nuevo León, Guanajuato, Estado de México, Morelos, Coahuila, Yucatán, Tamaulipas, Guerrero, Aguascalientes, San Nicolás de Hidalgo, Nayarit, Guadalajara, Puebla, San Luis Potosí e Hidalgo.

Consideramos que la situación de las universidades mencionadas es aún más compleja, en la medida en que existe un componente formativo de mayor responsabilidad, por lo que podría esperarse que sus fundamentos filosóficos se encuentren concentrados en la docencia, y en menor medida en la investigación y colaboración con el entorno.

3.2.2 Posturas filosóficas

Uno de los rasgos que llaman la atención es que son pocos los modelos que dedican un apartado para definir las características, alcances y atributos de un modelo educativo. Entre ellos, nos parece innovadora

la propuesta de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en donde se define el modelo educativo como una *carta de presentación*, una *carta de navegación* y una *carta de compromiso*.

En este sentido, se entiende que el modelo educativo es una *carta de presentación* en la medida que posibilita a los aspirantes y la sociedad conocer la postura pedagógica y formativa de la universidad. Una *carta de navegación*, en tanto que funge como una ruta interna para que la comunidad universitaria tome decisiones a partir de su dinámica particular. Finalmente, una *carta compromiso*, ya que *describe los objetivos formativos y las estrategias sobre los que la universidad rendirá cuenta a sus alumnos y a la sociedad a la que se debe* (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2015).

Con relación a las posturas filosóficas, como se expone en la Tabla 2, es posible observar el predominio de visiones humanistas. En este caso, asociamos al humanismo con una *postura filosófica sustantiva*, ya que opera como un marco categorial amplio en el que las universidades agrupan sus principios. Además, identificamos una *postura filosófica adjetiva*, que, si bien no se enuncia como filosofía primera, caracteriza el enfoque con el que se interpreta el humanismo.

Tabla 2. Discursos filosóficos presentes en las universidades públicas mexicanas

Universidad	Postura filosófica sustantiva	Postura filosófica adjetiva o de soporte
	Humanismo	Humanismo crítico
Universidad de Guadalajara	X	
Universidad Autónoma de Nuevo León	X	
Universidad Autónoma de Sinaloa	X	
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	X	X
Universidad Autónoma de Guerrero	X	X
Universidad Autónoma de Baja California	X	
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	X	
Universidad Autónoma de Zacatecas	X	
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	X	X
Universidad de Guanajuato	X	
Universidad Autónoma de Coahuila	X	
Universidad Autónoma de Tamaulipas	X	
Universidad de Sonora	X	
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	X	
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	X	X
Universidad Autónoma de Querétaro	X	
Universidad Autónoma de Nayarit	X	
Universidad Autónoma de Chihuahua	X	
Universidad Autónoma de Colima	X	
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	X	
Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca	X	X
Universidad Autónoma de Yucatán	X	
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	X	
Universidad Autónoma de Chiapas	X	
Universidad Autónoma de Aguascalientes	X	
Universidad Juárez del Estado de Durango	X	
Instituto Tecnológico de Sonora	X	
Universidad Autónoma de Campeche	X	
Universidad Autónoma de Occidente	X	
Universidad Autónoma del Carmen	X	
Universidad Autónoma de Baja California Sur	X	X

Aunque comparten una base humanista, es posible identificar dos tradiciones implícitas: el humanismo clásico y el humanismo crítico. En torno al humanismo clásico, podrían agruparse discursos asociados a la realización y el desarrollo pleno de los individuos, con un enfoque principalmente psicologicista (Pinn, 2016; Soudien, 2018). Por su parte, el humanismo crítico apunta hacia la participación del individuo en la transformación de su entorno social (Chatelier, 2017; Patiño, 2014).

Al margen de los enfoques, el eje común de ambos tipos de humanismos es la centralidad del sujeto. Esto es visible en la definición expuesta por algunas instituciones, en donde el argumento de *poner al estudiante al centro* de las actividades universitarias es recurrente:

El Humanismo no es una propiedad o cualidad que se presente ocasionalmente; es, en cambio, una forma de ser que implica mirar al ser humano como eje central de los procesos e impulsar un proceso formativo continuo durante toda la vida de una persona (Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2017).

Siendo el humanismo una de las piezas clave en el modelo educativo de nuestra Casa de Estudios, coincidimos en que los objetivos de la educación con fundamentos en la perspectiva humanista se orientan a centrarse en el crecimiento personal de los estudiantes y, con ello, ayudar a que desarrollen sus potencialidades (Universidad de Colima, 2014).

En cuanto al humanismo crítico, la centralidad del sujeto se integra con su participación en la mejora y la transformación social. En total, son seis las universidades que adoptan de forma abierta este tipo de humanismo. Algunas, incluso, como la BUAP, esbozan una agenda, en donde se procura *la atención de desafíos sociales, económicos, políticos y ecológicos* (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2007).

Es necesario puntualizar que el humanismo crítico suele proponer la transformación del ámbito *exterior* de la universidad. Como fue señalado, esto atañe a los rubros económicos, sociales, políticos y ecológicos, entre otros. Sin embargo, ninguno de los modelos educativos reconoce un componente de *autocrítica*; esto es, un humanismo como el sugerido por Chatelier (2017) y Said (1971), cuyo compromiso con la crítica es de tal magnitud que posibilita la crítica fundamentada hacia el propio humanismo.

Además, destaca que no se reflexione en ningún momento acerca de la transformación *interna* de la universidad. Esto podría explicarse a partir de los aportes de Vallaes (2014), quien advierte que las universidades latinoamericanas suelen establecerse como espacios aislados y *neutros*, que pretenden reformar sin estar dispuestos a ser reformados.

En este sentido, el interés de las vertientes críticas por *transformar* podría ponerse en duda. Para autores como Hurtado (2013), un humanismo comprometido con el cambio social es más un *humanismo social* que un *humanismo crítico*. Esto último en la medida en que la agenda crítica y transformativa está limitada al espectro social, como objeto discursivo, y no necesariamente es una vocación universal por la transformación de los escenarios de opresión.

Siguiendo la propuesta metodológica de marcos retóricos (Urra et al., 2013), los modelos educativos no presentan complicaciones al enunciar el *quién*, ya que se hace una referencia permanente al quehacer de *la universidad*.⁶ Tampoco existe disenso en cuanto al *qué*, ya que el discurso del humanismo como fundamento filosófico parece consolidado. Sin embargo, como se aprecia en la Tabla 3, el panorama se complejiza al identificar los vehículos simbólicos. En este rubro, se aprecia que la caracterización sobre los elementos nodales del humanismo es polisémica.

Desde luego, la dispersión conceptual sobre el humanismo es también un problema de alcances filosóficos. Hasta el momento, no existe consenso al definir los límites e implicaciones del humanismo. En todo caso, como señala Chatelier (2017), lo que parece claro es que el humanismo sitúa al bienestar humano como *fin último* de la acción del hombre; y, por otro lado, que más allá de un humanismo, existen *prácticas humanistas*.

Como se aprecia en la Tabla 3, los vehículos simbólicos sobre el humanismo son diversos. No obstante, se corrobora que los factores explícitos atañen a elementos centrados en el sujeto, de índole psicologista, como el desarrollo personal, la libertad y el carácter individual del estudiante. Pero también a componentes que se encuentran concentrados en la transformación social, como son la justicia, la equidad, la democracia, la solidaridad y la historicidad.

Asimismo, se corrobora la ausencia de un elemento autocrítico, en donde se observe la participación del sujeto en el proceso transformativo de las universidades. Además, destaca el papel *pasivo* del humanismo, en donde el estudiante será *formado* (externamente) y se convertirá en un tipo de sujeto tras someterse a

⁶ Si se deseara conocer a detalle la delegación de funciones y actividades, sería preciso extraer información de documentos operativos, como los planes de desarrollo institucional.

un proceso formativo. Con esto, como lo señala Chatelier (2017), se aprecia una deficiencia común del sentido humanista, en donde el humanismo *se deposita* en el sujeto y se distancia de los atributos de libertad y autonomía.

Tabla 3. Posturas filosóficas en las universidades públicas mexicanas

Universidad	Definición de humanismo (qué)	Vehículos simbólicos (cómo)
Universidad Autónoma de Aguascalientes	En esta comprensión humanista, la persona se encuentra en un proceso de permanente construcción a través de la reflexión; la conciencia de sí misma, del otro y de su entorno natural y social; el diálogo abierto y crítico y la responsabilidad de su pensamiento y acción. Se trata de un ser constituido por distintas dimensiones: biológica (agrupa todo lo corporal y los sentidos; en general coincide con los demás seres vivos y se somete a las leyes naturales); psicológica (los sentimientos y las emociones, lo intelectual, lo racional, lo referente a la voluntad, la libertad y las decisiones); social (los grupos humanos, la cultura, la política, la educación, la economía, las instituciones, la ciencia y la tecnología; ético-moral (normas de comportamiento para el bien y el mal, sus fundamentos, sus valores, los ideales de vida, la conciencia moral, la voluntad para tomar decisiones libres); trascendente (la vivencia y significados de las grandes interrogantes del ser, la vivencia de los grandes valores espirituales, afectivos, artísticos y éticos) (Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2016)	-Conciencia -Entorno natural y social -Componente biológico (cuerpo) -Componente cognitivo (mente) -Ética
Universidad Autónoma de Baja California	Asimismo, los humanistas contemporáneos aspiran a una nación humana universal, comprenden globalmente al mundo y actúan regionalmente; no desean un mundo uniforme, sino que reconocen la riqueza de la diversidad; buscan el mejoramiento de la vida; luchan contra la discriminación, el fanatismo, la violencia y la explotación. En un mundo global se debe propiciar una acción plural y convergente donde exista un humanismo capaz de impulsar la recomposición de las fuerzas sociales (Universidad Autónoma de Baja California, 2018).	-Universalidad -Cambio regional -Diversidad -Transformación de sí mismo
Universidad Autónoma de Chiapas	En la Universidad se concibe al ser humano desde una perspectiva socio histórica, capaz de interpretar y dar sentido a su existencia, transformar tanto al entorno como a sí mismo, desarrollar su potencial, asumir una actitud crítica, valorar su diversidad y reconocer sus múltiples dimensiones: biológica, cognitiva, social, histórica, afectiva y axiológica, que le permiten vincularse con los objetos y procesos de su entorno material, cultural y ambiental. A partir de estos planteamientos, se asume que la educación universitaria es un espacio propicio para la formación humanista integral, que apunta al despliegue de una ciudadanía consciente y activa. En este sentido, ofrecen la posibilidad de inferir que la ciudadanía tiene un sentido transformador y generador de oportunidades para el desarrollo personal y social de los individuos (Universidad Autónoma de Chiapas).	-Historia -Transformación del entorno -Transformación de sí mismo -Sentido de la existencia -Diversidad -Componente biológico (cuerpo) -Componente cognitivo (mente) -Ética -Ciudadanía y civismo
Universidad Autónoma de Coahuila	El Humanismo, en su enfoque educativo, se refiere al estudiante como un ente individual, único, diferente de los demás. Con este enfoque se busca proporcionar las mejores condiciones para que cada uno de los estudiantes alcance un desarrollo completo (Universidad Autónoma de Coahuila, 2015).	-Desarrollo -Individualidad -Singularidad
Universidad de Colima	La perspectiva, o enfoque humanista como principio rector del modelo, ofrece amplias posibilidades para abordar las exigencias sociales, culturales y materiales de los tiempos actuales, con el predominio de la acción sobre la contemplación, el énfasis en los valores de la pluralidad, el interés en los acontecimientos humanos y la disposición a participar en lo común; además destaca la importancia concedida a la educación, como lo ha expresado Savater: <i>no hay humanista sin compromiso social ya que “el humanismo estriba en la convicción de que el hombre es inventor y garante de los valores; de que el individuo es el sujeto de la opción moral, basada en la libertad e inspirada por la razón</i> , lo que implica una confianza básica en los seres humanos, como personas que construyen su propio libreto (Universidad de Colima, 2014).	-Transformación del entorno -Diversidad -Ética -Moral
Universidad Juárez del Estado de Durango	El Modelo Educativo UJED 2020 se enfoca de manera determinante hacia la formación integral del estudiante, más allá de la dimensión cognitiva y práctica de las ciencias y disciplinas, se perfila hacia la dimensión del ser con competencias sociales, cívicas y ciudadanas, tal y como corresponde	-Formación integral -Componente social -Ciudadanía y civismo -Justicia

	a una formación humanista, con el fin único de formar profesionales íntegros y socialmente responsables, que promuevan la justicia, la equidad, el respeto por los valores humanos, visualizadas mediante las dimensiones que se describen a continuación (Universidad Juárez del Estado de Durango, 2020).	-Equidad -Respeto
Universidad Autónoma de Guerrero	La concepción filosófica en la que se fundamenta el Modelo Educativo es el humanismo crítico. Una concepción que no es estática sino en permanente construcción y reelaboración de acuerdo al desarrollo de la ciencia, las humanidades y el arte (Universidad Autónoma de Guerrero, 2013).	-Transformación del entorno
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Las actividades universitarias se realizarán con un sentido ético que las oriente a preservar la condición humana y a dignificar la vida. Favorecerán el desarrollo de las personas en sus dimensiones profesional, personal y ciudadana, así como su creatividad y su sensibilidad. Contribuirán a la conservación y mejoramiento del entorno natural, social y cultural (Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2010).	-Ética -Dignificación de la vida -Desarrollo individual -Desarrollo profesional -Ciudadanía y civismo -Transformación del entorno -Entorno natural (medio ambiente)
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	El humanismo es una corriente filosófica que se ocupa de entender la naturaleza y existencia humana. Considerando el momento histórico del cual surge es un modelo anti-autoritario, una matriz disciplinara no monolítica. Propone una comprensión holística del ser humano, se entiende que éste es un ser dinámico, en evolución constante y está interrelacionado con otros seres humanos (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2007).	-Historia -Anti-autoritarismo
Universidad Autónoma de Querétaro	La filosofía a la que se adscribe el MEU es el Humanismo, el cual constituye la base de la formación integral del estudiante y el principio fundamental del quehacer universitario. El Humanismo no es una propiedad o cualidad que se presente ocasionalmente; es, en cambio, una forma de ser que implica mirar al ser humano como eje central de los procesos e impulsar un proceso formativo continuo durante toda la vida de una persona. El Humanismo, a partir de su elemento principal, la auto-conciencia, promueve el reconocimiento de valores importantes para la vida de los individuos, tanto en sociedad como consigo mismos. Así, desde esta perspectiva, se incentiva la mejora personal y conjunta (Universidad Autónoma de Querétaro, 2017).	-Formación integral -Ética y valores -Transformación social -Mejora personal y conjunta
Universidad Autónoma de Yucatán	El MEFI coloca en el centro la formación de la persona como núcleo de su preocupación y justificación de su quehacer; promueve el crecimiento y desarrollo de seres humanos autónomos, libres, responsables y solidarios, de manera que los egresados posean una actitud responsable ante el ambiente y la sociedad, y contribuyan a la construcción de una sociedad más justa y democrática (Universidad Autónoma de Yucatán, 2014).	-Desarrollo personal -Libertad -Responsabilidad -Solidaridad -Justicia -Democracia

3.2.3 Rigurosidad filosófica

En el rubro de la rigurosidad filosófica, retomando la visión de Cabanchik (2010), los modelos educativos no brindan una lógica homogénea de argumentación. Por una parte, un grupo nutrido de universidades, como las de Baja California, Sinaloa, Puebla y Guadalajara, entre otras, parten de una lógica centrada en los desafíos contextuales. En consecuencia, el humanismo emerge como una propuesta pertinente ante los retos sociales, con dos posibles acepciones.

La primera acepción, o lógica discursiva, es la del humanismo clásico. En ésta, se forman sujetos éticos, plenos y libres, para que puedan insertarse de forma armónica en el ámbito social. Se trata, en el mediano plazo, de una transformación indirecta, en donde los atributos *insertados* en el sujeto permitirán dar respuesta a los problemas sociales planteados.

En otra postura, visible en universidades como las de Querétaro, Guerrero y Ciudad Juárez, se piensa en una transformación directa por parte del estudiante. De esta manera, el humanismo crítico responde a través de mecanismos participativos orientados a la transformación social.

Una tercera postura, que puede reconocerse en casos como el de la Universidad de Yucatán y Sonora, argumenta que la concepción humanista obedece a tendencias y escenarios globales. Así, el humanismo se

retoma como consecuencia de los casos de éxito reportados en otros países —principalmente europeos o anglosajones— o bien, a partir de los lineamientos establecidos por organismos internacionales.

A pesar de la identificación de los orígenes, es necesario señalar que, por regla general, los modelos educativos no presentan una lógica argumentativa rigurosa. Primero, el apartado filosófico suele ser reducido y, por lo tanto, omite una discusión sólida sobre las raíces ontológicas en las que se sustenta el humanismo. Por otra parte, no se aprecia un análisis comparativo, en el que se haga visible las fortalezas del humanismo frente a otras posturas filosóficas. Finalmente, tampoco se hacen explícitos los criterios que permitieron reconocer en el humanismo la postura filosófica con más pertinencia social y política.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo ha quedado en evidencia que el humanismo se ha consolidado como la tradición filosófica de mayor arraigo en las universidades mexicanas. De forma general, se observa dos tradiciones humanistas: humanismo clásico, centrado en el desarrollo en plenitud de los individuos, y humanismo crítico, donde se aboga por la participación del sujeto en la transformación política de su entorno.

No obstante, las posturas filosóficas reconocidas suelen ser poco rigurosas, en tanto que carecen de un sustento teórico que permita comprender la lógica de su elección. Como se discutió a lo largo del documento, los apartados en los que se expone una discusión filosófica suelen ser reducidos y eminentemente descriptivos. Esto en contraste con documentos de orden operativo, cuya extensión y claridad sobrepasan a la que se presenta en el apartado filosófico de los modelos educativos.

Finalmente, identificamos tres desafíos para las universidades en el rubro filosófico. El primero de estos, sin duda, radica en la necesidad de dotar de una mayor rigurosidad la elección de una postura filosófica. En efecto, si la fundamentación filosófica de las universidades es débil —o inexistente en algunos casos—, ¿en qué se sustenta entonces el desarrollo de las actividades universitarias? ¿sobre qué lineamientos éticos y/u ontológicos se sostiene?

El segundo desafío, implica dimensionar los límites del humanismo. Como se ha señalado, el humanismo aboga por la centralidad del sujeto, y las universidades han hecho eco de este discurso, ya sea en la vertiente clásica o en la crítica. Sin embargo, al centrarse en el sujeto, es posible reconocer en el humanismo no una fundamentación filosófica de la universidad, sino de la *enseñanza* universitaria. Si bien, como lo apunta Rama (2009), las universidades latinoamericanas son, sobre todo, universidades formadoras, consideramos que la filosofía institucional debe trascender el campo formativo y establecer directrices para el resto de las funciones universitarias, como la investigación y la colaboración con el entorno.

Por último, nos parece que el tercer desafío se encuentra en las limitaciones del humanismo. Aportes como los de Braidotti (2013) y Ferrando (2019) han demostrado que la vanguardia no es ya el humanismo, sino el posthumanismo. Principalmente, se ha criticado el carácter individualista del humanismo convencional —clásico o crítico—, y se aboga por un humanismo que sea capaz de superar los lineamientos moralizantes y la escasa visión del Otro. Desde nuestra perspectiva, las universidades podrían nutrirse de una discusión más amplia y menos antropocéntrica, como la del *humanismo del otro*, propuesta por Mishra (2005) y cuyo sustento filosófico se enraíza a la visión de Levinas (1993, 1977).

REFERENCIAS

- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. (2007). *Modelo Educativo Académico*. BUAP.
- Braidotti, R. (2013). *The Posthuman*. John Wiley y Sons.
- Cabanchik, S. (2010). La cuestión del método en filosofía. En Nudler, O. (Ed.), *Filosofía de la filosofía*. Editorial Trotta.
- Chatelier, S. (2017). Beyond the Humanism/Posthumanism Debate: The Educational Implications of Said's Critical, Humane Praxis. *Educational Theory* 67(6), 657–672.
- Delors, J. (1994). *La educación encierra un tesoro*. Ediciones Unesco.
- Ferrando, F. (2019). *Philosophical Posthumanism*. Bloomsbury Publishing.
- González, J. (2018). Modelo Institucional de Gestión Universitaria. *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales* 86, 259–285.

- Guio, S. (2019). *Filosofía institucional, carga laboral y síndrome de burnout en trabajadores de la Universidad Peruana Unión de Lima*. Universidad Peruana Unión.
- Hurtado, A. (2013). *Humanismo Social*. Ediciones Universidad.
- Latapi, P. (1998). *Un siglo de Educación en México*. Fondo de Cultura Económica.
- Levinas, E. (1993). *Entre nosotros. Ensayos para pensar en otro*. Pre-Textos.
- Levinas, E. (1977). *Totalidad e infinito: ensayo sobre la exterioridad*. Ediciones Sígueme.
- Martínez-Carreño, B. y Garrido-Lastra, M. (2017). Resultados del financiamiento y cobertura en educación superior. Caso: México y Chile. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 4(2), 86–104.
- Mishra, A. (2005). Education as Humanism of the Other. *Educational Philosophy and Theory* 37(6), 833–849.
- Nava, A. (2013). Evolución y cambio de la organización y su administración. *Daena: International Journal of Good Conscience* 8(2), 101–111.
- Ocegueda, J., Miramontes, M. y Moctezuma, P. (2014). La educación superior en México: Un estudio comparativo. *Ciencia Ergo Um* 21(3), 181–192.
- Patiño, H. (2014). El pensamiento crítico como tarea central de la educación humanista. *DIDAC* 64, 3–10.
- Pearse, E. (2014). *University Self-Identity Narratives: a Foucauldian Critical Discourse Analysis*. University of Phoenix.
- Pinn, A. (2016). *What is Humanism and Why Does it Matter?* Routledge.
- Rama, C. (2009). La tendencia a la masificación de la cobertura de la educación superior en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación* 50, 173–195.
- Rojo-Velázquez, G. (2021). Transformación e impacto de la educación superior en Corea y México: Un análisis comparativo. *Educuencia* 6(1), 28–40.
- Said, E. (1971). *Orientalismo*. Editorial Debate.
- Schon, D. y Rein, M. (1994). *Frame reflection. Toward the resolution of intractable policy controversies*. BasicBooks.
- Solas, S., Oller, C. y Ferrari, L. (2013). *Introducción a la filosofía, Argumentación filosófica, Lectura académica*. Universidad Nacional de La Plata.
- Soudien, C. (2018). The significance of new humanism for education and development. *Prospects* 47, 307–320.
- Tanck, D. (2010). *Historia mínima de la educación en México*. El Colegio de México.
- Tünnerman, C. (2008). *Modelos educativos y académicos*. Hispamer.
- Universidad Autónoma de Aguascalientes. (2015). *Modelo Educativo Institucional*. UAA.
- Universidad Autónoma de Baja California. (2018). *Modelo Educativo de la UABC*. UABC.
- Universidad Autónoma de Coahuila. (2015). *Modelo Educativo*. UDEC.
- Universidad Autónoma de Chiapas. (2020). *Modelo Educativo y Académico*. UNACH.
- Universidad Autónoma de Guerrero. (2013). *Modelo Educativo. Hacia una educación de calidad con inclusión social*. UAGRO.
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (2017). *Modelo Universitario de Formación Integral y Estrategias para su realización*. UASLP.
- Universidad Autónoma de Yucatán. (2014). *Modelo Educativo para la Formación Integral*. UADY.
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos. (2010). *Modelo Universitario*. UAEM.
- Universidad Autónoma del Estado de Querétaro. (s.f.). *El Modelo Educativo Universitario*. MEU. UAQ.
- Universidad de Colima. (2014). *Modelo Educativo*. UCOL.
- Universidad Juárez del Estado de Durango. (2020). *Modelo Educativo UJED*. UJED.
- Urra, E., Muñoz, A. y Peña, J. (2013). El análisis del discurso como perspectiva metodológica para investigadores de salud. *Enfermería Universitaria* 10(2), 50–57.
- Vallaes, F. (2014). La responsabilidad social universitaria: un nuevo modelo universitario contra la mercantilización. *Revista Iberoamericana de Educación Superior* 5(12), 105–117.
- Van-Dijk, T. (2016). Análisis Crítico del Discurso. *Revista Austral de Ciencias Sociales* 30, 203–222.
- Yurén, M. (1994). *La filosofía de la educación en México: principios, fines y valores*. Editorial Trillas.

Elementos de política, normativa y prospectiva para un nuevo modelo educativo en México

Rodolfo García Galván¹

Universidad Autónoma de Baja California
México

El objetivo de este trabajo fue comprender las características del sistema educativo mexicano, el cual se encuentra en una etapa de transición con una serie de reformas a sus fundamentos institucionales desde 2019, mismos que se han reflejado en su nueva normativa y en los principales instrumentos de prospectiva. Respecto a la técnica metodológica de colección de información y su revisión se realizó un análisis deductivo de contenido cualitativo derivado de documentos educativos normativos y de prospectiva del ámbito oficial, complementado con literatura nacional e internacional relacionada con la temática. Entre los principales resultados se puede destacar que en la Constitución Política mexicana (reforma al artículo 3º), en la nueva Ley General de Educación, en la nueva Ley General de Educación Superior y en las directrices generales de la Nueva Escuela Mexicana, se encuentran elementos novedosos suficientes para sostener que podrían formar parte de un nuevo modelo educativo más progresista y democrático que ponga atención especial al combate de las desigualdades, las inequidades, la discriminación, la exclusión, la violencia; asimismo, que fomente valores como la solidaridad, la cooperación, el trabajo comunitario, la responsabilidad social y ciudadana, el pensamiento crítico, la apertura y la tolerancia².

¹ Investigador Cátedra Conacyt, adscrito al Instituto de Investigación y Desarrollo Educativo.

Contacto: rodolfo.garcia.galvan@uabc.edu.mx

² Este documento se deriva del trabajo de investigación (en su fase de revisión documental) en torno al proyecto *Diseño del Modelo Educativo de Baja California* (entidad federativa del noroeste de México). El proyecto es auspiciado desde mayo de 2020 por la Secretaría de Educación de la entidad, en colaboración con el Instituto de Investigación y Desarrollo Educativo de la Universidad Autónoma de Baja California.

1. INTRODUCCIÓN

La educación y el aprendizaje son actividades con una larga historia en la evolución de la civilización humana, y aunque de inicio pueden reconocerse como sociales, la realidad es que las instituciones, entendidas como normas que guían, promueven y restringen las acciones e interacciones en sociedad, así como la praxis política inherente, siempre han estado presentes en el desarrollo histórico de los sistemas educativos. Cada uno de los diferentes sistemas y modelos educativos, con diferentes matices, han estado soportados por un entramado institucional-normativo y con elementos de planeación y programación que han trazado las principales tendencias educativas. De este modo, el sistema educativo mexicano también está soportados por estructuras de este tipo.

Con la finalidad de conocer y profundizar la naturaleza y características del sistema mexicano, en este trabajo se hizo un esfuerzo por revisar, analizar y sintetizar aspectos sobresalientes de la normatividad, de los elementos de la planeación estratégica y de la cuestión política que le dan sustento al sistema educativo. También se intentó aportar ideas y alternativas para la construcción de una prospectiva de largo plazo en la política educativa mexicana.

En términos metodológicos, se llevó a cabo un análisis de contenido deductivo en el sentido de que se exploraron, dentro de la literatura existente, las tendencias principales del debate; asimismo, como método de análisis subyace el enfoque del institucionalismo contemporáneo. Posterior, a la realización del análisis y síntesis de la literatura oficial y académica, también se hicieron esfuerzos interpretativos con base en la información disponible.

Los pasos previos fueron relevantes porque en la identificación de elementos para un nuevo modelo educativo se deben tomar en consideración las experiencias descritas en la literatura internacional, la nacional, y de las administraciones educativas del pasado reciente. Esto con la intención de rescatar las virtudes de las experiencias exitosas, pero también de prevenir los errores de los proyectos fallidos.

El documento se encuentra integrado por tres apartados principales. El primero está dedicado a identificar y caracterizar el entramado institucional, así como los principales instrumentos de planeación. En el segundo apartado se identifican, de manera dinámica, los actores que participan o deben participar en los sistemas educativos democráticos. La tercera sección ofrece un ejercicio de prospectiva para identificar los principales elementos de una nueva política educativa en México y, paralelamente, mencionar los atributos necesarios para una educación y un aprendizaje transformadores.

2. ENTRAMADO INSTITUCIONAL, NORMATIVO Y PROSPECTIVO

2.1 Bases institucionales y de normativa

Todas las interacciones entre los individuos de una sociedad están basadas en instituciones de distinto orden y jerarquía –sean éstas formales o informales. Las formales surgen de largos procesos de deliberación política en los que intervienen inherentemente mecanismos como el diálogo permanente y democrático, la negociación de los intereses de los actores participantes, la concertación y el logro de acuerdos mutuamente beneficiosos. El desarrollo pleno de estos mecanismos es parte de la naturaleza de un sistema político democrático. En consecuencia, el despliegue de los procesos democráticos se ve reflejado en la construcción de un entramado político-normativo que rige la vida en sociedad.

En los estudios institucionales esto se conoce como el establecimiento de las reglas del juego, las cuales deben acordarse por amplio consenso y que sean respetadas por todos para un desarrollo con mayor justicia y equidad. Por el lado de las instituciones informales, su vigencia y observancia no necesariamente son producto de arduas deliberaciones, más bien, su objeto y uso generalizado es algo más espontáneo, por ejemplo, el hábito de dirigirse con respeto a las personas mayores y a nuestros semejantes.

La existencia de instituciones para la convivencia en sociedad es una condición necesaria para reducir la incertidumbre y dar rumbo a nuestras decisiones cotidianas y de largo plazo. Por ejemplo, la serie de

preceptos de una norma jurídica nos indica claramente lo que se puede hacer y lo que no es recomendable en términos jurídicos. Entonces, si bien las instituciones formales e informales implican una serie de restricciones también conllevan incentivos implícitos para la realización de diversas actividades económicas, políticas, sociales y culturales.

En lo que se refiere a la educación y el aprendizaje, como actividades civilizatorias de las sociedades humanas, se ha estructurado todo un entramado institucional-normativo. Para el caso mexicano, las principales normas jurídicas que regulan la educación (pública) son la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, específicamente su artículo 3° (Cámara de Diputados, 2020), las leyes secundarias que se derivan directamente de ésta, las cuales son la Ley General de Educación (Cámara de Diputados, 2019) y la Ley General de Educación Superior (Cámara de Diputados, 2021), por su alcance y trascendencia, éstas tienen observancia a nivel nacional.

Adicionalmente, como México forma parte de organismos multilaterales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO, su política educativa hace eco de sus directrices generales sin que éstas sean vinculatorias, pero sí representan una guía general de las políticas públicas y gubernamentales de los países asociados. En la actualidad, la UNESCO y, en general, la Organización de las Naciones Unidas, a través de sus oficinas regionales, promueven ampliamente la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible, y uno de los que terminan siendo central es el de garantizar una educación inclusiva y equitativa, que a la vez promueva oportunidades de aprendizaje permanente para todos.

No deja de ser interesante conocer cómo se redimensionan la educación y el aprendizaje en los nuevos arreglos normativos. Y es que de acuerdo con Andere (2015), los sistemas educativos convencionales tienen que alejarse de los esquemas rígidos y tradicionales en la enseñanza y el aprendizaje; incluso, la promoción de los ambientes de aprendizaje tiene que deslindarse de las nociones reduccionistas de ambiente escolar, experiencias de aprendizaje, atmósfera escolar, clima escolar, entorno de aprendizaje, arreglos de aprendizaje y contexto escolar. Los ambientes de aprendizaje genuinos son multidimensionales e incluyen las aportaciones y participaciones de los principales sujetos escolares (estudiantes y profesores), los padres y madres de familia, los actores comunitarios, los funcionarios educativos, la acción coordinada de los niveles de gobiernos, entre otros.

Algunos de los rasgos preeminentes de un adecuado ambiente de aprendizaje son: la estrecha colaboración entre los actores educativos, la garantía de la libertad pedagógica, la motivación intrínseca y extrínseca, la confianza, el ejercicio responsable del liderazgo educativo, una planta docente de excelencia, y buenas condiciones de la infraestructura y el equipamiento de las escuelas. En otro momento, el mismo Andere (2013) llamó la atención de que, en México, siempre se han privilegiado los intereses y las estructuras, las inercias y los balances de poder y de decisión en lugar del aprendizaje. No es suficiente querer crecer y querer más educación, se requiere cambiar hábitos, actitudes, valores, principios: una cultura de aprendizaje. En esta misma línea, Ornelas (2013), también llama la atención del terrible daño que causa el currículum oculto en el sistema educativo mexicano.

Lo que normalmente se observa en la realidad es que, entre las directrices generales de los organismos multilaterales, la regla de reglas (constitución política nacional) y las leyes generales hay correspondencia (Tabla 1), y acaso se observen intersticios entre los diferentes ordenamientos en algunos rubros esenciales y estratégicos. Prácticamente, todo el entramado institucional-normativo relacionado con la educación coincide en que ésta es un derecho humano fundamental, que la rectoría corresponde al Estado, que debe ser gratuita y de cobertura universal hasta el nivel medio superior.

Además, que debe estar libre de prejuicios y ser laica. Y como sea, corresponde al mismo Estado garantizar el ejercicio pleno de ese derecho humano fundamental. Asimismo, las últimas reformas de las normas básicas en México (artículo 3° Constitucional, Ley General de Educación, y creación de la Ley General de Educación Superior), encaminan hacia una filosofía y política más humanistas, marcando una clara distancia con los valores supremos del libre mercado.

Tabla 1. Normativa educativa nacional vigente

Norma	Rasgos sobresalientes
Constitución Política de México (Artículo 3º)	<p>Toda persona tiene derecho a la educación –desde la inicial hasta la superior–, y el Estado la impartirá (con los atributos de obligatoriedad, universalidad, inclusividad, bien público, gratuidad y laicidad) y la garantizará. Asimismo, corresponde a éste su rectoría. La educación se basará en un enfoque de derechos humanos y de igualdad sustantiva. Los profesores se reconocen como agentes fundamentales, con derecho de acceder a la educación continua retroalimentada por evaluaciones diagnósticas; su admisión, promoción y reconocimiento será a través de procesos de selección.</p> <p>El Estado también garantizará que los materiales didácticos, infraestructura, mantenimiento y condiciones del entorno sean idóneos. El gobierno Federal determinará los planes y programas de estudio de la educación básica y normal en toda la República. El criterio que orientará a la educación se basará en los resultados del progreso científico; será democrático, nacional, equitativo, intercultural, integral, de excelencia y contribuirá a la mejor convivencia humana.</p> <p>Los particulares podrán impartir educación; y las instituciones autónomas de ES tendrán la facultad y responsabilidad de gobernarse a sí mismas. Se crea el Sistema Nacional de Mejora Continua de la Educación, coordinado por un organismo público descentralizado.</p>
Ley General de Educación	<p>El Estado fomentará la participación de los actores involucrados en el proceso educativo y del sistema educativo nacional SEN. Se recalca que toda persona tiene derecho a la educación como un ejercicio centrado en el aprendizaje del educando, que contribuye a su desarrollo integral y a la transformación de la sociedad, para que sea más equitativa y solidaria. Se hace explícita la obligatoriedad de la educación desde preescolar hasta la media superior. Se retoma de la Constitución que la educación será universal, inclusiva, pública, gratuita y laica.</p> <p>Mediante la Nueva Escuela Mexicana NEM, el Estado buscará la equidad, excelencia y la mejora continua en la educación. Además, la NEM comprende la vinculación de la escuela con la comunidad y la adecuada formación de las maestras y maestros en los procesos de enseñanza-aprendizaje. La evaluación de los estudiantes será integral y comprenderá la valoración de los conocimientos, habilidades, destrezas y logro de propósitos establecidos en los planes y programas de estudio. La Secretaría de Educación Pública SEP determinará los planes y programas de estudio, aplicables y obligatorios en toda la República y considerará la opinión de los gobiernos estatales.</p>
Ley General de Educación Superior	<p>Se reivindica a la educación superior ES como estratégica para el desarrollo nacional, regional, local y comunitario; mediante su vinculación con las realidades y necesidades sociales, económicas (productivas) y culturales. Para el diseño, implementación y evaluación de planes y políticas de ES de largo plazo, se llama a la participación de la comunidad universitaria. Adicionalmente, el establecimiento y extensión de las instituciones de educación superior IES o la creación de programas educativos deberá corresponderse con el Programa Sectorial de Educación, los Programas Nacional y Estatales de ES, así como los planes de las IES.</p> <p>La ES forma parte del SEN, no obstante, de manera específica está estructurado el Sistema Nacional de Educación Superior SNES que se integra por actores, instituciones y procesos para la prestación de servicios (público y privado) de ES. En efecto, los componentes del SNES son: estudiantes, académicos, administrativos, directivos; universidades e IES, organismos descentralizados y desconcentrados; programas educativos, instrumentos legales, administrativos y económicos de apoyo a la ES, políticas de ES, comisiones para el fomento de la ES. Estos conglomerados, en términos de García (2005), pueden clasificarse en tres dimensiones que conforman las redes sociotécnicas, a saber: dimensión simbólica (documentos rectores), dimensión material (infraestructura y equipamiento), y dimensión social (organización-coordinación, y gobernanza del SNES. El SNES deberá tener sus contrapartes en las entidades federativas y los municipios.</p> <p>El SNES operará de manera articulada y convergente con el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Así, mediante las IES públicas se impulsará la formación de investigadores, el avance científico-tecnológico y de innovación; incluyendo la cooperación intra e interinstitucional con los sectores social y privado. Además, serán importantes las acciones de divulgación.</p> <p>En el marco del SNES se promoverá la equidad (principalmente la de género), eliminación de: desigualdades, de la discriminación, la violencia; la educación inclusiva, libertad de elección, la pertinencia, la excelencia, la interculturalidad y el cuidado del medio ambiente.</p> <p>El desarrollo de la ES se realizará mediante la coordinación y programación estratégica, participativa, interinstitucional y colaborativa entre las autoridades educativas federal, de las entidades federativas y de los municipios, con la participación de las autoridades y comunidades académicas de las IES. Habrá un Consejo Nacional para la Coordinación de la ES.</p> <p>Se elaborará un Programa Nacional de Educación Superior, que incluya objetivos, políticas, estrategias, líneas de acción y metas globales para cada subsistema educativo, además de reconocer el diferente nivel de desarrollo de las instituciones que integran cada subsistema.</p> <p>El financiamiento para la ES pública en ningún momento será regresivo, y el Estado tiene la obligatoriedad de ofrecer oportunidades de acceso a toda persona con los méritos para acceder a la ES, y a partir del ciclo 2022-2023 de manera progresiva se implementará la gratuidad de la ES.</p>

Por ejemplo, en lugar de ensalzar la competencia, el individualismo, la competitividad, los méritos personales y el aumento de la productividad; se persuade para que el SEN fomente la colaboración, la

solidaridad, el trabajo en equipo, sin menoscabo de una mayor competitividad global, pero que en el centro de las preocupaciones esté un mayor compromiso con la resolución de los problemas regionales y comunitarios, esencialmente, con las personas, comunidades y regiones más desfavorecidas. También, se pone énfasis en la formación de ciudadanos libres, críticos y democráticos en lugar de individuos auto-realizables. En este sentido, es notoria la intención de apoyarse en el SEN para lograr sociedades más justas y equitativas. Todas las normas enfatizan en que no se puede tratar igual a los desiguales; la mayor preocupación siempre debe ser atender, en primer lugar, las demandas de los actores sociales que se han ido quedando rezagados, esta es una aspiración legítima de los países que aspiran a establecer estados de bienestar.

De la discusión ontológica y de las implicaciones en las políticas educativas, que realiza Monzón (2015) sobre los conceptos de justicia, equidad e igualdad, se deduce una máxima: las políticas educativas tienen que buscar niveles básicos de equidad y de igualdad que conduzcan hacia la búsqueda de la justicia que termina siendo un ideal. Así pues, el sistema educativo puede ser una vía, mediante la equidad y condiciones menos desiguales hacia la movilidad social.

Para lograr el objetivo máximo de una educación y aprendizaje significativos y de alto desempeño es necesaria una estrecha coordinación y cooperación interinstitucional entre los gobiernos federal, estatal y los municipios, de lo cual la Ley General de Educación y la Ley General de la Educación Superior establecen los principales parámetros. Esta coordinación y cooperación es muy importante para poner el desarrollo educativo y el aprendizaje continuo como objetivos y metas prioritarias. La cooperación intergubernamental es necesaria para establecer como objetivo y meta común el logro de una educación y un aprendizaje relevante para la transformación de la sociedad nacional. De este modo, para que la escuela y los actores que participan en ella puedan potencializarse y que *a posteriori* estén en la posibilidad de impactar positivamente el barrio, la colonia, la comunidad; es necesario que haya un compromiso genuino del SEN, en el ámbito de sus competencias. De manera muy especial, hay que poner mayor atención a las enormes potencialidades y la proximidad que tienen los municipios con los principales actores educativos.

Un nuevo modelo educativo para México implica poner en primer orden una coordinación más estrecha, transparente y constructiva entre los diferentes órdenes de gobierno, sobre todo en lo que se refiere al financiamiento de la educación, la gobernabilidad y la gobernanza del sistema. Aquí, el SEN debe tomar en consideración la necesidad de los mecanismos compensatorios regionales y comunitarios para el logro de una mayor inclusividad, equidad y justicia en los procesos educativos. La erradicación de las injusticias estructurales y de la exclusión debe estar en el primer lugar de las prioridades. Aunque, para efectos de la inclusión y la equidad, tienen que considerarse los niveles de discapacidad.

Si la discapacidad es muy marcada se requiere de una educación especial bien gestionada, profesionalizada y capitalizada. Un verdadero compromiso con la inclusión, la equidad y la justicia demanda que los diferentes niveles de gobierno asuman la responsabilidad de transformar la educación especial dando mayores herramientas de desarrollo, y eso pasa necesariamente por la necesidad de mayor financiamiento público. Adicionalmente, hablando de equidad en la educación y el aprendizaje, no se puede pensar ni hablar de escuelas pobres para estudiantes pobres. No es correcto tratar igual a los desiguales en lo que respecta a los apoyos. Una política educativa responsable tiene que incluir entre sus preocupaciones principales la equidad y la inclusión, pero no a la ligera.

2.2 La planeación y la gestión educativa

Aunque en los estudios institucionales se reconozca que en los entramados institucional-normativos y en los instrumentos de planeación, en general, se registren una serie de aspiraciones económicas, sociales, políticas y culturales de los miembros de una sociedad –que en muchas ocasiones es un ideal–; lo que se observa en la praxis de las políticas educativas es que la planeación es un ejercicio, con cierta frecuencia, que se convierte en un intermedio entre lo ideal de las instituciones y la realidad cotidiana. Sin embargo, el ejercicio de la planeación en la educación y el aprendizaje pretende dar rumbo y operatividad a las directrices generales, y también es el vehículo para trazar nuevas directrices, programas y proyectos estratégicos. De tal manera que, en un proceso de planeación educativa coordinada, la planeación estatal y

municipal debe corresponderse con los instrumentos nacionales de la planeación educativa democrática. Esto se observa en la Tabla 2, una síntesis de lo que establecen los respectivos instrumentos de planeación. Otros instrumentos más específicos y técnicos que pudieran considerarse en el análisis son el Programa Sectorial de Educación y el Programa de Educación Superior que se estipula en la Ley General de Educación Superior; sin embargo, del último aún ni siquiera hay fecha aproximada para su publicación.

Tabla 2. Los instrumentos de planeación y prospectiva educativa nacional

Instrumento	Políticas y estrategias generales
Proyecto Alternativo de Nación	<p>El SEN es un bien nacional y el Estado lo garantizará. Se dará acceso a IES públicas y privadas para todos los que aspiren a estudiar. Se revisará el financiamiento del sector educativo para terminar con la corrupción, disminuir el número de directivos y de altos funcionarios públicos que engullen parte del gasto destinado. Se concibe a la enseñanza como una actividad de interés público y general.</p> <p>La práctica educativa será acorde con el programa de transformación del país incorporando una perspectiva sustentable, basada en la convivencia plural (interculturalidad), diversa, incluyente, con una identidad clara, con memoria histórica y fundada en la incorporación de conocimientos y relaciones solidarias con otros pueblos.</p> <p>Se buscará una transformación que involucre a autoridades, profesores, directivos, estudiantes, padres de familia y comunidades a fin de lograr una educación de excelencia con valores humanistas y solidarios. Se dará a las nuevas generaciones elementos éticos, científicos, culturales y artísticos para alentar un desarrollo nacional incluyente, democrático y sostenible.</p>
Plan Nacional de Desarrollo	<p>Establece el Programa Nacional de Becas para el Bienestar “Benito Juárez García” dirigido a menores de 18 años y “Jóvenes escribiendo el futuro” para menores de 29 años inscritos en alguna IES. Parte de garantizar el derecho a la educación implica mejorar las condiciones materiales de las escuelas; entonces, la SEP tiene la tarea de dignificarlas. Pero el gobierno federal priorizará las necesidades de sectores más marginados, indefensos y depauperados, e impulsará una vigorosa acción cultural en las zonas más pobres del país.</p> <p>Ciencia y tecnología: además de sus tareas ordinarias, el CONACYT coordinará el Plan Nacional para la Innovación con la participación de universidades, pueblos, científicos y empresas.</p> <p>El deporte es salud, cohesión social y orgullo nacional: es una prioridad la activación física, como parte de una política de salud integral, la activación física es importante para la prevención de enfermedades relacionadas con el sedentarismo, el sobrepeso y la obesidad. En este tenor se impulsarán ligas deportivas inter-escolares; se apoyará el deporte de personas con discapacidad; se fomentarán semilleros de futuro atletas en escuelas y deportivos públicos. Se necesita que los profesores de educación física estén mejor preparados y estén recibiendo capacitación constante. Mínimo tres horas de educación física a la semana.</p>
Principales directrices de la Nueva Escuela Mexicana NEM	<p>Plan de 23 años para reforzar la educación. Tiene como centro la formación integral y el aprendizaje continuo (aprender a aprender) de excelencia, inclusivo, pluricultural, colaborativo y equitativo. La NEM garantizará el derecho a la educación desde preescolar hasta la ES con cuatro condiciones necesarias: asequibilidad, accesibilidad, aceptabilidad y adaptabilidad. Principios en los que se fundamenta la NEM: fomento de la identidad con México, responsabilidad ciudadana, participación en la transformación de la sociedad, respeto de la dignidad humana, promoción de la interculturalidad, promoción de la cultura de la paz, respeto por la naturaleza y cuidado del medio ambiente. Las líneas de acción permanentes para reconstruir la NEM son: revalorización del magisterio, infraestructura, gobernanza, y ambientes de aprendizaje. Orientaciones pedagógicas: gestión participativa y democrática, práctica educativa cotidiana, diagnóstico del grupo, organización de contenidos, selección de estrategias metodológicas y evaluación.</p>

Dado lo anterior, los principales componentes de la planeación educativa nacional van acompañados de los ideales de lograr una educación y aprendizajes basados en una nueva filosofía humanista en la formación de niños, niñas y jóvenes con un espíritu crítico, democrático, solidario y cooperativo con las causas de los grupos sociales más desfavorecidos. Esto sin menoscabo de promover condiciones educativas, y del aprendizaje generales que propicien el desarrollo pleno de competencias académicas, laborales y de desarrollo humano para la vida cotidiana. El individualismo extremo en el sentido amplio –aunque fuera únicamente en el plano metodológico–, no debe tener más cabida en las políticas educativas nacionales.

Teniendo en cuenta que tanto la normatividad como los instrumentos de planeación han considerado la necesidad de poner a la escuela como el nodo articulador de las funciones, responsabilidades y actividades relacionadas con la educación y el aprendizaje; es preciso que a nivel nacional se convoque a una cruzada para la actualización y el equipamiento de una infraestructura, para la educación y el aprendizaje, que sea de última generación. Así pues, cada escuela –desde el nivel más elemental hasta la ES– tiene que estar dotada de instalaciones propicias para el aprendizaje y el desarrollo de las competencias múltiples; pero también las escuelas deben garantizar espacios adecuados para el desarrollo de actividades culturales y deportivas permanentes. Esto va en línea con las grandes directrices del Plan Nacional de Desarrollo (Presidencia de la República, 2019), con la Ley General de Educación (Cámara de Diputados, 2019), y la NEM

(SEP, 2019), la Nueva Ley General de Educación Superior (Cámara de Diputados, 2021). Esto también es algo que se reconoce en el amplio abanico de políticas educativas que propone el Banco Mundial, para atender y mitigar los múltiples impactos negativos derivados de la crisis pandémica del COVID-19 y la crisis económica inherente (Banco Mundial, 2020).

Garantizar una infraestructura adecuada para todas las escuelas es un aspecto indispensable de la garantía del derecho a la educación; en tanto que, la desigual distribución de la misma, en detrimento de aquellas que atienden a estudiantes con menor capital económico, social y cultural, acrecienta las diferencias educativas al limitar la capacidad de la educación para reducir las brechas educativas (Banco Mundial, 2020; Miranda, 2018). Se distinguen dos tipos de infraestructura: el primero busca satisfacer las necesidades básicas de instalaciones y materiales, la llamada infraestructura no curricular; el segundo incorpora una dimensión que hace referencia a las necesidades de infraestructura del siglo XXI: conectividad, habilidades para el manejo de TIC y de TAC (tecnologías del aprendizaje y el conocimiento), y disponibilidad de espacios y materiales necesarios para el desarrollo de métodos de enseñanza innovadores, es decir, infraestructura orientada a la innovación curricular (Miranda, 2018).

La infraestructura física debe ser, por un lado, asequible (disponible); es decir, garantizar para toda la población, y con independencia de la ubicación geográfica, la existencia de planteles con los insumos necesarios para su atención. Por otro lado, tiene que ser adaptable, lo cual significa que la escuela esté adaptada a las necesidades de los estudiantes, tanto físicas como educativas, es decir, la enseñanza y los materiales deberán ser adecuados a las características de los estudiantes. No obstante, lo lamentable es que en los entornos de mayor pobreza están las escuelas peor dotadas de infraestructura básica. Así pues, sólo 17.6% de las escuelas de tipo indígena multigrado cuenta con agua, luz y drenaje; mientras que 92.7% de primarias privadas cuenta con estos servicios. Los escenarios futuros no se pueden pensar solamente en términos incrementales, sino que será necesario establecer estrategias de cambio y recomposición asociadas a la reconfiguración de los sistemas educativos y del rol de la educación en las sociedades futuras (Miranda, 2018).

De acuerdo con el trabajo de Miranda (2018), en general, las escuelas de los entornos indígenas, rurales y comunitarios de México padecen un enorme rezago en infraestructura física convencional y más en la infraestructura relacionada con las TIC y las TAC. En este sentido, se tiene que en este tipo de escuelas se llega a más del 50% que no cuentan con excusados para estudiantes, algo similar pasa con la dotación de instalaciones deportivas, en algunas zonas del país hasta más del 20% de estas escuelas no cuenta con agua potable, más del 40% de escuelas comunitarias no cuenta con energía eléctrica. Otros indicadores con registros similares se relacionan con las condiciones como la ventilación, el tamaño de los grupos, la existencia de bibliotecas escolares, el equipamiento informático y el acceso a internet, y la existencia de espacios para el trabajo colegiado.

Como establecen los preceptos de la NEM (SEP, 2019), las instalaciones escolares deben estar abiertas los siete días de la semana para propiciar el desarrollo cultural, deportivo y comunitario. De esta forma, se puede pensar en los planteles escolares como nodos esenciales en el desarrollo social y cultural de comunidades, pueblos, barrios y colonias. No obstante, para poner las cosas en su justa dimensión, y apelando a la equidad y la justicia en la dotación de recursos y presupuestos, en México toda escuela, desde preescolar hasta los planteles de ES, debe contar con instalaciones y equipamiento adecuado y actualizado para el pleno desarrollo del aprendizaje, el desarrollo humano y socioemocional, la cultivación de la cultura y las artes, así como el desarrollo deportivo y los buenos hábitos alimenticios. Asimismo, ninguna escuela - y por ningún motivo- debe quedar al margen de la conexión a internet, ni debe tener carencias de la infraestructura y los equipamientos básicos.

El ejercicio de la planeación educativa tiene que considerar como una de sus prioridades la atención a las demandas de los actores políticos del SEN, dos de los principales contingentes están representados por los estudiantes (estudiantes) y los profesores. En el caso de los primeros, se constituyen en el actor más importante y son ellos quienes inspiran los esfuerzos multidimensionales para abonar el desarrollo educativo. En esta línea, el Plan Nacional de Desarrollo (Presidencia de la República, 2019), que hace eco del artículo 3º Constitucional y de la Ley General de Educación contempla varios programas para garantizar el

derecho a la educación y el aprendizaje; además, con un toque de mayor preocupación por la equidad y la justicia. Así, los programas de becas “Benito Juárez García”, Jóvenes Escribiendo y Construyendo el Futuro, las universidades para el bienestar “Benito Juárez García”, entre otros, que tienen como meta la promoción de la cultura para la paz y el bienestar, así como la promoción del deporte y la cultura científica, son pasos importantes; aunque se requiere hacer mayores esfuerzos federales para mejorar su gestión y disminuir los costos de transacción. No obstante, son insuficientes debido a que las inversiones en el ámbito federal requieren incrementarse, y paralelamente los ámbitos estatal y municipal también necesitan esforzarse más para alcanzar un mayor financiamiento e inversión en educación y aprendizaje como asuntos multidimensionales.

De hecho, la centralidad de los adolescentes y los jóvenes en las políticas sociales se reconoció desde la difusión del *Proyecto Alternativo de Nación* (Plataforma Electoral y Programa de Gobierno, 2018). En efecto, todos los entes gubernamentales tienen que canalizar mayores recursos y capacidades de gestión para garantizar, plenamente, que los jóvenes mexicanos tengan los incentivos suficientes y las convicciones ético-morales para alejarse del crimen y de la delincuencia común y la organizada.

Adicional a lo anterior, la revalorización de la función docente, como lo plantean la NEM, la Ley General de Educación y la Ley General de Educación Superior, pasa por actualizar y corregir las enormes injusticias e inequidades que se han cometido contra los profesores y profesoras que trabajan por horas, desde el nivel de secundaria hasta el nivel superior; los pagos en alrededor de 100 pesos por hora en escuelas públicas es algo lamentable, pues todos los que nos desempeñamos en el sector educativo, bien sabemos que la hora u horas frente a grupo, demandan al menos de 3 a 4 horas adicionales para la preparación de la clase y el seguimiento extra clase de los estudiantes; por lo tanto, un pago justo y equitativo al trabajo docente por horas debe ser como mínimo 300 pesos por hora. Esto no debe verse como una ocurrencia pues, así como el gobierno federal en turno, al inicio de su gestión, tomó la decisión de duplicar el salario mínimo en la región de la frontera norte, y reducir impuestos federales como el impuesto al valor agregado y el impuesto sobre la renta, no hay razón de peso para no hacer esfuerzos genuinos para triplicar o cuadruplicar los pagos por hora de clase a los profesores que trabajan en este esquema.

El tipo de políticas salariales, como la mencionada en el párrafo anterior, redundaría en un mayor compromiso docente con la enseñanza y el aprendizaje al focalizar sus esfuerzos laborales y energías en la docencia de excelencia. En fin, la revalorización del magisterio pasa por reconocer plenamente los derechos laborales de los profesores y realizar esfuerzos genuinos para corregir las grandes injusticias e inequidades que se continúan cometiendo contra los profesores y profesoras por asignatura.

Las situaciones descritas previamente se mantienen muy distantes del gran aprecio y reconocimiento social con los que cuentan los profesores de países con alto desempeño educativo y con grandes logros en el aprendizaje, como son los casos de Corea del Sur (García y Arechavaleta, 2011) y Finlandia (Sahlbert, 2013). Ambos países son emblemáticos puesto que, en los monitoreos y evaluaciones internacionales, normalmente se ubican en el *top*, pero más allá de eso la profesión de profesor es altamente valorada y reconocida en estos países. En México, se han dado los primeros pasos al reconocer la situación en la Ley General de Educación y en la NEM, pero todos debemos dar seguimiento a esas prescripciones para que se concreten.

En síntesis, los principales elementos que deben inspirar la planeación educativa nacional son: garantía de la gratuidad de la educación básica y obligatoria, y mayores esfuerzos para ampliar la cobertura en educación superior; la búsqueda de la justicia y la equidad en el ingreso, la permanencia y el egreso de los estudiantes en todos los niveles educativos, los programas y proyectos especiales y para los jóvenes en formación permanente. En otro orden, también está la atención a las carencias en la infraestructura y el equipamiento escolar, la atención a la población con discapacidad (incluidos los aspectos relacionados con la educación y el aprendizaje); y la revalorización del docente como uno de los actores clave del sistema educativo. En todos estos elementos de la planeación deben tener prioridad los actores educativos que se encuentren en las zonas urbanas y rurales marginadas o las regiones con mayor rezago económico, social, cultural y educativo.

Para cerrar con este apartado, es preciso reconocer que en la normativa básica de la educación y del aprendizaje, así como en los principales instrumentos de prospectiva se delinear *grosso modo* los elementos esenciales para pensar en un nuevo modelo educativo (con un perfil más progresista y democrático). De hecho, todos los cambios necesarios (o reformas) se han realizado en la primera mitad (2019-2021) del periodo del gobierno federal en turno (2019-2024).

3. ACTORES DEL SISTEMA EDUCATIVO MEXICANO

En los asuntos políticos de la educación y el aprendizaje hay múltiples actores que participan o deberían participar; con fines de simplificar el análisis, se pueden dividir en dos grupos. El primero estaría representado por aquellos sujetos que están directamente relacionados con el logro educativo y de los aprendizajes; es decir, son los sujetos que actúan desde y para la escuela, aquí encontramos a los y las estudiantes, a las y los profesores, así como a los directivos y personal administrativo. En términos de Merton (1988) se podrían denominar como los *insiders* del sistema educativo. Un segundo grupo estaría conformado por los *outsiders* de la escuela, ellos incluyen la participación de otros actores alrededor de los asuntos educativos como funcionarios gubernamentales y políticos (principalmente legisladores) responsables e interesados en las políticas educativas, los académicos y especialistas –normalmente adscritos a alguna universidad o centro de investigación–, a las organizaciones sociales y comunitarias preocupadas por el papel emancipador y transformador de la educación y el aprendizaje, los miembros del sector productivo (empresas) interesados en apoyar de manera genuina los esfuerzos educativos o que simplemente tratan de hacer valer sus intereses en el SEN, pero sin duda uno de los actores que se encuentra fuera de la escuela y simultáneamente actuando fuertemente para su adecuado funcionamiento son las madres y padres de familia.

Entre ambos grupos, actuando dentro y fuera de las escuelas, se han formado y se van conformando diversos mecanismos de coordinación y presión; por ejemplo, fuera de la escuela algunas organizaciones no gubernamentales ejercen presión y cuentan con poder político; al interior, existen asociaciones *ex profeso* para el logro de ciertos objetivos y metas, como son los consejos de participación social.

Entre lo que son propiamente los *insiders* y los *outsiders* de la escuela, hay actores intermedios que deliberan continuamente sobre las tareas, responsabilidades, derechos y obligaciones de los profesores y directivos-administrativos de las escuelas; se trata en primer término de los sindicatos, y en segundo lugar de los representantes populares que, posteriormente, se vuelven parte del constituyente permanente. Especialmente, el Sindicato Nacional de Trabajadores de la Educación SNTE es un actor decisivo en la estabilidad y prospectiva del SEN. Por consiguiente, cuando los gobiernos y funcionarios educativos quieren llevar a cabo reformas importantes en la educación y el aprendizaje deben desplegar sus buenos oficios políticos para negociar y llegar a acuerdos con los sindicatos. La negociación inteligente no implica ceder a todo pliego petitorio de los sindicatos, sino de poner en su justa dimensión las demandas escolares genuinas y las necesidades de transformación permanente.

Cuando las negociaciones políticas fracasan se corre el riesgo de frustrar bruscamente las reformas educativas. Un ejemplo claro fue lo que sucedió con la frustrada reforma educativa de la administración federal anterior (2012-2018), la cual nunca contó con el respaldo de la Coordinadora Nacional de Trabajadores de la Educación (CNTE). Asimismo, de esta reforma fallida se desprendió un modelo educativo (SEP, 2017), que tampoco pudo implementarse.

De hecho, la reforma educativa fue una de las primeras reformas estructurales del gobierno de Enrique Peña, pero el proceso estuvo plagado de una serie de resistencias sociales y de actores educativos, como los sectores disidentes del SNTE, y más concretamente la CNTE, quienes además de pedir la abrogación de la reforma, proponían como alternativa una propuesta con más elementos pedagógicos y un modelo educativo para atender las necesidades sociales de la población mexicana. El punto que centró la mayor oposición del profesorado fue elevar a rango constitucional la evaluación hacia los maestros, ésta estuvo centrada en las cuestiones laborales y administrativas y no en los aspectos pedagógicos; además, se intentó que fuera estandarizada cuando la comunidad académica y el magisterio nacional (principalmente la CNTE), pregonaban la evaluación diferenciada. No obstante que la reforma se aprobó y derivó en reformas

constitucionales, la CNTE siempre se empeñó en echarla abajo. Dos de sus argumentos fueron que afectaba por un lado los derechos humanos de niños y padres de familia y los derechos laborales de los profesores; y por otro lado, la reforma no era en estricto sentido educativa, y era más bien una aplicación tecnocrática de la reforma laboral y administrativa que se estaban dando en otras organizaciones de trabajadores del país (Victorino et al., 2017).

Por otro lado, la CNTE cuestionó y reclamó a las autoridades gubernamentales y al poder legislativo no haber considerado los planteamientos para abrir y consensuar la reforma después de haber organizado varios foros de discusión. Además, reprochaban a los defensores de la iniciativa presidencial el no haber permitido un diálogo para llegar a acuerdos en cuanto al contenido pedagógico. Uno de los argumentos fundamentales de la resistencia fue que el trasfondo de la reforma se inclinó hacia un pensamiento mercantilista, pragmático e instrumental; además, los propósitos educativos implícitos poco tenían que ver con anteponer los deberes y fines éticos, democráticos y justos. La formación de técnicos eficientes, trabajadores flexibles y competentes era prioritaria, la del ciudadano consciente y participativo que buscara transformar su realidad social, resultó soslayada. Así, la frustrada reforma educativa del gobierno de Peña Nieto fue esencialmente tecnocrática porque intentó imponer la eficacia y eficiencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje, sin el humanismo necesario en el quehacer pedagógico del profesorado y sin tomar en cuenta las características regionales (Victorino et al., 2017).

En otro estudio, UIB-INIDE (2015) también se critica que, en lo educativo, en el gobierno federal anterior, no se partió de diagnósticos integrales, actualizados y consensuados para el diseño y operación de las políticas educativas, por lo que era necesario avanzar hacia la construcción de una nueva escuela pública, una unidad educativa con metas y principios comunes, con capacidades y facultades para tomar decisiones importantes. También, avanzar hacia un sistema donde las instancias jerárquicamente superiores estuvieran al servicio de las escuelas.

Para que un proyecto o reforma educativa llegue a buen puerto es necesario que parta de bases sociales bien consolidadas, lo cual requiere primordialmente buscar y encontrar el consenso de los actores sociales que participan o deberían participar en los procesos políticos de la toma de decisiones. Entonces, cualquier decisión estratégica en el ámbito de las políticas educativas tiene que contar con la legitimidad necesaria. Por ejemplo, si hay un problema serio de deterioro de la infraestructura educativa convencional, y éste es reconocido por todos los actores interesados, y *a posteriori* el gobierno nacional mediante el SEN lanza un programa para atender ese problema estructural, y resulta que se registra un respaldo total; por tanto, puede decirse que estamos ante una política educativa legítima. Alcanzar la legitimidad es muy importante porque facilita la operación de todos los mecanismos e instancias para concretar los programas o los proyectos específicos.

Por otro lado, como ya se ha sugerido, puede haber políticas educativas derivadas de un gobierno autoritario o que sea producto de poderes fácticos con fuertes intereses en los ámbitos educativos. Las experiencias de la reforma educativa fallida (con la reforma inherente al artículo 3º Constitucional, las leyes secundarias derivadas y el modelo educativo asociado) del gobierno federal anterior, es un ejemplo muy claro de una política educativa gubernamental del tipo *top down* (de arriba hacia abajo) que nunca contó con el respaldo pleno de amplios contingentes de profesores, padres y madres de familia, de estudiantes y dirigentes magisteriales.

Si bien la reforma educativa de Peña Nieto fue legal, como lo mencionan Victorino et al. (2017), porque fue producto de todos los protocolos legislativos formales (presentación de la iniciativa de reforma, discusión y aprobación en el Congreso de la Unión, convalidación en los congresos estatales y difusión-divulgación); en realidad, nunca contó con la legitimidad necesaria para que no hubiera contratiempos en su aplicación, pues el magisterio y padres-madres de familia de entidades como Oaxaca, Michoacán, Chiapas, Ciudad de México y Guerrero aglutinados en la CNTE mostraron férrea resistencia de principio a fin. Por consiguiente, la reforma educativa de 2013 fue legal, pero se frustró porque no fue plenamente legítima.

Los actores educativos que deben estar en la primera línea, en la conformación de políticas educativas, tienen que ser las y los profesores, los y las estudiantes y los directivos-administrativos de las escuelas; es

decir, en México tiene que concretarse la aspiración de contar con políticas educativas efectivamente públicas; también debe corroborarse el proceso democrático de abajo hacia arriba (*bottom-up*), de tal forma que las autoridades del gobierno y del SEN sean quienes sinteticen, canalicen y sistematicen las demandas y convertirlas en políticas, estrategias, programas, proyectos y acciones, pero no al revés (Figura 1). Por ejemplo, en el marco de la crisis generada por la pandemia del Covid-19, Aboites (2020) menciona que:

Más que apelar al espíritu, lo que deberían hacer las cúpulas institucionales y la SEP es dirigirse hacia abajo y escuchar qué está pasando entre estudiantes, maestros, administrativos. Un ambiente de certidumbre no se construye con decisiones remotas e inconsultas, oyendo voces e intereses ajenos, sino abriendo puertas y ventanas a la discusión y acuerdos con las mayorías de los involucrados: sesiones virtuales autoridad-comunidad. A los confinados, al menos, la libertad de palabra.

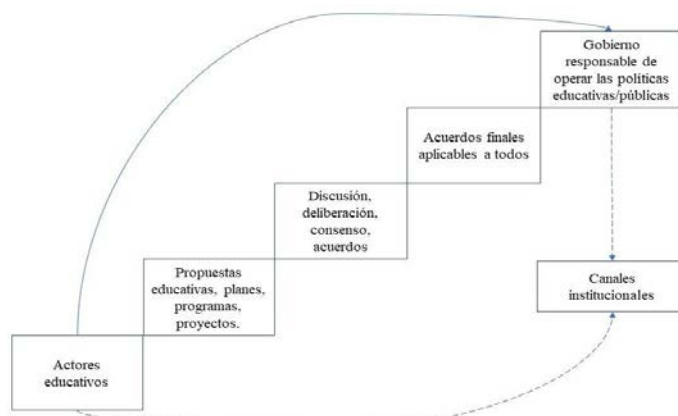


Figura 1. Proceso de bottom-up en las políticas educativas

Dados los argumentos anteriores, la gobernabilidad asume la participación del gobierno y la sociedad, y es posible entenderla en dos perspectivas (Del Castillo, 2012). La primera asocia la gobernabilidad a la eficiencia y eficacia en la acción gubernamental y tiene el propósito de *mantener la supervivencia y reforzar la capacidad operativa en la gestión gubernamental*, por lo que su existencia se vincula a qué tanto un sistema responde a las demandas recibidas y en qué medida la contraparte responde en términos de obediencia. La segunda postula una gobernabilidad conectada estrechamente con el orden político entendido como estabilidad, y su propósito sería contar con la capacidad suficiente para *durar en el tiempo*. Aunque *solo una continua adaptación a la realidad siempre cambiante permite a un sistema sobrevivir* (Del Castillo, 2012). Esta gobernabilidad se define en la frase *cambiar para sobrevivir*.

La gobernabilidad del sistema educativo busca tanto la estabilidad como el adecuado funcionamiento gubernamental. La gobernabilidad, buscada en gobiernos anteriores, usó una legitimidad sustentada no en un acuerdo de políticas educativas sino en pactos políticos cupulares corporativos entre la SEP y el SNTE. Se favorecieron soluciones parciales a los problemas educativos y prevaleció una gobernabilidad a costa del mejoramiento demostrable en los logros educativos (Del Castillo, 2012). Aquí, se sostiene que la coexistencia de la estabilidad política del SEN y la búsqueda de su excelencia son factibles; sin embargo, permanentemente se tiene que hacer uso de la buena política para lograr acuerdos y consensos que aporten al desarrollo educativo y del aprendizaje de los actores educativos de la entidad.

En lo que respecta a la gobernanza, Del Castillo (2012) plantea que ésta es una forma de gobernar que implica una relación gobierno-sociedad en la cual los ciudadanos son sujetos en el proceso de gobernar. En consecuencia, una gobernanza más democrática implica una relación de coordinación (no de subordinación) gobierno-sociedad, y una mayor participación de actores en el proceso de las políticas, lo que tiene el propósito de responder con pertinencia a las demandas de una sociedad. Para que el SEN alcancen una gestión bajo la forma de gobernanza (más democrática), se requieren cuatro cambios: 1) favorecer la participación y articulación de distintos actores en el proceso de las políticas; 2) generar nuevas formas de organización-gestión menos jerárquicas y más horizontales entre los actores; 3) revitalizar en las decisiones, el funcionamiento de los órganos colegiados; y 4) impulsar las redes entre los actores escolares y de la comunidad local, para una acción colectiva en torno a la transformación de las escuelas. A nivel

nacional, los cuatro cambios deben priorizar la atención a los sectores marginados, la inclusión y la equidad, sin pasar por alto la búsqueda de la excelencia en la educación y el aprendizaje.

Recapitulando, debe quedar claro que gobernabilidad y gobernanza del sistema educativo son dos caras de la misma moneda. Así pues, mientras la gobernabilidad le otorga estabilidad al sistema por medio del logro de consensos y decisiones legítimas, la gobernanza le da rumbo y operatividad al SEN al establecer una serie de mecanismos técnico-administrativos para concretizar aspiraciones, metas y objetivos. De hecho, en un sistema educativo democrático, tanto la gobernabilidad como la gobernanza tienen que estar garantizados, y para que esto suceda se requiere el respeto y la mejoría de las condiciones laborales de los profesores y la revalorización de su función social.

4. ELEMENTOS DE UNA NUEVA POLÍTICA EDUCATIVA PARA MÉXICO

Pensando en el futuro de la educación y el aprendizaje en México, los actores educativos del SEN – particularmente las autoridades gubernamentales y los funcionarios– necesitan enfocarse en atender los problemas estructurales históricos como la desigualdad, la inequidad, la injusticia y la marginación; el fenómeno de la migración nacional e internacional; las relaciones internacionales en educación; y la educación y el aprendizaje como un frente activo para el combate de la corrupción.

No es ningún secreto que la sociedad mexicana es una de las más desiguales, inequitativas e injustas del mundo, e incluso de la propia Latinoamérica como la región más desigual del mundo. En estos territorios contradictorios pueden coexistir individuos y familias de las más acaudaladas del mundo y, al mismo tiempo, pueblos, comunidades o barrios enteros con niveles de pobreza similares a los que se registran en los países más pobres del mundo. Evidentemente, esta situación tiene fuertes repercusiones en los sistemas educativos, y lo más lamentable de todo es que son las poblaciones indígenas y de las zonas rurales las que padecen la mayor marginación. Como lo mencionan Jiménez y Mendoza (2016), Miranda (2018) y Ornelas (2013), la pobreza, inequidad, las injusticias y la marginación inerciales provocan nuevas desigualdades e inequidades al truncar el pleno desarrollo de nuevas capacidades, habilidades, destrezas, hábitos y valores. Además de las carencias en infraestructura física escolar y para el aprendizaje en el mundo del siglo XXI, hay que agregar las inequidades e injusticias en la atención de las demandas más elementales de los estudiantes y de los profesores.

Por lo mencionado, si nos empeñamos en lograr sociedades más igualitarias y equitativas en el marco de un Estado de bienestar, parece oportuno hacer eco de un *slogan* político: *por el bien de todos primero los pobres*; eso implica que, por ejemplo, en una cruzada nacional por la expansión y actualización de la infraestructura y el equipamiento tiene que partirse de la atención prioritaria de comunidades indígenas, zonas campesinas y los barrios empobrecidos de las ciudades. En México, si verdaderamente hay la intención de corregir o al menos mitigar fuertemente estas problemáticas, es menester atender las inequidades de las diversas zonas marginadas del país. La atención prioritaria de estas poblaciones implica también la consideración en primera línea de la educación especial.

En la cuestión migratoria, el SEN tiene un doble reto, por un lado, ampliar los espacios para atender a las niñas, niños y jóvenes de las comunidades migrantes y, por el otro lado, lograr una coexistencia sana y colaborativa con los mexicanos de nacimiento. La evidencia histórica ha mostrado que los flujos migrantes llegan a imprimir gran dinamismo a las actividades sociales, económicas, políticas y culturales de los lugares huéspedes. Por ejemplo, la llegada de miles de haitianos a Tijuana implicó oportunidades para el sector productivo en el sentido de contar con una mayor oferta de fuerza laboral con capacidades en ingeniería, y en el dominio de otras lenguas (portugués, francés e inglés). Adicionalmente, la convivencia intercultural deriva en sociedades más cosmopolitas, con mayor tolerancia, más cooperativas y solidarias, más creativas y más democráticas.

Por consiguiente, el SEN debe tener la capacidad para potencializar las bondades de la migración, y como lo destaca Andere (2015) para el caso de Nueva York, se puede aspirar a tener una educación y aprendizaje de excelencia, aun mostrando indicios de ser un país cosmopolita. Es cierto que todo se vuelve más complejo, pero también abre enormes oportunidades y escenarios educativos inéditos.

Pensando en las escuelas bilingües (sobre todo para las poblaciones migrantes indígenas), se podría plantear una escuela donde las clases en general sean en español y, además, clases extras en sus lenguas maternas, aunque esto podría extender la jornada escolar y continuar con la problemática del amplio número de lenguas indígenas del país. Estas clases en su lengua materna podrían ser multigrado para concentrar el mayor número de estudiantes por lengua.

Un ámbito relacionado con la migración internacional es el que se refiere a la necesidad de rediseñar la cooperación internacional en educación. Sin ir más lejos, se requiere promover la cooperación para el desarrollo, la paz y la cultura, esto concuerda con las directrices del Plan Nacional de Desarrollo (Presidencia de la República, 2019), y de otros documentos de políticas educativas. En el ámbito internacional, la cooperación educativa debe ser prioritaria en dos sentidos: uno por los múltiples factores comunes que se comparten con el resto de países latinoamericanos, y el otro por los extensos e intensos intercambios de diversa índole con los Estados Unidos.

Las nuevas administraciones del SEN tienen que plantearse como meta en el mediano y el largo plazo, al menos, hacer crecer la movilidad internacional de estudiantes y profesores. Asimismo, la necesidad de empujar la formación de nuevas habilidades y destrezas lingüísticas debe ser una prioridad. Para aprovechar las oportunidades que abre una mayor cooperación educativa internacional, al igual que las propuestas de la cruzada nacional por la infraestructura y de la actualización de las condiciones laborales y salariales de los profesores por horas; para potencializar la movilidad estudiantil internacional se podría empezar con un programa que aglutinara a las y los estudiantes más destacados de todos los niveles educativos, en el cual para garantizar equidad y justicia podrían considerarse criterios como la matrícula por plantel en todo el país. El gobierno tendría que aportar financiamiento público para los estudiantes más destacados (y avanzar gradualmente hasta alcanzar un porcentaje significativo de la matrícula nacional). Para el caso de los estudiantes con menores logros, pero con capacidad económica, el SEN tendría que garantizar las gestiones técnico-administrativas necesarias.

La corrupción sistémica –cáncer social que ha dañado mucho a la sociedad mexicana– es el otro gran problema que debe solucionarse y combatirse desde la trinchera educativa, esta problemática ha sido reconocida en el Proyecto Alternativo de Nación (Plataforma Electoral y Programa de Gobierno, 2018), y en el Plan Nacional de Desarrollo (Presidencia de la República, 2019). La corrupción ha impactado negativamente en varios ámbitos de la vida cotidiana, y la educación y el aprendizaje no han sido la excepción.

En las administraciones pasadas, se registraron múltiples episodios de corrupción, desde el desvío de recursos –originalmente destinados al sector educativo– hasta lavado de dinero pretextando la búsqueda de mayores rendimientos para inversiones futuras en la educación. Sin embargo, como lo sostiene Ornelas (2013), quizá lo que causa mayor daño al sistema educativo y del aprendizaje es la simulación y el doble discurso en las prácticas educativas, lo que él denomina como currículum oculto. Esto incluye a los profesores que, al tiempo de pedir mayor empeño y dedicación a sus estudiantes, ellos mismos hacen lo mínimo necesario para impartir la clase. Por ejemplo, una queja recurrente de los estudiantes en todos los niveles educativos es que muchas veces los profesores los llenan de actividades extraescolares y son, realmente, pocos los que terminan revisando cabalmente todo ese cúmulo de tareas.

También puede darse el caso de gobernantes o funcionarios del sistema educativo que dicen llevar en el corazón las necesidades y problemáticas de las instituciones educativas, pero cuando se trata de pelear presupuestos para la educación aplican la técnica del avestruz, o retienen los recursos que por ley corresponden al sector educativo, tal y como si éste siempre estuviera limosneando migajas presupuestales.

Las prácticas corruptas dentro y fuera de la escuela tienen que combatirse con una serie de herramientas educativas como la promoción de la democracia, la rendición de cuentas y la transparencia en el manejo de los recursos públicos. Estos preceptos requieren potenciarse desde las aulas también enfatizando hábitos y valores como la cooperación, la solidaridad, el compromiso social y comunitario, la empatía, el respeto, la justicia, la tolerancia y la inclusión.

4.1 Atributos de una educación y un aprendizaje para la transformación

En una sociedad –verdaderamente democrática– los principales actores educativos, aglutinados alrededor de la escuela, tienen que concebirse como sujetos activos del cambio social, cultural y económico. En los niveles básicos la educación tiene que garantizar una formación emancipadora y civilizatoria. En la educación media superior se necesita una formación más comprometida con las causas comunitarias, y en la ES es menester contar con instituciones que actúen como semilleros de ideas y propuestas para la solución de la diversa y compleja problemática que se enfrenta cotidianamente; es decir, concebir a las IES como entes que transformen las condiciones de la sociedad, y no únicamente como receptáculos de presupuestos que aseguren una formación funcional al sector productivo y al *statu quo*. Respecto al quehacer de las universidades, De Sousa (2017) critica fuertemente su pérdida de legitimidad y de hegemonía; desde su perspectiva, ello se debe en buena medida a su falta de compromiso con los sectores sociales y comunitarios más necesitados. ¡Esta situación tiene que detenerse ya! Y las IES más que entes pasivos y subordinados a las políticas gubernamentales, deben verse y actuar como socias del SEN, para la solución de problemas y demandas sociales, desde luego, respetándose la autonomía constitucional con la que cuentan.

Otra de las tareas que debe tener la educación y el aprendizaje en México es el reforzamiento de la identidad nacional para un mundo multipolar. Aunque la candente gran frontera México-Estados Unidos es producto de las fuertes interacciones sociales y económicas de un país de desarrollo medio con una de las grandes superpotencias del mundo, esto no debe ser motivo para no cultivar las buenas relaciones internacionales con otras regiones estratégicas como los países latinoamericanos, la mega-región Asia-pacífico y Europa occidental. Todo esto con base en una identidad nacional que garantice una colaboración en igualdad de condiciones. Adicionalmente, por su ubicación estratégica, el país tiene que aprovechar las oportunidades geopolíticas y geoeconómicas.

Siguiendo con la argumentación previa, la situación de México no debe verse como víctima de la jaula geoeconómico-política al ser vecino de Estados Unidos; con su excelente política exterior nuestro país puede cultivar muy buenas relaciones con otras superpotencias como China, Rusia y la Unión Europea. De hecho, en medio de la pandemia del Covid-19, el gobierno mexicano ha cultivado muy buenas relaciones tanto con Estados Unidos como con China. Entonces, la lección es que a través del SEN se fomente el pensamiento estratégico, tanto para aprovechar las oportunidades abiertas por la ubicación estratégica de México, como para defender y posicionar adecuadamente los intereses nacionales y regionales.

En otro sentido, y como parte del reforzamiento de la identidad nacional y el orgullo mexicano, en el sistema educativo y del aprendizaje se requiere destacar los elementos prodesarrollo con los que cuenta la sociedad y la cultura nacional. Al respecto, uno de los grandes economistas del desarrollo, Chang (2002), destaca que todas las sociedades del mundo poseen elementos prodesarrollo que pueden acelerarse deliberadamente para lograr el despegue y cerrar las brechas del desarrollo y el bienestar. También sostiene que, en la historia económica, por razones políticas y de competencia económica, las naciones rivales tratan de opacar las bondades y fortalezas de las naciones y sus respectivas culturas. Por ejemplo, durante mucho tiempo la filosofía confuciana fue criticada en el mundo occidental, pero en tanto las economías del este y sudeste asiático (Japón, Taiwán, Corea del Sur y China) dieron el gran salto, ahora ya se reconocen más directamente esos elementos pro-desarrollo (la gran dedicación al trabajo, el compromiso social, el hábito del ahorro, la centralidad de la familia, el respeto a las personas mayores y a la autoridad, así como el gran aprecio por la formación académica), los cuales destacan García y Arechavaleta (2011) como los cimientos que subyacen al gran éxito educativo de Corea del Sur.

En realidad, la gran riqueza social y cultural de los mexicanos puede sintetizarse en los siguientes elementos prodesarrollo: fuerza laboral muy propensa al trabajo responsable, gran creatividad e industriosisidad en las actividades que se desarrollan, innovación; cooperación y solidaridad sobre todo en las comunidades indígenas, campesinas y de los barrios urbanos; alto valor por los lazos familiares; buenos dotes negociadores; apertura y tolerancia a la diversidad social, cultural y política; fuerte identidad nacional y cultural, esencialmente, en el México profundo; fomento de una cultura de paz y de respeto hacia el exterior.

Además, la historia registra que la sociedad mexicana está hecha de grandes proezas, desde los grandes logros multidimensionales de civilizaciones mesoamericanas hasta los movimientos nacionalistas y democráticos del siglo XIX, y de sus sucesores revolucionarios del siglo XX. Como se señala en García (2008, 2014), esos elementos siempre deben tenerse en cuenta a la hora de persuadir a las niñas, niños y jóvenes de la importancia del compromiso social. Aunque también deben tomarse en cuenta y aprovecharse las aportaciones y virtudes de otras culturas y experiencias en el mundo.

Por último, una verdadera transformación de la educación y de los ambientes de aprendizaje necesita acompañarse de la transformación simultánea de otras políticas públicas colaterales y complementarias. En este sentido, las políticas públicas y gubernamentales co-evolutivas son indispensables para llevar a buen puerto los grandes proyectos. Por ejemplo, Solís (1999) explica cómo la exitosa reforma agraria del gobierno de Lázaro Cárdenas, adicional a la redistribución de tierras cultivables, estuvo acompañada de otras medidas y proyectos estratégicos como un ambicioso programa de infraestructura de irrigación, la puesta en marcha de una banca del desarrollo y el aseguramiento de canales de distribución y de comercialización. También debe mencionarse que la simultaneidad de las políticas requiere de una larga duración, pues los cambios profundos son de larga data.

En la actualidad mexicana es muy notoria la necesidad de un cambio profundo en el sistema de salud pública (de un enfoque reactivo se tiene que pasar a uno preventivo). Una de las características que ha tenido la crisis pandémica del Covid-19 en México, es que ésta se ha profundizado y es más letal que en otros países, básicamente, porque la comorbilidad (diabetes, hipertensión y obesidad) es muy grande. Por desgracia, esa comorbilidad es provocada en buena medida por el consumo masivo de productos chatarra, mismo que se inicia desde los primeros niveles educativos. Por consiguiente, tiene que haber una política pública que garantice niñas, niños y jóvenes sanos, y eso pasa por el combate frontal de los productos y alimentos chatarra altos en grasas saturadas, calorías y carbohidratos.

Otra política pública simultánea y coevolutiva es construir un sistema tributario (política fiscal) nacional de índole progresista y redistributivo. Este nuevo sistema fiscal tiene que empezar por recuperar los enormes adeudos de los grandes contribuyentes (públicos y privados), aunado a que esto es una cuestión de equidad y de justicia. Al mismo tiempo, la política fiscal nacional debe contemplar nuevos impuestos al patrimonio y a la riqueza. Estas medidas son necesarias para la reasignación presupuestal hacia la capitalización del sistema educativo, ya que una cruzada nacional por la ampliación y la actualización de la infraestructura y del equipamiento demandará un presupuesto mayor y con suficiencia, lo mismo será necesario para hacer justicia histórica a los y las profesores por horas.

5. CONCLUSIONES

En otros ámbitos de la vida cotidiana, y de las políticas públicas en general, suele reconocerse que los problemas más sobresalientes de México, no se relacionan con la ausencia de buenas leyes y de buenas intenciones; no obstante, uno de los más grandes desafíos es cómo concretizar esas buenas normas y buenas intenciones. El asunto es que la sociedad mexicana tiene que dar grandes pasos para ir de lo abstracto a lo concreto; por fortuna, los cambios políticos a nivel nacional otorgan muchos grados de libertad para avanzar en esa dirección. Es momento de que se hagan realidad los anhelos históricos de un mayor respeto por los actores educativos, principalmente los profesores y los estudiantes con discapacidad, y por un sistema educativo y del aprendizaje de excelencia, capaz de ponerse a la vanguardia latinoamericana y a la par de otros esquemas exitosos en el mundo.

Para avanzar en el proyecto de transformación educativa, es necesario contar con mecanismos de interacción y negociación más democráticos. Esto implica llegar a acuerdos trascendentales por amplio consenso, aplicando un proceso de elaboración de políticas educativas de abajo hacia arriba, el cual garantiza decisiones más democráticas en la dinámica educativa. Con la vista puesta en el logro de una sociedad del bienestar, las participaciones y decisiones de la política educativa deben considerar en primer término los actores o sectores de la sociedad que se encuentren más rezagados, lo que implica una atención prioritaria a las comunidades indígenas, campesinas y de los barrios pobres de las ciudades.

Finalmente, el proyecto transformador de la educación y el aprendizaje en México tiene que acompañarse de políticas sociales, económicas y culturales simultáneas o co-evolutivas; de lo contrario, es altamente probable que las metas y objetivos no se cumplan como se planea o que se conviertan en un fracaso total.

REFERENCIAS

- Aboites, H. (2020,). *Reforma de la pandemia: Los costos*. La Jornada.
- Andere, E. (2013). *La escuela rota, sistema y política en contra del aprendizaje en México*. Siglo XXI editores.
- Andere, E. (2015). *¿Cómo es el aprendizaje en escuelas de clase mundial?* Pearson.
- Banco Mundial. (2020). *COVID-19: Impactos en la educación y respuestas de política pública*. Banco Mundial.
- Cámara de Diputados. (2019). *Ley General de Educación*. Nueva Ley DOF 30-09-2019.
- Cámara de Diputados. (2020). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Última Reforma DOF 06-03-2020.
- Cámara de Diputados. (2021). *Ley General de Educación Superior*. Nueva Ley DOF 20-04-2021.
- Chang, H. (2002). Breaking the mould: An institutionalist political economy alternative to the neo-liberal theory of the market and the state. *Cambridge Journal of Economics* 26(5), 539-559.
- De Sousa, B. (2017). *La universidad en el siglo XXI*. Siglo XXI editores.
- Del Castillo-Alemán, G. (2012). Las políticas educativas en México desde una perspectiva de política pública: gobernabilidad y gobernanza. *Magis. Revista Internacional de investigación en educación* 4(9), 637-652.
- García-Galván, R. (2005). El enfoque de redes socio-técnicas como herramienta metodológica para los estudios territoriales de la tecno-industria. *Quivera* 7(2), 8-40.
- García-Galván, R. (2008). Implicaciones ideológicas, epistemológicas y cognitivas de la propuesta de reforma petrolera en México. *Quivera* 10(1), 172-191.
- García-Galván, R. (2014). Desempeño económico y factores que se encuentran detrás del rezago tecnocientífico en México. Cofactor. *Revista del Consejo de Investigación y Evaluación de la Política Social* 9, 115-148.
- García-Ruiz, M. J. y Arechavaleta, C. (2011). Razones subyacentes al éxito educativo de Corea del Sur. *Revista Española de Educación Comparada* 18, 203-224.
- Jiménez-Naranjo, Y., y Mendoza-Zuany, R. G. (2016). La educación indígena en México: una evaluación de política pública integral, cualitativa y participativa. *LiminaR* 14(1), 60-72.
- Merton, R. (1988). The Matthew effect in science, II. Cumulative advantage and the symbolism of intellectual property. *ISIS* 79, 606-623.
- Miranda, L. (2018). Infraestructura escolar en México: brechas traslapadas, esfuerzos y límites de la política pública. *Perfiles Educativos* 11(161), 32-52.
- Monzón, T. M. Y. (2015). Una política educativa: la equidad. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 5(10), 1-16.
- Ornelas, C. (2013). *El sistema educativo mexicano. La transición de fin de siglo*. FCE, CIDE y Nafinsa.
- Presidencia de la República. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Presidencia de la República.
- Plataforma Electoral y Programa de Gobierno. (2018). *Proyecto Alternativo de Nación 2018-2024*. Presidencia de la República.
- Sahlbert, P. (2013). *El cambio educativo en Finlandia; ¿qué puede aprender el mundo?* Paidós.
- SEP. (2017). *Modelo educativo para la educación obligatoria*. Secretaría de Educación Pública.
- SEP. (2019). *La Nueva Escuela Mexicana: principios y orientaciones pedagógicas*. Secretaría de Educación Pública.
- Solís, L. (1999). *Evolución de la economía mexicana*. El Colegio Nacional.
- Uib-INIDE. (2015). *La política educativa del sexenio 2013-2018. Alcances y límites*. Documento de investigación No. 7. Universidad Iberoamericana.
- Victorino, R. L., Torres, C. G. y Astriano M. R. A. (2017). Estado, gobierno y política pública: El debate de la reforma educativa, 2012-2013 y sus alternativas. *Voces de la educación* 2(2), 179-199.

Comprensión del concepto de derivada a partir de las construcciones de Newton y de Leibniz en el marco de la Enseñanza para la Comprensión: Un estudio de caso de profesores en formación

América María Cardona Arias¹

Zaida Margot Santa Ramírez²

Universidad de Antioquia

Tecnológico de Antioquia

Colombia

El presente trabajo de investigación³ tiene como propósito analizar la comprensión de un grupo de profesores en formación sobre el concepto de derivada desde su aspecto histórico, enfocado en conocimientos que subyacen de las dinámicas socio-históricas del contexto que determinaron la construcción del cálculo y de la derivada, a partir de los desarrollos de Newton y de Leibniz (Moreno, 2014). La importancia del concepto de derivada para la comprensión del cálculo y para diferentes campos de la ciencia, además de las diversas dificultades en su comprensión, pone en evidencia la necesidad de generar estrategias de formación que contribuyan al alcance de un conocimiento histórico y contextualizado de las matemáticas, que despierte interés y motivación en los estudiantes. Para esto, se desarrolla un estudio cualitativo con un diseño metodológico que propone diversas tareas de formación que favorezcan el conocimiento de la derivada; adicionalmente, se indaga por los niveles de comprensión alcanzados por los profesores participantes en torno al concepto. Por lo tanto, la construcción, aplicación y análisis de estas tareas, estarán fundamentados en el marco de la Enseñanza para la Comprensión, el cual concibe la comprensión como un proceso continuo que busca que el estudiante vaya más allá de sus conocimientos, que le permitan pensar y actuar con flexibilidad en diferentes contextos (Perkins, 1999). A partir del desarrollo de las tareas de formación en diferentes encuentros sincrónicos, se logra realizar un análisis de la comprensión de la derivada alcanzada por los profesores en formación en el contexto de Newton y de Leibniz; en consecuencia, se consolida una estrategia metodológica que contribuye a la comprensión del concepto desde el estudio de su naturaleza y estructuración, lo que posibilita aportar metodológicamente al proceso de enseñanza y aprendizaje del profesor de matemáticas en formación.

¹ Estudiante de maestría en educación.

Contacto: america.cardona@udea.edu.co

² Doctora en Educación.

Contacto: zaida.santa@tdea.edu.co

³ Este proyecto surge de la tesis de maestría *Comprensión del concepto de Derivada de Maestros en formación en el Contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC*, la cual se desarrolla actualmente en el marco de un programa de Maestría en Educación modalidad virtual de la Universidad de Antioquia.

1. INTRODUCCIÓN

En general, el profesor, como sujeto presente en el proceso de enseñanza y aprendizaje, determina en gran medida la comprensión alcanzada por sus estudiantes; este hecho, fundamental en el proceso educativo, también permea la formación de profesores, en lo que concierne a las prácticas tempranas, las cuales deberían estar orientadas a incorporar y proporcionar estrategias, conocimientos y procesos diversos que puedan ser utilizados, a posteriori, por el futuro profesor en su práctica pedagógica, para fortalecer la formación de sus estudiantes.

Lombardi y Abrile (2015) argumentan que los estudios investigativos centran su atención en los procesos de formación en educación superior, como es el caso de los aspectos referidos al fortalecimiento de la práctica pedagógica, dado que se considera que la formación teórica y el desempeño en el aula no son elementos que pueden abordarse de forma aislada, sino de forma interdependiente; por lo tanto, una de las metas para el 2021 de los estados Iberoamericanos en educación, es mejorar la formación inicial de profesores mediante la cooperación de personas expertas que pertenezcan a grupos de estudio de formación docente, para movilizar ideas, realizar intercambios y encuentros que potencien los objetivos educativos de sus países.

Los profesores de matemáticas, mediante la consolidación de grupos de profesionales de la educación, han manifestado un amplio interés por investigar la naturaleza del conocimiento matemático, su proceso de construcción y las metodologías más propicias para su enseñanza y aprendizaje; esto se ha evidenciado en congresos y encuentros de matemática educativa, en los que han participado (Chaves y Salazar, 2003), con el objetivo de fortalecer dichos procesos y aportar con ello a la comprensión de los estudiantes; en este sentido, Kilpatrick et al. (1998) argumentan que, dentro de las disciplinas o campos de conocimiento, las matemáticas son consideradas de gran complejidad y con múltiples cuestionamientos, lo que las ha convertido en objeto de investigaciones en el campo de la enseñanza y de la educación.

En esta línea, Panasuk y Horton (2013) refieren que la educación matemática, en la actualidad, tiene como necesidad fundamental investigar sobre aspectos que contribuyan con el mejoramiento del aprendizaje en los estudiantes, su rendimiento y la comprensión de cada concepto, resaltando su significado para el sujeto y la sociedad. Para lograrlo, se hace ineludible entender las matemáticas como una creación humana, producto de las necesidades propias del contexto; sin embargo, esta ciencia, a menudo, es considerada como un conjunto de axiomas, teoremas y pruebas, desconociendo diferentes dinámicas socioculturales e históricas que ponen de manifiesto la dimensión humana y cultural de las matemáticas (Tzanaski et al., 2002; Furinghetti, 2007; Liu y Niess, 2009).

Por lo tanto, para aportar a la formación sólida del conocimiento matemático, es necesario que los profesores comprendan la importancia y la utilidad de aspectos que van más allá de lo algorítmico; en este sentido, Romero (2013) resalta los aportes de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias en la formación de profesores de matemáticas, tanto en el aspecto disciplinar como en orientaciones sobre la enseñanza de estas. Brush (1991) presenta la historia como un espacio importante para la enseñanza de las matemáticas, puesto que pone en evidencia la relación que existe entre hechos subjetivos con la construcción de los conceptos, lo cual puede generar motivación e interés por el aprendizaje de las ciencias y, con ello, propiciar mayor participación del estudiante en su proceso. de Guzmán (2001) refiere que:

A mi parecer, un cierto conocimiento de la historia de la matemática debería formar parte indispensable del bagaje de conocimientos del matemático en general y del profesor de cualquier nivel, primario, secundario o terciario, en particular. Y, en el caso de este último, no sólo con la intención de que lo pueda utilizar como instrumento en su propia enseñanza, sino primordialmente porque la historia le puede proporcionar una visión verdaderamente humana de la ciencia y de la matemática (...) La visión histórica transforma meros hechos y destrezas sin alma en porciones de conocimiento buscadas ansiosamente y en muchas ocasiones con genuina pasión por hombres de carne y hueso que se alegraron inmensamente cuando por primera vez dieron con ellas. Cuántos de esos teoremas, que en nuestros días de estudiantes nos han aparecido como verdades que salen de la oscuridad y se dirigen hacia la nada, han cambiado de aspecto para nosotros al adquirir un perfecto sentido dentro de la teoría, después de haberla estudiado más a fondo, incluido su contexto histórico y biográfico.

En este contexto, Area et al. (2014) argumentan que los profesores, formadores de profesores, deben encaminar su instrucción hacia enseñar a aprender historia, es decir, es indispensable que el formador cuente con los instrumentos didácticos necesarios para ese fin, para que luego sea capaz de enseñar a los profesores en formación. En este contexto, Tzanaski et al. (2002) presentan un estudio en el que concluyen la importancia de la incorporación de la historia en la enseñanza de las matemáticas porque permite el enriquecimiento y perfeccionamiento del aprendizaje de la ciencia y puede generar una predisposición afectiva hacia las matemáticas al considerarla una actividad cultural y humana, en la diferenciación entre la naturaleza y la práctica matemática; así mismo, Liu (2003) precisa que la historia en la enseñanza de las matemáticas ayuda a desarrollar el pensamiento matemático en los estudiantes y se convierte en una guía metodológica para los profesores, en tanto que permite afianzar una actitud positiva hacia el aprendizaje de esta ciencia.

Por otro lado, el cálculo infinitesimal, como rama de las matemáticas, no es ajeno a estas reflexiones en torno a su proceso de enseñanza y aprendizaje; más aún si se considera que la enseñanza del cálculo es de vital relevancia y es uno de los mayores desafíos de la educación matemática actual, ya que su aprendizaje se relaciona con numerosas dificultades de pensamiento de orden superior, como lo son la abstracción, el análisis y la demostración (Vrancken et al., 2006). Por lo tanto, al constituirse el cálculo infinitesimal como una herramienta fundamental en la educación matemática, el tratamiento histórico de este podría aportar al proceso de su enseñanza y, en consecuencia, de su aprendizaje, si se estudian las múltiples situaciones que subyacen al origen de este. Como lo menciona Moreno (2014), se resaltan los conocimientos sobre el cálculo infinitesimal que se originaron a partir de los pensamientos y desarrollos matemáticos de Newton y de Leibniz; sin embargo, más que atribuir a una o varias personas dicho nacimiento, es necesario considerar los intereses o los aspectos históricos del contexto que determinaron el surgimiento del cálculo.

En concordancia, Muñoz y Román (1999) argumentan que el tratamiento histórico en la enseñanza del cálculo infinitesimal podría aportar a su aprendizaje, en tanto este conocimiento matemático encierra múltiples situaciones propias de las construcciones logradas por Newton y por Leibniz. Aunque el cálculo infinitesimal fue el resultado de una gran variedad de ideas y construcciones de físicos y matemáticos alrededor de conceptos como tangentes, extremos y áreas, fueron Newton y Leibniz quienes retomaron estos conocimientos para convertirlos en conceptos más generales, como es el caso de la derivada; fue precisamente este hecho decisivo el que les otorgó el título de creadores del cálculo (Ponte, 2015).

Por otra parte, la derivada se constituye en uno de los conceptos más importantes del cálculo infinitesimal, que debe ser estudiado y analizado en diversas carreras universitarias. La relevancia de la derivada radica en que está presente en fenómenos relacionados con el movimiento, tasas de cambio, velocidades, optimización, pendientes de recta, crecimiento de poblaciones, propagación e incremento de enfermedades, variaciones en la corriente eléctrica, crecimiento monetario, de ingreso y de gastos, entre otros; dichos conocimientos pertenecen a los diferentes campos de la ciencia (Sahín et al., 2015). La importancia del concepto enmarca la necesidad de que en la educación matemática se brinde la posibilidad al estudiante de acercarse intuitivamente a este, hasta llegar al tratamiento riguroso y matemático; este acercamiento puede desarrollarse a partir del estudio de las dinámicas socioculturales propias del contexto histórico que posibilitaron el surgimiento de dicho concepto. En este sentido, Ramírez (2009) precisa:

La historia y la epistemología de la función derivada como objeto del cálculo diferencial dan cuenta de la complejidad y de los vaivenes que en veinte siglos ha sufrido esta, hasta adquirir el estatus de función de derivada. El trabajo de cientos de humanos dedicados a su estudio, en distintas épocas y culturas, han hecho aportes que han permitido cambios y refinamientos de las ideas matemáticas de la función derivada para convertirla en un objeto (puro, aplicado y a enseñar), muy potente.

Sin embargo, las dinámicas socioculturales y el contexto histórico de la época son obviadas, en la mayoría de los casos, en los procesos de enseñanza de la derivada; la orientación de su enseñanza ha estado marcada por el análisis matemático, por la resolución de problemas o por enfoques que priorizan la estructura del contenido algebraico, numérico, gráfico, infinitesimal, geométrico, variacional y computacional (Dolores, 1998), lo cual deja relegadas las implicaciones históricas propias del concepto. Lo anterior se evidencia en la revisión de literatura realizada por Sánchez et al. (2008), en la que pretendieron

investigar cómo el estudiante de secundaria o de primeros años de universidad llega a entender el concepto de derivada; en dicho análisis, los autores lograron identificar cierta dificultad exhibida por los estudiantes al momento de relacionar un proceso determinado con el concepto de derivada.

Similarmente, se han desarrollado investigaciones sobre la comprensión que los profesores tienen del concepto de derivada; en este sentido, Desfitri (2016) realizó un estudio con profesores de Indonesia para analizar la forma en que estos comprendían los conceptos de límite y de derivada; por su parte, Orhun (2013) y Domínguez et al. (2019) realizaron investigaciones para la enseñanza y la comprensión de la derivada, a través de la resolución de problemas y mediante la interpretación gráfica, respectivamente, ambos con el objetivo de generar acciones para reestructurar la enseñanza del concepto y, como consecuencia, mejorar su aprendizaje. Así mismo, Badillo (2003), en su tesis doctoral, desarrolló un estudio con profesores de matemática en Colombia que tuvo por objetivo identificar y describir la relación entre el conocimiento de la derivada como objeto matemático y el conocimiento didáctico en la secundaria, para entender la práctica profesional y, desde allí, incidir en la formación permanente del profesorado.

A partir de estos estudios se pueden observar diversas investigaciones centradas en la comprensión del concepto de derivada desde diferentes metodologías o enfoques, pero que no consideran el aspecto histórico del concepto; esta situación pone en evidencia que las prácticas en el aula para la enseñanza y comprensión de la derivada, relegan los procesos históricos de la ciencia, impidiendo con ello el abordaje de este campo que proporcionaría a los estudiantes un conocimiento significativo del cálculo.

Por otro lado, con el objetivo de identificar qué comprenden ciertos estudiantes sobre el concepto de derivada desde un aspecto histórico, se realizó una entrevista a un profesor que dirige un curso de cálculo en varias variables en una licenciatura en matemáticas y física de una universidad pública de Colombia; en esta, se indagó sobre las concepciones que el profesor tiene en torno a la implementación del aspecto histórico para la formación inicial de profesores de matemáticas, la enseñanza del cálculo y, específicamente, de la derivada, destacando su importancia, enseñanza, experiencias y comprensión de los estudiantes.

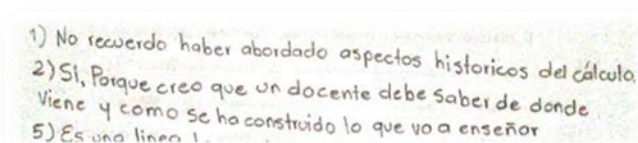
En esta entrevista, el profesor hizo alusión a la poca importancia que se le ha dado al aspecto histórico de la derivada en el currículo actual, ya que se suele hacer énfasis en el componente operativo, mecánico o algorítmico; así mismo, el profesor considera que el aspecto histórico debe ser abordado en cada uno de los cursos, no como una asignatura separada, sino como parte de un programa que se relacione con el cálculo por lo menos en los conceptos más fundamentales, como es el de la derivada; sin embargo, el profesor acudió a su experiencia y a la de muchos de sus compañeros para explicar que esta falencia, posiblemente, se da por desconocimiento de ellos mismos. Particularmente, ante la pregunta ¿considera usted relevante la comprensión del concepto de derivada desde su aspecto histórico, de los profesores en formación inicial de matemáticas?, ¿por qué?, el profesor respondió:

Sí, fundamental, porque de alguna manera el concepto de derivada pues logra explicar algunos problemas que la historia en su momento no lograba explicar: el asunto de la recta tangente a una curva en un punto, el límite de las dos secantes, el asunto de la velocidad instantánea, ¿qué es la velocidad instantánea?, entonces, en ese sentido, digamos que el recorrido histórico de la derivada, digamos que permite, en un momento dado, darle la importancia que se merece al cálculo como tal para futuros licenciados en matemáticas y física y para futuros profesores en formación. Entonces, en ese sentido, una de las preocupaciones que tiene que ver con tu pregunta es, bueno ¿qué vamos a hacer cuando los cursos de cálculo desaparezcan? (...) desde el punto de vista didáctico nos tiene que, de alguna manera, nos tiene que ocupar el asunto de cómo comprenden los estudiantes el concepto de derivada para poderlo transmitir a los estudiantes (profesor entrevistado, 2020, fragmento de entrevista).

Del mismo modo, se aplicó un cuestionario (diagnóstico) a un grupo de estudiantes⁴ de una licenciatura en matemáticas y física de la misma universidad del profesor entrevistado; las preguntas estaban referidas al

⁴ El grupo de estudiantes al que se le aplicó el cuestionario estaba compuesto por 11 personas; sin embargo, el día de la aplicación faltaron algunos de ellos debido a la anormalidad académica que se vivía en el momento a partir de la situación política, social y económica del país.

aspecto histórico, numérico y gráfico de la derivada. En el análisis de las preguntas, se obtuvieron las siguientes respuestas con respecto a los ítems: abordaje del aspecto histórico matemático en diferentes cursos (Figura 1, primera respuesta), importancia de dicho abordaje para su proceso de formación (Figura 1, segunda respuesta), cálculo de algunas derivadas de funciones (Figura 2) y algunas relaciones entre gráficas de funciones (Figura 3).



1) No recuerdo haber abordado aspectos históricos del cálculo.
 2) Si, Porque creo que un docente debe saber de donde viene y como se ha construido lo que va a enseñar
 5) Es una linea l.

Figura 1. Respuesta de un estudiante a preguntas 1 y 2 de cuestionario diagnóstico

3. Calcule las derivadas de las siguientes funciones:

- a. $f(x) = 2x^4 + x^3 - x^2 + 4 = 12x^3 + 2x^2 - 2x$
 b. $g(x) = \sin(4x) = \cos x$
 c. $h(x) = e^{3x} + 2$

Figura 2. Respuesta de un estudiante a la pregunta 3

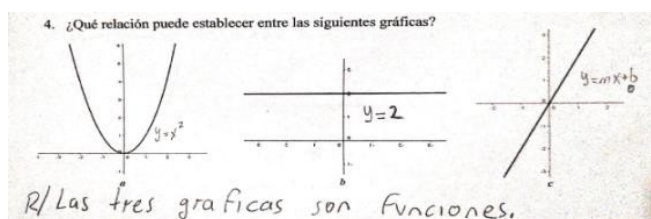


Figura 3. Respuesta de un estudiante a la pregunta 4

Los anteriores registros permiten observar que los profesores en formación inicial, en la mayoría de los cursos, no abordan aspectos históricos de los objetos matemáticos (Figura 1); por lo tanto, no tienen conocimiento del proceso de construcción del concepto de derivada y, aún menos, de los matemáticos que hicieron parte de este; sin embargo, lo consideran importante para su formación tanto para la comprensión de los conceptos como herramienta metodológica (Figura 1). Por otra parte, cuando se les pidió que definieran el concepto de derivada, lo asociaron a la recta tangente a una curva, a una razón de cambio o, simplemente, no respondieron; así mismo, cuando se les solicitó resolver unos ejercicios relacionados con este concepto, la mitad de ellos lo hicieron de manera errónea (Figura 2).

Son evidentes las falencias que presentan estos estudiantes en la comprensión del concepto, en tanto no logran relacionar el desarrollo numérico y el análisis gráfico que lo involucra; en este caso, se resalta que los estudiantes que respondieron el cuestionario ya han pasado por un curso de cálculo diferencial y, aunque se les hizo referencia a la intencionalidad de las preguntas con respecto a dicho concepto, esto no permitió que se realizara una reflexión sobre las gráficas de la Figura 3 que, si bien representan funciones, estas también guardan una estrecha relación y consecuencia con el concepto de derivada.

Los planteamientos hasta aquí expuestos permiten resaltar diferentes autores la importancia que la historia tiene en el aprendizaje de la ciencia, puesto que despierta interés y motivación en los estudiantes, contribuye a su comprensión, permite la integración con otras disciplinas, desarrolla un aprendizaje menos logarítmico y más funcional hacia un conocimiento más contextualizado de las matemáticas, en particular del concepto de derivada, el cual es fundamental para el cálculo y para el aprendizaje y aplicación de otras disciplinas; además, las actividades de indagación (entrevista y cuestionario) y la revisión de algunos aspectos teóricos y metodológicos de ciertos estudios, permiten inferir que los profesores en formación tienen dificultades para comprender el concepto de derivada, no solo desde su aspecto histórico, sino numérico o gráfico. Por lo tanto, la presente propuesta de investigación pretende responder a la siguiente pregunta: ¿cómo comprenden los profesores en formación el concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC?

Para dar respuesta a la anterior pregunta de investigación, se plantea el siguiente objetivo general: analizar cómo comprenden los profesores en formación el concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC⁵. Del mismo modo, en pro de la consecución del objetivo general, se plantea lo siguiente:

- Analizar el contexto sociocultural de Newton y de Leibniz presente en el concepto de derivada.
- Evaluar tareas de formación en torno al concepto de derivada, diseñadas para los profesores en formación, a partir de las dinámicas socioculturales de Newton y de Leibniz, en el marco de la EpC.
- Describir la comprensión del concepto de derivada de profesores en formación en el contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC.

2. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presentan algunos antecedentes del estudio, en el que se abordan aspectos relacionados con el contexto histórico del concepto de derivada, la relevancia de la historia para la formación de profesores de matemáticas y para la enseñanza y el aprendizaje del cálculo; además, se señalan algunas generalidades de la comprensión en Educación Matemática, por estar el objeto de estudio del proyecto centrado en la comprensión del concepto de derivada.

2.1 Desarrollo histórico del concepto de derivada

Aunque los precursores de Newton trabajaron en temas relativos al cálculo diferencial, como lo son rectas tangentes, curvaturas, máximos y mínimos, entre otros, hacía falta determinar la relación existente entre la geometría analítica y la mecánica, lo cual fue logrado por el mismo Newton y expuesto, posteriormente, en su obra *Principia* (Newton, 2011), donde reposan los sustentos teóricos de lo que se conocería más adelante como el método de fluxiones (Montesinos, 2009). Newton logró formular su cálculo infinitesimal a partir del concepto de infinito desde una perspectiva física y matemática, tal como lo precisa Guicciardini (2007), las matemáticas tempranas de Newton se basaban en un uso brillante de las magnitudes infinitesimales (*momentos*, magnitudes *indefinidamente* o *infinitamente* pequeñas generadas por el flujo continuo en un momento de tiempo).

En este sentido, Newton partió de su análisis de la naturaleza para construir el cálculo infinitesimal y así poder explicar los fenómenos allí presentes; esta construcción desarrolló, entre otros productos, métodos y tablas de derivación e integración, como lo son el de la regla de la cadena y la sustitución, respectivamente (Muñoz y Román, 1999). Por otro lado, Montesinos (2009) refiere que el infinito también fue un punto de partida importante que posibilitó las construcciones y aportes de Leibniz; aunque, a diferencia de Newton que lo analizaba a partir del estudio de la naturaleza, Leibniz desarrolló el concepto de infinito en una forma más metafísica y religiosa, sin desconocer la aplicabilidad y utilidad para la matemática y la física o, como se conocía en ese entonces, para la filosofía natural, esto es: para Leibniz la Matemática está entre la Física y la Metafísica, ciencia esta última de los primeros principios o causas, que proporciona el marco conceptual de fondo en el que se despliega la física de lo real, labrada con la matemática del cálculo infinitesimal. (Montesinos, 2009).

En 1673, Leibniz trabajaba en encontrar la tangente a una curva, situación que lo llevó a percatarse de que este era el proceso inverso para hallar áreas y volúmenes, logrando definir lo que hoy se conoce como integrales, pero al involucrar el cociente de incrementos muy pequeños de las cantidades x e y , logró determinar la tasa de cambio de y como función de x , precisamente allí es donde construye el concepto de derivada. Por otra parte, Newton, en 1687, publica en su *Principia* las leyes matemáticas del movimiento, originadas en el cálculo infinitesimal desarrollado por él desde 1665, y donde se abordaba la derivada como la ecuación de una función $f(x)$ si el área de su gráfica era de la forma xm (Newton, 2011); este planteamiento era similar al planteado por Leibniz, la diferencia radicaba en asumir la fluxión como la cantidad que se acerca a cero pero nunca llega, de donde, a su vez, se introduce la idea de límite (Stewart, 2008).

⁵ Para hacer referencia al marco conceptual de la Enseñanza para la Comprensión, en párrafos posteriores se utilizarán las siglas EpC.

2.2 Historia para la enseñanza y el aprendizaje del cálculo

La historia de las matemáticas se constituye como un recurso que, entre otros aspectos, permite la superación de obstáculos epistemológicos, promueve la reflexión del estudiante e integra las matemáticas con otras disciplinas; en este sentido, abarca un papel más significativo que el de recolección de anécdotas, datos antiguos y sucesos acumulados, lo que consolida a la historia como un campo amplio en la práctica educativa (Liu y Niess, 2009; Chaves y Salazar, 2003; Protti, 2003). La historia debe proporcionar una visión más amplia de la que se le dota en muchas ocasiones en un proceso de enseñanza de las matemáticas, donde estas últimas se suelen presentar como herramientas o procedimientos que adquieren su valor y validez por medio de la realización de algoritmos correctos y la solución de ejercicios con respuestas exactas; estas estrategias dejan a un lado el conocimiento histórico, el cual puede exponer las contribuciones de las diferentes culturas a sus diversas ramas, que van desde las geometrías euclidianas y no euclidianas hasta el cálculo mismo (Panasuk y Horton, 2013).

En este sentido, todo el interés para la construcción e implementación de estrategias didácticas que aporten a la comprensión de los conceptos presentes en el cálculo, precisan de una mayor comprensión sobre las matemáticas involucradas y, por lo tanto, requiere de una transformación de los procesos y metodologías presentes en la formación docente (Moreno, 2014). En el caso colombiano, desde los Estándares Básicos de Competencias (MEN, 2006) y los Lineamientos Curriculares del Ministerio de Educación Nacional (MEN, 1998), se abre el camino hacia la incorporación de la construcción de las ciencias en la enseñanza de las matemáticas, a partir del apropiamiento de la concepción sobre el saber disciplinar como el producto de una actividad de comunidades profesionales donde están presentes prácticas y conceptos ligados a un contexto cultural e histórico, en proceso continuo de reconstrucción (MEN, 2006).

2.3 Historia de la matemática en la formación de profesores

Los profesores, en general, deben recibir orientación sobre contenidos y ajustes metodológicos adecuados para la enseñanza de las matemáticas, puesto que este es un factor determinante del rendimiento educativo de los estudiantes, contribuye al desarrollo de sus habilidades y capacidades científicas, y permite resolver los problemas que surgen durante la producción del conocimiento de esta ciencia; lo anterior precisa de un apropiado proceso de formación docente (Dejiz y Mihajlović, 2014; Pivatto, 2014; Tzanaski et al. 2002).

Así mismo, los profesores en formación necesitan de un espacio que les permita reorientar las metodologías tradicionales de enseñanza; este contexto puede ser proporcionado por la historia de las ciencias, la cual favorece su conocimiento disciplinar y aporta el sustento necesario para la integración del discurso matemático y el didáctico en las prácticas educativas (Mora et al., 2016; Furinghetti, 2007).

Sin embargo, el desconocimiento de los profesores en formación de dicho aspecto es una de las razones por las que no se incluye en los planes de estudio de matemáticas; así mismo, esto lleva a los estudiantes a construir o seguir sus propios caminos en la apropiación de los conceptos, facilitando la formación de concepciones alternativas y prácticas equivocadas sobre el conocimiento matemático y sus procesos de enseñanza, lo que, a su vez, puede generar temor y desconfianza a la hora de abordar la historia (Furinghetti, 2007; Panasuk y Horton, 2013).

Esta falta de confianza es un factor que debe ser analizado tanto en los programas escolares como en la preparación inicial de los profesores y en su práctica pedagógica, lo cual puede convertirse en una oportunidad para incluir en los procesos de enseñanza el conocimiento de la naturaleza de las matemáticas, su significado cultural y su influencia en el desarrollo tecnológico y científico de la sociedad, propendiendo por una mejor comprensión disciplinar de los estudiantes (Panasuk y Horton, 2013).

Por lo tanto, es importante la inclusión de cursos específicos de historia en los programas de estudio de las carreras relacionadas con la enseñanza de las matemáticas, los cuales deben contemplar elementos teóricos de la historia; además, brindar claridad frente a qué tipo de conocimiento puede hacer un uso real de la historia para su enseñanza (Chaves y Salazar, 2003; Panasuk y Horton, 2013; Jankvist et al., 2015).

2.4 La comprensión en educación matemática

De acuerdo con Perkins (2002), *comprender es la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe. Para decirlo de otra manera, la comprensión de un tópico es la 'capacidad de desempeño flexible' con énfasis en la flexibilidad.* Esta definición de comprensión, desde el marco conceptual de la EpC, destaca la habilidad de implementar diferentes conocimientos científicos y experienciales para ser aplicados de la forma más oportuna en ciertos momentos de la vida. En este sentido, la comprensión se constituye en una relación estrecha entre el pensamiento y la práctica, y su eficacia dependerá de las decisiones que se tomen en un momento determinado (Acevedo, 2011).

Por su parte, los Van Hiele, a partir de la propuesta de su modelo teórico para la enseñanza de la geometría, explican el proceso que se debe seguir para alcanzar la comprensión geométrica, mediante la estratificación del razonamiento en cinco niveles consecutivos: la visualización, el análisis, la deducción informal, la deducción formal y el rigor, los cuales se repiten con cada nuevo aprendizaje (Vargas y Gamboa, 2013). Así mismo, Jaime (1993) precisa que el modelo de razonamiento geométrico de Van Hiele permite identificar diferentes formas de razonamiento y establece las pautas que los profesores deben llevar a cabo para contribuir al avance de los estudiantes en su nivel de razonamiento.

De acuerdo con Meel (2003), la concepción de comprensión para Pirie y Kieren se asume desde un proceso dinámico, en crecimiento, pero no consecutivo o lineal, el cual puede ser reorganizado; así mismo, alude a la comprensión desde la teoría APOE, donde la abstracción reflexiva planteada por Piaget se convierte en la base de la comprensión, ya que es un proceso cognitivo del estudiante basado en la reconstrucción y organización de acciones físicas y mentales hacia un nivel superior del pensamiento.

A partir de lo anterior, puede observarse que la comprensión es uno de los aspectos fundamentales del conocimiento humano, central en los procesos de enseñanza y aprendizaje, los cuales buscan, a su vez, la comprensión de un campo o saber específico; precisamente allí radica el interés que la didáctica de las matemáticas tiene sobre la noción de comprensión (Rico, 2009). Este aspecto suele ser uno de los más abordados en la educación y en la investigación científica; sin embargo, esto también ha venido permeando a la educación matemática, donde se han obtenido resultados y conclusiones importantes relacionados con el desarrollo de la comprensión de los estudiantes; sin embargo, aún persisten dificultades vinculadas a la naturaleza interna de la comprensión, relacionadas con la falta de conexión entre el conocimiento matemático y la realidad, lo cual se constituye en un problema metodológico que parte de lo teórico para llegar a lo práctico (Gallardo y González, 2007).

Comprender una disciplina o campo específico va más allá que aprender con comprensión su contenido básico, también debe incluirse la comprensión de su filosofía, metodología, alcances, limitaciones y desarrollo de actitudes positivas hacia la disciplina; sin embargo, la comprensión, entendida de esta manera, como un todo, no es muy común en las matemáticas, por lo que tratar de mejorarlo debe ser relevante para los estudiantes y profesores de matemáticas (Kilpatrick et al., 1998).

3. MARCO CONCEPTUAL: ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN

A continuación, se abordan los principales aspectos del marco conceptual de la Enseñanza para la Comprensión, el cual posibilitará fundamentar el presente proyecto de investigación, atendiendo a la pregunta de investigación y al objetivo planteado.

3.1 Generalidades

En 1988, un equipo de profesores e investigadores de la Universidad de Harvard se interesaron por el aprendizaje, la pedagogía, el desarrollo de los profesores y el mejoramiento de la escuela; a partir de estos precedentes, surgió el proyecto Cero, que permitió configurar el marco conceptual de la EpC, el cual busca fortalecer y alcanzar la comprensión del conocimiento en los estudiantes (Stone, 1999). En este sentido, Perkins (1999) precisa que comprender debe entenderse como la destreza para hacer algo o resolver un problema; así mismo, el autor aclara que la posibilidad de explicar, justificar, explorar, vincular y aplicar de

manera diversa determinado conocimiento es lo que se debe entender por desempeñarse con flexibilidad. Por su parte, Blythe y Perkins (2002) se refieren a la comprensión como proceso continuo, que debe considerar situaciones, tareas, aplicaciones, conexiones y acciones que se desarrollan a partir de los desempeños de comprensión, los cuales posibilitan que el estudiante vaya más allá de su conocimiento. Así mismo, Gardner y Boix (1999) definen la comprensión como *la capacidad de usar conocimientos, conceptos y habilidades en curso para iluminar nuevos problemas o temas no previstos*.

3.2 Elementos de la comprensión

Stone (1999a) considera necesario realizar procesos de reflexión en torno a la práctica educativa y a las metodologías curriculares, enfocados en responder a los cuestionamientos relacionados con: qué es necesario comprender, qué comprenderán los estudiantes y cómo favorecer y evaluar este proceso de comprensión; las anteriores preguntas permiten la estructuración de los elementos de la comprensión de la EpC, los cuales se describen a continuación.

El primer elemento lo constituyen los tópicos generativos, los cuales, a partir de lo planteado por Stone (1999a), se relacionan con aquello que es importante comprender, donde el profesor, como mediador, considera la necesidad del conocimiento disciplinar y el interés de los estudiantes, posibilitando que estos últimos trasciendan más allá de sus cuestionamientos iniciales y los vinculen a problemas fundamentales y amplios. De acuerdo con Pogré (2012), *para seleccionar los t picos, utilizamos cuatro criterios: deben ser centrales para la disciplina; accesibles, en términos cognitivos, e interesantes para los estudiantes; importantes e interesantes para el profesor y ricos en conexiones con el contexto y los recursos disponibles*. Similarmente, se encuentran las metas de comprensión, como segundo elemento del marco; estas hacen referencia a lo que se espera que los estudiantes comprendan al desarrollar una unidad o curso de estudio (Gardner y Boix, 1999). Las metas de comprensión se constituyen como ese destino compuesto por *conceptos, procesos y habilidades que deseamos que comprendan los alumnos y que contribuyen a establecer un centro cuando determinamos hacia dónde habrá que encaminarse* (Blythe y Outerbridge, 2002).

El tercer elemento son los desempeños de comprensión, los cuales configuran, expanden y construyen el conocimiento a partir de actividades basadas en los saberes previos de los estudiantes, para que este sea utilizado en nuevas formas y situaciones (Pogré, 2012). Del mismo modo, Stone (1999a) precisa que los desempeños se desarrollan de manera progresiva y estructurada, lo que permite dividirlos en tres categorías, a saber: se inicia con una etapa de exploración, seguida de una fase de investigación guiada y, finalmente, se realiza un proyecto final de síntesis; estas categorías buscan desarrollar y demostrar claramente la comprensión que los estudiantes tienen con respecto a las metas de comprensión establecidas con anterioridad.

Finalmente, el cuarto elemento es la evaluación diagnóstica continua; tal como lo plantea Blythe et al. (2002), no es un proceso de estimación, sino que contribuye al aprendizaje y permite comunicar a profesores y compañeros lo que el estudiante ha comprendido; además, brinda la oportunidad de realimentar y mejorar el proceso de comprensión. Inicialmente, el profesor realiza esta tarea de manera informal y luego, en la fase de investigación guiada, se consideran las apreciaciones de los estudiantes con respecto a todo el proceso de comprensión, logrando así definir criterios claros y coherentes de evaluación (Stone, 1999a).

3.3 Dimensiones para la comprensión

Boix y Gardner (1999) refieren que las dimensiones permiten describir las cualidades de la comprensión observables en los estudiantes; a su vez, mencionan que estas son específicas en las diferentes disciplinas y validadas en diversos saberes; estas dimensiones se dividen en cuatro, entre las cuales se encuentra la dimensión de contenido; los autores la definen como la que permite establecer el nivel de comprensión que el estudiante ha alcanzado, desde las perspectivas intuitivas y no escolarizadas, hasta procesos de comprensión flexibles, que le posibilitan utilizar conceptos coherentemente; en este sentido, Pogré (2012) afirma que *la dimensión del contenido contempla el conocimiento y el contenido del área disciplinar de enseñanza (...) Promovemos que los estudiantes transformen sus creencias intuitivas y que puedan construir redes conceptuales ricas y coherentes*.

Jaramillo et al. (2004) argumentan que la comprensión depende de las decisiones que se toman frente a ciertas afirmaciones, las cuales deben basarse en argumentos razonados, justos y bellos. De esta manera surge la dimensión de métodos, en la cual el conocimiento se asume como resultado de un cuidadoso proceso de investigación, realizado y debatido por comunidades de expertos, que el estudiante debe apropiarse para que, a partir de esta, logre debatir y validar, por medio de métodos confiables, lo que conoce o lo que se le menciona (Boix y Gardner, 1999).

Del mismo modo, se encuentra la dimensión de propósitos, la cual *evalúa la capacidad de los alumnos para reconocer los propósitos e intereses que orientan la construcción del conocimiento, su capacidad para usar este conocimiento en múltiples situaciones y las consecuencias de hacerlo* (Leguizamón y Pastorelli, 2011). Adicionalmente, Pogré (2012) argumenta que, esta dimensión, se fundamenta en la convicción del conocimiento como herramienta para explicar, reinterpretar y operar en el mundo, el cual se conecta e influye directamente con la vida del ser humano.

Finalmente, la dimensión de formas de comunicación, a partir de lo expuesto por Boix y Gardner (1999), evalúa en los estudiantes la utilización de métodos y símbolos que le permitan dar a conocer o expresar sus conocimientos, para que estos sean comunicados al público, ya sea de forma visual, verbal, escrita o corporal. La comunicación es fundamental para la comprensión, porque implica comprender a quién nos dirigimos, para así utilizar la forma de comunicación más apropiada; por otro lado, involucra conocer en lo personal la forma de comunicación en la cual se tiene mayor habilidad (Jaramillo et al., 2004).

3.4 Niveles de comprensión

Boix y Gardner (1999) plantean que la profundidad de la comprensión puede variar desde unos niveles más débiles a otros más avanzados; por lo tanto, se hace necesario diferenciarlos. Inicialmente, se encuentra el nivel de ingenuo, en el cual, de acuerdo con Pogré (2012), el estudiante no encuentra relación con el conocimiento y su realidad, no se indaga por sus bases, órdenes y la forma conveniente de comunicarlo. En consecuencia, en este nivel, el estudiante fundamenta su conocimiento a partir de lo intuitivo, lo que se constituye en un saber que se adquiere directamente del mundo y que no se diferencia del abordado en la escuela; además, est  totalmente desligado de un propósito y de un proceso de construcción (Boix y Gardner, 1999).

Posteriormente, est  el nivel de novato o principiante, en el que los estudiantes se basan *en procedimientos ritualizados y mecanismos de prueba. La naturaleza y los objetivos de la construcción del conocimiento son descriptos como procedimientos mecánicos. La validación de un trabajo depende más de la autoridad externa* (Leguizamón y Pastorelli, 2011). Así mismo, Pogré (2012) menciona que, en este nivel, se establecen conexiones simples y poco estructuradas entre conceptos o ideas disciplinarias.

Por otra parte, se halla el nivel de aprendiz, en el que, a partir de lo expuesto por Boix y Gardner (1999), el estudiante tiene un conocimiento disciplinar flexible, que percibe como una tarea compleja; con el apoyo del profesor, el estudiante puede relacionar, en ocasiones, este conocimiento con la vida cotidiana para establecer su pertinencia. Del mismo modo, Leguizamón y Pastorelli, (2011) refieren que, en este nivel, el proceso de comprensión se basa en conocimientos disciplinarios, donde se tiene un manejo amplio de conceptos que puede llegar a utilizar el estudiante, con apoyo, en su cotidianidad.

Cuando el estudiante tenga la capacidad de moverse con flexibilidad entre dimensiones, vinculando criterios de construcción y validación del conocimiento con el objeto de estudio, usando este conocimiento para expresarlo de forma creativa y para reinterpretar y actuar en el mundo, el estudiante se encontrará en el nivel de maestría (Pogré, 2012).

Al respecto, Boix y Gardner (1999) mencionan que, en este nivel, el estudiante concibe la construcción del conocimiento como una tarea compleja, realizada por comunidades de profesionales y validada a partir de métodos propios a la naturaleza del objeto. Además, en este nivel, el estudiante posee un desempeño de comprensión integrador, reflexivo, crítico y aplicable a su realidad (Leguizamón y Pastorelli, 2011).

3.5 Pertinencia del marco conceptual de la EpC en la investigación

Teniendo en cuenta las generalidades del marco conceptual de la EpC y considerando el objetivo del presente proyecto de investigación, el cual propende por analizar cómo comprenden los profesores en formación el concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC, se establece la comprensión como núcleo central común tanto del marco conceptual como del propósito de investigación.

En este sentido, si se espera analizar cómo un grupo de personas comprenden determinado objeto matemático, será necesario llevar a cabo un proceso continuo y delimitado por los presupuestos de la EpC, apoyado en la planificación y aplicación de actividades o tareas que propicien, en este caso particular, el alcance de la comprensión en la formación inicial de profesores, en torno al concepto de derivada desde su aspecto histórico.

Así mismo, el marco de la EpC puede adaptarse a un contexto determinado y ajustarlo a los objetivos de investigación, sin desconocer los propósitos del profesor formador; Ritchhart et al. (1999) precisan:

La habilidad en el manejo de la EpC se basa en interpretar los elementos del marco conceptual y adaptarlos para que respondan a las exigencias de un contexto concreto, mientras expresan los compromisos, las pasiones y la personalidad particulares del profesor. De tal forma, los profesores incorporan sus propios intereses y prioridades en su práctica de la EpC, dándole a cada aula sus rasgos distintivos.

Así mismo, cada uno de los elementos, dimensiones y niveles de comprensión se constituyen en una herramienta que permitirá reflexionar sobre las prácticas de enseñanza del concepto de derivada y la comprensión que los estudiantes están desarrollando del mismo; aunque el marco de la EpC no puede establecerse como una receta, sí permite instaurar pautas para generar tópicos, metas de comprensión y actividades curriculares y de evaluación, que posibiliten alcanzar la construcción de un conocimiento flexible, reflexivo y articulado a la realidad de los profesores en formación, en cuanto al objeto de estudio, lo que, a su vez, permitirá alcanzar el objetivo y dar respuesta a la pregunta de investigación.

4. Método

Para llevar a cabo el actual proyecto de investigación, se hace referencia a los siguientes aspectos de tipo metodológico: enfoque de investigación, diseño, participantes, métodos de recolección de información y proceso de análisis de esta. También se presentan algunas tareas de formación, las cuales permitirán el avance en la comprensión del objeto de estudio por parte de los profesores en formación.

4.1 Enfoque de investigación

Hernández et al. (2010) sostienen que los estudios cualitativos son dinámicos, dado que permiten la construcción de hipótesis antes, durante y después del proceso investigativo; adicionalmente, mencionan que este tipo de enfoque pretende reconstruir toda la realidad en la que se encuentra un grupo de estudio sin manipularla o condicionarla.

Del mismo modo, Galeano (2004) precisa que la investigación social cualitativa busca comprender la realidad a partir de las situaciones propias de los múltiples y heterogéneos actores sociales. En este sentido, la investigación cualitativa se convierte en un proceso interrogativo de comprensión que indaga por un problema social a partir del análisis de los discursos y acciones de los participantes (Creswell, 2013).

Con base en lo anterior, se puede establecer que el presente proyecto de investigación se enmarca en un enfoque cualitativo, puesto que no se pretende realizar medidas de un fenómeno u objeto de estudio, o generar teorías científicas; el propósito de este estudio es analizar la comprensión, como fenómeno social, de los profesores en formación en torno al concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz a partir de la EpC, considerando las dinámicas presentes en su proceso de formación y buscando, con ello, aportar a la comprensión misma del objeto matemático.

4.2 Diseño de investigación

Para abordar la investigación, se implementará un estudio casos, puesto que, como lo refiere Stake (1999), posibilita analizar y comprender la particularidad y complejidad de un caso en relación a sus acciones y contexto, considerándolo como un sistema integrado que incluye diversidad de características, las cuales brindan información necesaria para desarrollar el proceso de investigación. El estudio de casos permite profundizar determinado fenómeno en su contexto real, en casos únicos o múltiples, para, posteriormente, tomar registro de la investigación con la ayuda de diferentes herramientas o instrumentos de indagación (Yin, 1989). En este sentido, el estudio de casos posibilitará el análisis de reflexiones, percepciones y acciones de cada uno de los profesores en formación, en relación a la comprensión del aspecto histórico del concepto de derivada, a partir de las dinámicas socioculturales propias del contexto de Newton y de Leibniz.

Con base en lo planteado por Creswell (2013), el estudio de casos considera múltiples formas de recolección de información para describir, analizar y explicar a profundidad situaciones, en referencia a un mismo fenómeno u objeto de estudio, a partir de diferentes mecanismos como la observación, entrevistas y diarios. Por lo tanto, este diseño de investigación permitirá evidenciar los procesos de comprensión del concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz, bajo el marco de la EpC, donde cada una de las participaciones de los estudiantes, las actividades y productos, serán relevantes, puesto que se convertirán en los mecanismos de análisis y evaluación del proceso investigativo, tal como lo refieren Hernández et al. (2010) cuando afirman que el estudio de casos permite analizar profundamente una unidad para responder al planteamiento del problema inicial.

4.3 Participantes

Atendiendo al objetivo de investigación, los participantes que harán parte de la implementación de diversas tareas de formación⁶ propias del presente estudio, serán estudiantes de cierta licenciatura en matemáticas y física de una universidad pública colombiana; a su vez, considerando la particularidad del estudio, estos deberán estar matriculados en un curso de cálculo integral, puesto que, a partir del plan de estudio del programa de licenciatura, se establecen unos temas y conceptos que deben abordarse previamente, para poder realizar un adecuado desarrollo del curso, dentro de los cuales se encuentra el concepto de derivada; por lo tanto, se espera que los estudiantes tengan madurez teórica, al estar familiarizados con el concepto en cuestión; aunque, a partir de la actividad diagnóstica inicial, se pudo determinar que los profesores en formación presentan problemas de comprensión de este concepto particular, a pesar de que ya han pasado por un curso de cálculo diferencial.

Posteriormente, dentro de este grupo se seleccionarán los cinco profesores en formación que hayan exhibido mayores dificultades en la comprensión del concepto de derivada, de acuerdo con los resultados de una actividad diagnóstica previa (cuestionario). Del mismo modo, este análisis inicial posibilitará generar una serie de tareas de formación que contribuyan a la comprensión del concepto de derivada en el contexto de Newton y de Leibniz. La participación de los profesores en formación en el presente proyecto, debe ser voluntaria; además, se garantizará la reserva de su identidad si es requerido por los mismos; igualmente, se les informará oportunamente acerca de los logros y dificultades que se generaron como consecuencia de la realización de la investigación.

4.4 Métodos de recolección de información

Atendiendo al problema de investigación y, de acuerdo al enfoque y diseño del estudio, se implementarán tres instrumentos, de los cuales se espera obtener la información necesaria para dar cumplimiento al objetivo y responder la pregunta de investigación; la interpretación de dicha información podrá permitir refinar y reconfigurar tareas de formación que aporten a la comprensión de los profesores en formación del concepto de derivada desde el contexto de Newton y de Leibniz y enmarcada en la EpC. La observación será uno de estos instrumentos, puesto que esta posibilita al investigador una mejor comprensión del caso;

⁶ Las tareas de formación son problemas o actividades que se le plantean al profesor en formación, las cuales tienen como objetivo contribuir a su conocimiento para desarrollar un proceso de enseñanza de las matemáticas (Ponte et al., 2009).

adicionalmente, permite realizar una descripción de los acontecimientos para, posteriormente, analizarlos y conocer directamente el contexto donde se presenta el objeto de estudio (Stake, 1999; Bonilla y Rodríguez, 2015). En el presente proyecto se observará la realización de las diferentes tareas de formación desarrolladas por los profesores en formación que hagan parte del estudio.

La entrevista será otro de los instrumentos utilizados, en tanto que, a partir de lo mencionado por Hernández et al. (2010), a través de esta se logra construir y comunicar significados en torno a un tema determinado, dado que se convierte en un proceso flexible y amigable, además de ser determinante para el análisis e interpretación del fenómeno de estudio. En el desarrollo del proyecto se realizarán dos entrevistas semiestructuradas, una al inicio para establecer la comprensión que los profesores en formación tienen sobre el concepto de derivada y otra al finalizar la realización de las actividades y tareas de formación, con el objetivo de corroborar el proceso de comprensión alcanzado por los estudiantes. Finalmente, se considerará el material, producto de las actividades de comprensión realizadas por los profesores en formación, debido a que es una fuente muy valiosa dentro de la investigación cualitativa; este tipo de material permite conocer al investigador situaciones que se viven en un contexto determinado para, posteriormente, ser analizadas a la luz del problema de investigación y del marco conceptual (Hernández et al., 2010).

4.5 Tareas de formación: Comprensión del concepto de derivada desde las construcciones de Newton y de Leibniz

Las diferentes actividades que se llevan a cabo en el trabajo de campo se desarrollan con un grupo de profesores en formación de matemáticas, pertenecientes a la licenciatura en matemáticas de una universidad pública colombiana. Se construyeron y validaron diferentes tareas de formación, bajo el marco de la EpC, considerando un tópico generativo, hilo conductor, metas y desempeños de comprensión; estos elementos se abordan en las fases referidas en el marco conceptual: fase de exploración, fase de investigación guiada y fase de proyecto final de síntesis.

- Tópico Generativo: de qué manera las construcciones de Newton y de Leibniz permiten que los profesores en formación comprendan el concepto de derivada.
- Hilo Conductor: comprensión del concepto de derivada de profesores en formación a partir de las construcciones de Newton y de Leibniz.
- Metas de Comprensión: con las tareas de formación diseñadas, se espera que los profesores en formación:
 - Comprendan el concepto de derivada a partir de las construcciones de Newton y de Leibniz.
 - Identifiquen las diferencias de los desarrollos de Newton y de Leibniz en torno al concepto de derivada.
 - Establezcan las consecuencias sociales, científicas y personales presentes en la construcción y fundamentación del concepto de derivada.

4.5.1 Tareas de formación desarrolladas en las diferentes fases

En cada una de las fases de la EpC, se van a desarrollar diferentes tareas de formación de manera virtual, como se muestran en la Tabla 1, a partir de la utilización de una plataforma que nos posibilitará llevar a cabo entre ocho y nueve encuentros sincrónicos.

1. *Tareas de formación Fase de Exploración.* Esta fase de exploración, tal como lo refiere Stone (1999), tiene como propósito vincular al profesor en formación con el tópico generativo, sus conocimientos o experiencias previas y sus intereses; del mismo modo, se espera establecer los conocimientos previos del estudiante en torno al concepto de derivada y a su contexto histórico para, desde allí, determinar qué hace falta comprender o qué desean abordar.
 - *Cuestionario de Indagación a Profesores en formación.* Se iniciará el trabajo de campo con un cuestionario a los profesores en formación del curso de cálculo integral, perteneciente a la

licenciatura en matemáticas de una universidad pública de Colombia. El objetivo es indagar sobre la comprensión que tienen del concepto de derivada desde lo numérico, lo geométrico y desde su parte histórica; particularmente, se trata de indagar por las apreciaciones que tienen los profesores en formación en torno a la importancia o necesidad de abordar el aspecto histórico en el proceso de enseñanza y aprendizaje del cálculo y, en especial, en la enseñanza de la derivada.

Tabla 1. Tareas de formación para las fases de investigación.

Fase	Tarea de formación
Exploración	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuestionario de indagación a profesores en formación
Investigación guiada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Video historia de la derivada. ▪ Video entrevista a Newton y preguntas para su análisis. ▪ Video entrevista a Leibniz y preguntas para su análisis. ▪ Presentación de historieta. ▪ Realización conjunta de paralelo entre las construcciones de Newton y de Leibniz. ▪ Actividad con Geogebra.
Proyecto final de síntesis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presentación de propuesta para la enseñanza del concepto de derivada. ▪ Entrevista final a los profesores en formación.

2. *Tareas de Formación Fase de Investigación Guiada.* A partir del desarrollo de las diferentes tareas de formación en esta fase de investigación guiada, se busca que los participantes desarrollen habilidades y conocimientos que les permitan alcanzar las metas de comprensión referidas previamente (Stone, 1999). En general, las tareas de formación pretenden desarrollar y alcanzar progresivamente los diferentes desempeños necesarios para la comprensión del concepto de derivada a partir de las construcciones de Newton y de Leibniz.

- *Video Historia de la Derivada.* Para iniciar la fase de investigación guiada, se construye un video que aborda los aspectos más relevantes de la historia de la derivada, como fueron sus orígenes y su fundamentación matemática y geométrica; así mismo, se hace alusión a la polémica que propició sus inicios y a las consecuencias sociales de la misma. El video se basa, principalmente, en el texto *Historia de las matemáticas en los últimos 10.000 años* (Stewart, 2008), aunque también se consideran otros referentes teóricos. La visualización del video se realiza por medio de un encuentro sincrónico con los profesores en formación y la investigadora, además, el análisis se fundamenta en unas preguntas previas y posteriores a su visualización.
- *Video Entrevista a Newton.* Después de visualizar el video de introducción a la parte histórica del concepto de derivada, se construye un nuevo video que profundiza en la dimensión personal, formación y construcciones científicas realizadas por Newton con respecto al concepto de derivada; las ideas son tomadas, en su mayoría, del texto *Isaac Newton y Gottfried Leibniz. La polémica sobre la invención del cálculo infinitesimal*. Este video aborda, mediante una entrevista ficticia a Newton, las diferentes particularidades que hicieron parte de su vida, como también los estudios realizados por él, los cuales posibilitaron la fundamentación del concepto de derivada.
- *Video Entrevista a Leibniz.* Similar al video sobre Newton, se construye un video con una entrevista fingida a Leibniz, basado en el texto *Isaac Newton y Gottfried Leibniz. La polémica sobre la invención del cálculo infinitesimal*; el propósito del video es profundizar en la dimensión personal, formación y construcciones científicas realizadas por Leibniz alrededor del concepto de derivada, enfatizando en las situaciones y particularidades que rodearon la fundamentación construida por este autor sobre este concepto.
- *Presentación de Historieta.* Otra de las tareas a realizar en la fase de investigación guiada, consiste en la lectura y análisis de una historieta, que se construye considerando aspectos históricos abordados previamente sobre el concepto de derivada; la intencionalidad fundamental de la actividad es recrear, de manera esquemática y lúdica, las construcciones matemáticas realizadas por Newton y por Leibniz del concepto de derivada. La lectura y análisis se realiza de manera sincrónica entre investigadora y estudiantes; para facilitar este análisis, se requiere de la elaboración o impresión previa de las gráficas diseñadas por Newton y por Leibniz, desde las cuales realizaron y fundamentaron el concepto de

derivada, asociado a la representación numérica; además, en sintonía con las actividades anteriores, se proponen preguntas que orientan el análisis y reflexión de lo abordado en la historieta.

- *Realización conjunta de paralelo entre las construcciones de Newton y de Leibniz.* Después de realizar una introducción al contexto histórico del concepto de derivada y, teniendo en cuenta las situaciones que rodearon la construcción del concepto a partir de Newton y a partir de Leibniz, esta tarea de formación tiene como objetivo construir un paralelo con el que, además de establecer los diferentes aportes por parte de estos dos científicos, se intenta resaltar las diferencias y similitudes en sus aportes. Por medio de un encuentro sincrónico, de manera conjunta entre los profesores en formación y la investigadora, se abordan aspectos relevantes, tanto personales como científicos, de Newton y de Leibniz, como lo es el contexto social de cada uno de ellos, su formación en ciencias, los desarrollos matemáticos, los aportes al cálculo infinitesimal y las particularidades en la construcción del concepto de derivada.
- *Actividad con GeoGebra.* Para complementar el análisis matemático y geométrico del concepto actual de derivada logrado a partir de la historieta, considerando las construcciones realizadas por Newton y por Leibniz, se realiza otro encuentro sincrónico en el que, de manera conjunta y con base en el software GeoGebra, se busca replicar las construcciones geométricas de Newton y de Leibniz, con el objetivo de analizar, desde lo geométrico, los conceptos y propiedades numéricas presentes en la fundamentación del concepto. De igual manera que en las tareas de formación previas, se propicia la participación de los profesores en formación, por lo que la actividad se orienta por preguntas que dirigen la realización y análisis de dichas construcciones.

3. *Tareas de Formación del Proyecto Final de Síntesis.* De acuerdo con lo referido por Stone (1999), las tareas de formación, en la fase de proyecto final de síntesis, tienen como objetivo indagar la comprensión desarrollada por los participantes en torno a las metas de comprensión establecidas previamente. Por lo tanto, las tareas de formación propuestas tienen la intención de establecer claramente la comprensión alcanzada por los profesores en formación en cuanto al concepto de derivada y a su contexto histórico.

- *Presentación de Propuesta para la Enseñanza del concepto de Derivada.* Después de la realización de las diferentes tareas de formación en la fase de investigación guiada, esta tarea tiene como propósito la presentación, por parte de cada uno de los estudiantes, de una propuesta en la cual se propicia el diseño de una estrategia para la enseñanza del concepto de derivada, pero teniendo como aspecto central su contexto histórico. Se espera que, por medio de esta propuesta, los estudiantes puedan hacer uso de los conocimientos y comprensión lograda durante la realización de las tareas de formación, para construir su propia propuesta para la enseñanza del concepto de derivada.
- *Entrevista Final a los Profesores en Formación.* Para finalizar las tareas y, con el objetivo de indagar sobre la comprensión por parte de los profesores en formación del concepto de derivada, de las construcciones que posibilitaron su fundamentación y de las situaciones presentes en su contexto histórico, así como su percepción de la implementación de la historia para la enseñanza de la derivada, se construyó una entrevista final; esta se realiza de manera individual con cada uno de los participantes y de forma sincrónica con la investigadora.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el planteamiento del problema de investigación se realizaron dos actividades diagnósticas (entrevista a profesor y cuestionario a profesores en formación), tal como se mencionó en el apartado correspondiente; para la puesta en marcha del proyecto, en sí, se realizan y evalúan unas tareas de formación enfocadas a la comprensión del concepto de derivada desde el contexto de Newton y de Leibniz; posterior a estas, se efectúa una entrevista a cada uno de los participantes, indagando por la comprensión del objeto de estudio, tal como se precisó en párrafos anteriores.

Tanto el material obtenido de las tareas desarrolladas por los profesores en formación, como las entrevistas realizadas a los mismos y las observaciones que la investigadora lleve a cabo durante todo el proceso de

recolección de información, serán transcritos, revisados y analizados, con el objetivo de identificar los aportes y aspectos que posibiliten dar respuesta a la pregunta y contribuyan al alcance del objetivo de investigación.

Para llevar a cabo el análisis de la investigación, se considerará la información suministrada en la aplicación de los instrumentos referidos anteriormente; además, con la ayuda de herramientas digitales para la organización y clasificación de los datos, se realizará una triangulación de la información, constituida por el análisis de las diferentes actividades realizadas por los profesores en formación, a la luz del marco conceptual de la EpC, y fundamentada en las observaciones y percepciones de la investigadora.

Para analizar los niveles de comprensión alcanzados por cada uno de los profesores en formación, se construye una rúbrica, en la cual se relacionan categorías para las diferentes dimensiones de comprensión retomadas del marco de la EpC; estas categorías contemplan los desempeños por nivel de comprensión, con las cuales se espera relacionar tanto las dimensiones como los niveles, para hacer una descripción del avance en la comprensión alcanzado por cada uno de los cinco participantes, a la luz del objeto de estudio.

Posterior a la puesta en marcha de las diferentes tareas de formación en las fases de exploración, investigación guiada y proyecto final de síntesis, se hace una descripción de las características observadas en cada uno de los participantes con respecto a su proceso de comprensión durante el trabajo de campo, donde se retoman, para cada uno de los participantes, los aspectos más importantes que, como investigadores, se consideran necesarios para realizar un análisis de su comprensión en cada una de las fases desarrolladas.

6. CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación busca contribuir a la enseñanza del concepto de derivada a partir de los contextos de Newton y de Leibniz; por lo tanto, la implementación de la historia para la enseñanza del concepto se constituye en un referente metodológico en la enseñanza de las matemáticas y, en particular, en lo referido al concepto de derivada. Se aclara que este estudio se encuentra, al momento de esta publicación, ejecutando el trabajo de campo; en este sentido, las conclusiones que se presentan son previas y parciales.

Las diferentes tareas de formación desarrolladas en el marco de la propuesta permitirán articular diversas estrategias de enseñanza que vinculan la historia con conceptos matemáticos; esta relación logrará aportar a la comprensión de los profesores en formación. Es relevante destacar que la construcción de las tareas de formación contó con el apoyo de múltiples herramientas audiovisuales, con las que se espera dinamizar el trabajo de campo con los estudiantes, convirtiéndose en un medio que contribuya a la comprensión del concepto. Las diferentes tareas que se desarrollan en el trabajo de campo con los participantes, pueden propiciar el análisis de su comprensión a la luz de los descriptores de cada una de las dimensiones de comprensión, lo que, a su vez, posibilita establecer el nivel o niveles de comprensión alcanzados por los profesores en formación en las tres fases referidas en el marco de la EpC.

Por otra parte, la construcción de una rúbrica, fundamentada en las dimensiones de comprensión referidas en el marco conceptual de la EpC, posibilita también el análisis de la comprensión alcanzada por cada uno de los participantes; esta rúbrica, posteriormente, se podría implementar como un mecanismo de apoyo para los profesores en la elaboración de procesos de evaluación de los niveles de comprensión alcanzados por los estudiantes, no solo para la enseñanza de la derivada, sino que, a partir de las adecuaciones necesarias, puede utilizarse para el análisis y estimación de los saberes alcanzados por ellos con respecto a otros objetos de estudio.

Para finalizar, se resalta que la estrategia metodológica planteada en este proyecto para la formación inicial de profesores de matemáticas, podría convertirse, tanto en lo que corresponde a las tareas de formación como a su valoración a través de una rúbrica de comprensión diseñada y evaluada, en una herramienta importante para apoyar los procesos de enseñanza del cálculo en el aula; adicionalmente, puede ser desarrollada de manera presencial o virtual, de acuerdo con las particularidades del contexto.

REFERENCIAS

- Acevedo, D. (2011). Comprensión del concepto de probabilidad en estudiantes de décimo grado. *Tesis maestría*. Universidad de Antioquia.
- Area, M., Borrás, J. y Sannicolás, B. (2014). La formación del profesor 2.0: El aprendizaje por tareas en entornos learning. *Revista interuniversitaria de formación de profesorado* 78(21), 51-66.
- Badillo, E. (2003). La Derivada como objeto matemático y como objeto de enseñanza y aprendizaje en profesores de matemáticas en Colombia. *Disertación doctoral*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Blythe, T., Bondy, E. y Kendall, B. (2002). Evaluación Diagnóstica Continua. En Bryttthe, T. (Ed.), *Enseñanza para la comprensión. Guía para el docente*. Paidós.
- Blythe, T. y Outerbridge, D. (2002). Metas de Comprensión. En Bryttthe, T. (Ed.), *Enseñanza para la comprensión. Guía para el docente*. Paidós.
- Blythe, T. y Perkins, D. (2002). Comprender la Comprensión. En Bryttthe, T. (Ed.), *Enseñanza para la comprensión. Guía para el docente*. Paidós.
- Bonilla, E. y Rodríguez, P. (2015). *Más allá de los dilemas de los métodos. La investigación en ciencias sociales*. Norma.
- Brush, S. (1991). Historia de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Comun., Lenguaje y Educación* 12(11), 169-180.
- Chaves, E. y Salazar, E. (2003). La historia de la matemática como recurso metodológico en los procesos de enseñanza aprendizaje: Una experiencia en secundaria. *Uniciencia* 20, 259-266.
- Creswell, J. (2013). Investigación Cualitativa y Diseño Investigativo. Pearson.
- De Guzmán, H. (2001). Tendencias actuales en educación Matemática. *SIGMA* 19, 5-25.
- Dejiz, M. y Mihajlović, A. (2014). History of Mathematics and Teaching Mathematics. *Teaching Innovations* 27, 15-30.
- Desfitri, R. (2016). In-Service teachers' understanding on the concept of limits and derivatives and the way they deliver the concepts to their high school students. *Journal of Physics: Conference Series* 693(1), 12-16.
- Dolores, C. (1998). Algunas ideas que acerca de la derivada se forman los estudiantes de bachillerato en su curso de cálculo diferencial. *Investigaciones en matemáticas educativas* II, 257-272.
- Domínguez, A., Barniol, P. y Zavala, G. (2019). Evaluación del Entendimiento Gráfico de Derivada e Integral Definida mediante un Examen en Castellano de opción Múltiple. *Formación Universitaria* 12(6), 41-56.
- Furinghetti, F. (2007). Teacher education through the history of mathematics. *Educ Stud Matemáticas* 66, 131-143.
- Galeano, M. (2004). *Diseño de proyectos en la investigación cualitativa*. Universidad de EAFIT.
- Gallardo, J. y González, J. (2007). Fronteras en la investigación sobre comprensión en Educación Matemática. *Revista Didáctica de las Matemáticas* 66, 23-30.
- Gardner, H. y Boix, V. (1999). ¿Cuáles son las cualidades de la comprensión? En Stone, M. (Ed.), *La enseñanza para la comprensión: Vinculación entre la investigación y la práctica*. Paidós.
- Guicciardini, N. (2007). La época del punto: El legado matemático de Newton en el siglo XVIII. *Estud.filo* 35, 67-109.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- Jaime, A. (1993). Aportaciones a la interpretación y aplicación del modelo de Van Hiele: La enseñanza de las isometrías en el plano. La evaluación del nivel de razonamiento. *Disertación doctoral*. Universidad de Valencia.
- Jankvist, U., Mosvold, R., Fauskanger, J. y Jakobsen, A. (2015). Analysing the use of history of mathematics through MKT. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 46(4), 495-507.
- Jaramillo, R., Escobedo, H. y Bermúdez, A. (2004). Enseñanza para la Comprensión. *Transvase* 8(27), 529-534.
- Kilpatrick, J., Gómez, P. y Rico, L. (1998). *Educación Matemática. Errores y dificultades de los estudiantes Resolución de problemas Evaluación Historia*. Universidad de los Andes.
- Leguizamón, M. y Patorelli, S. (2011). La enseñanza para la comprensión en el nivel inicial: una experiencia que deviene y llega a la web. *Revista de Educación Matemática* 28(2). 59-70.
- Liu, P. (2003). Do teachers need to incorporate the history of mathematics in their teaching? *Mathematics Teacher* 96(6), 416-421.
- Liu, P. y Niess, M. (2009). An Exploratory Study of College Students' Views of Mathematical Thinking in a Historical Approach Calculus Course. *Mathematical Thinking and Learning* 8(4), 373-406.
- Lombardi, G. y Abrile, M. (2015). La formación docente como sistema: de la formación inicial al desarrollo profesional. En Velázquez, C. y Villant, D. (Eds.), *Aprendizaje y Desarrollo profesional docente*. Fundación Santillana.
- Meel, D. (2003). Modelos y teorías de la comprensión Matemática: Comparación de los modelos de Pirie y Kieren sobre el crecimiento de la comprensión matemática y la teoría APOE. *Relime* 6(3), 221-271.
- MEN. (1998). *Lineamientos Curriculares de Matemáticas*. Delfin Ltda.
- MEN. (2006). *Estándares básicos de competencias en Matemáticas. Potenciar el pensamiento matemático: ¡Un reto escolar!* EDUTEKA.
- Montesinos, J. (2009). Fluxiones, infinitesimales y fuerzas vivas. Panorama leibniziano. *Thémata a de Filosofía* 42, 77-106.
- Mora, L., Guacaneme, E. y Jiménez, W. (2016). Un ejemplo de integración de la Historia de las Matemáticas en el conocimiento didáctico de profesores de Matemáticas. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática* 47, 192-206.

- Moreno, L. (2014). An essential tension in mathematics education. *ZDM - International Journal on Mathematics Education* 46(4). 621-633.
- Muñoz, M. y Román, N. (1999). *Origen y desarrollo histórico del cálculo infinitesimal*. Ediciones UPC.
- Newton, I. (2011). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Alianza editorial.
- Orhun, N. (2013). Assessing conceptual understanding in mathematics: Using derivate function to solve connected problems. *Turkins Online Journal of Distance Education* 14(3), 138-151.
- Panasuk, R. y Horton, L. (2013). Integrating History of Mathematics into the Classroom: Was Aristotle Wrong? *Journal of Curriculum and Teaching* 2(2), 37-46.
- Perkins, D. (1999). ¿Qué es la comprensión? En Stone, M. (Ed.), *La Enseñanza para la comprensión: Vinculación entre la investigación y la práctica*. Paidós.
- Perkins, D. (2002). *El contenido: Hacia una pedagogía de la comprensión*. Gedisa.
- Pivatto, W. (2014). A História da matemática e os conhecimentos prévios dos professores como subsídios para o planejamento de um curso sobre geometria esférica e hiperbólica Amazônia. *Revista de Educação em Ciências e Matemáticas* 10 (20), 51-65.
- Pogré, P. (2012). Enseñanza para la comprensión. Un marco para el desarrollo profesional docente. *Disertación doctoral*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Ponte, J. (2015). Breve historia del concepto de derivada. ABC.
- Ponte, J., Zaslavsky, O., Silver, E. et al. (2009). Tools and Settings Mathematics Teachers' Learning in and from Practice. En Even, R. y Ball, D. (Eds.), *The Professional Education and Development of Teacher of Mathematics*. Elsevier.
- Protti, O. (2003). La historia de las matemáticas como instrumento pedagógico. *Uniciencia* 20, 251-257.
- Ramírez, E. (2009). Historia y epistemología de la función derivada. *Relaciones, Historia y Epistemología* 34, 157-162.
- Rico, L. (2009). Sobre las nociones de representación y comprensión en la investigación en Educación Matemática. *PNA* 4(1), pp. 1-14.
- Ritchhart, R., Stone, M., Buchovecky E. y Hetland, L. (1999). ¿Cómo se ve en la práctica la Enseñanza para la comprensión? En Stone, M. (Ed.), *La Enseñanza para la comprensión: Vinculación entre la investigación y la práctica*. Paidós.
- Romero, A. (2013). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamentos de propuestas de enseñanza: El caso de la experimentación en clase de ciencias. En Romero, A., Henao, B. y Barros, J. (Eds.), *La Argumentación en la clase de ciencias. Aportes para una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias*. Universidad de Antioquia.
- Sahín, Z., Erbas, A. y Yenmez, A. (2015). La comprensión racional del concepto de derivada a través de Modelización Matemática: Un estudio de caso. *Eurasia Journal of Mathematics, Sciece and Technology Education* 11(1), 177-188.
- Sánchez, G., García, M., y Llinares, S. (2008). La comprensión de la derivada como objeto de investigación didáctica de la matemática. *Revista Latí. Investigación en Matemática Educativa*, 11(2), 267-296.
- Stake, R. (1988). *Investigación con estudio de casos*. Morata.
- Stewart, I. (2008). *Historia de las matemáticas: en los últimos 10.000 años*. Crítica.
- Stone, M. (1999). La importancia de la comprensión. En Stone, M. (Ed.), *La Enseñanza para la comprensión: Vinculación entre la investigación y la práctica*. Paidós.
- Stone, M. (1999a). ¿Qué es la enseñanza para la comprensión? En Stone, M. (Ed.), *La Enseñanza para la comprensión: Vinculación entre la investigación y la práctica*. Paidós.
- Tzanakis, C., Arcavi, A., de Sa, C. et al. (2002). Integrating history of mathematics in the classroom: An analytic survey. En Fauvel, J. y Maanen, J. (Eds.), *History in mathematics education*. Springer.
- Vargas, G. y Gamboa, R. (2013). El modelo de Van Hiele y la Enseñanza de la Geometría. *Uniciencia* 27(1), 74-94.
- Vrancken, S., Gregorini, M., Engler, A., Müller, D. y Hecklein, M. (2006). Dificultades relacionadas con la enseñanza y aprendizaje del concepto de límite. *Premisa* 8(29), 9-19.
- Yin, R. (1989). Investigación Sobre Estudio de Caso. Diseños y métodos. *Applied Social Research Methods Series* 5(2), 16-34.

Análisis de los estilos de aprendizaje en estudiantes de formación en línea mediante el test de dominancia cerebral: Un caso de estudio

Gabriela Bohórquez Ramírez¹

Franklin Santiago Quirós²

¹ *Universidad Santo Tomás*

² *Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas*
Colombia

El objetivo del presente estudio es realizar una revisión de los estilos de aprendizaje en estudiantes de formación en línea mediante el test de dominancia cerebral. Metodológicamente se abordó una investigación de tipo cuantitativo descriptivo. En la primera fase se indagó en la psicología por los estilos apropiados para adelantar programas en modalidad en línea. Seguidamente se identificó el modelo de los cuatro cuadrantes propuesto por Ned Herrmann establecido en el de los hemisferios de Sperry, y los cerebros cortical y límbico de McLean. La muestra estuvo integrada por un total de 28 estudiantes pertenecientes a las áreas de la ingeniería y la administración de la facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Santo Tomás en Bogotá, Colombia. Los hallazgos permitieron demostrar que de acuerdo con el perfil profesional se presentan diferentes dominancias cerebrales en el aprendizaje, estos se ubicaron en el lógico, abstracto, secuencial y emocional. También se permitió evidenciar que a partir de estas formas de aprender se deben proponer diferentes estrategias para la enseñanza y el aprendizaje.

¹ Estudiante de Ingeniería Informática.

Contacto: gabrielabohorquez@ustadistancia.edu.co

² Estudiante de Medicina.

Contacto: fquiros@udca.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Inicialmente se plantea el abordaje de los conceptos fisiológicos y biológicos del sistema nervioso y en particular el encéfalo y su relación con el aprendizaje. Cuando se habla del sistema nervioso se menciona que este se integra de dos componentes, el central y periférico constituido por encéfalo, médula y nervios espinales (Moreno, 2005). En la bóveda craneana se encuentran los hemisferios cerebrales unidos entre sí por el cuerpo calloso, una estructura de sustancia blanca ubicada en el fondo de la fisura longitudinal del cerebro (Olave et al., 2012). Así mismo, los hemisferios están divididos en lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital. Cada uno de estos lóbulos están relacionados con áreas funcionales motoras, sensoriales, visuales, del habla y asociación. Se encuentra el cerebelo como una estructura encargada de funciones motoras finas y de equilibrio. Por otra parte, el tallo cerebral conecta el cerebro y la médula espinal, este se encarga del control de variables fisiológicas y vitales para el ser humano como la respiración, presión arterial y la frecuencia cardíaca (Moreno, 2009).

En relación con el cerebro y los procesos de aprendizaje y memorización se reconoce la existencia de estructuras como el hipocampo, el cual se encuentra ubicado en la zona superficial del lóbulo temporal relacionado con la consolidación de memoria y la toma de decisiones (Fogwe et al., 2021). También, el tálamo constituido por materia gris ubicado en el diencefalo y participa en proceso de aprendizaje, memoria episódica en asociación con el sistema límbico y otras funciones importantes para el aprendizaje como lo son el sueño y la vigilia (Child y Benarroch, 2013). En lo expresado anteriormente se han expresado las partes del cerebro que interviene en los procesos de aprendizaje.

También, es importante destacar, que este es el encargado de las funciones cognitivas, las cuales son expresadas como las capacidades mentales que hacen referencia a la Atención, la Orientación, la Memoria, el Lenguaje, las Habilidades Visoespaciales y las Funciones Ejecutivas. Estas funciones se vinculan en diferentes áreas cerebrales, aunque en la práctica interactúan unas con otras para un correcto funcionamiento de estas (Silva et al., 2020). En la siguiente Figura se representan cada una de las áreas cerebrales, especialmente las asociadas a los procesos de memorización (Figura 1).

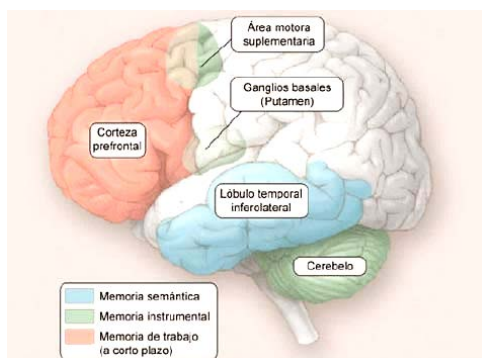


Figura 1. Neuroanatomía de la memoria (Budson y Price, 2005)

Seguidamente se tienen en cuenta los estilos de aprendizaje, estos se definen como el proceso a través del cual se adquieren y modifican habilidades y destrezas. Los estilos de aprendizaje son modos característicos por los que un individuo procesa la información, siente y se comporta en las situaciones de aprendizaje. De este modo, los estilos de aprendizaje están orientados a particularidades emocionales, sociales, psicológicas y biológicas que regulan la forma en que asimila, entiende, comprende, reconstruye, memoriza y utiliza nuevos conocimientos o aprendizajes. Al mismo tiempo, este término hace referencia a que cada individuo hace uso de una específica estrategia de aprendizaje al momento de su proceso formativo. Sin embargo, los mecanismos se modifican acorde a lo que desea aprender, cada uno propende a desarrollar inclinaciones hacia determinadas tendencias que definan su estilo de aprendizaje.

Por otro lado, los estilos de aprendizaje son un conglomerado de componentes externos que inciden en el entorno de aprendizaje en el que se ubica el estudiante, permitiéndole así entender y procesar la información que le permitirá la construcción de su propio conocimiento, proporcionándole a su vez indicadores que orientan la manera en que se relaciona con la realidad. A pesar de esto, es fundamental no

usar los estilos de aprendizaje como un mecanismo de clasificación de los estudiantes en categorías estrechas, debido a que la forma de aprender y adquirir conocimiento evoluciona y se transforma continuamente.

Los diversos estándares y modelos orientados a los estilos de aprendizaje proporcionan un amplio panorama conceptual que posibilita comprender las conductas de los estudiantes durante su proceso formativo, relacionadas con la manera en que están aprendiendo y la clase de estrategia que puede tornarse eficiente en un punto específico. De esta manera, los estilos se definen por la actitud al momento de aprender, diferenciando cuatro modelos de aprendizaje orientados por cuatro capacidades de aprendizaje (Figura 2): 1) divergentes, poseen un alto nivel de creatividad y a su vez consideran situaciones determinadas desde diversas perspectivas; 2) convergente, caracterizado por su pensamiento abstracto capaces de resolver problemas a través de razonamiento deductivo; 3) asimilador, incorpora el razonamiento abstracto y el pensamiento reflexivo; y 4) acomodador, vinculan los procesos pensamiento concreto y procesamiento activo, tiene prelación por el desarrollo de proyectos adaptándose con facilidad a nuevas experiencias o situaciones.



Figura 2. Estilos de aprendizaje

Los anteriores modelos y conceptos, permitieron vislumbrar que la noción de ‘estilo de aprendizaje’ es un conjunto de componentes distintivos fisiológicos, afectivos y cognoscitivos que funcionan como parámetros suficientemente constantes en la forma en que el estudiante dispone e interactúa con su contexto y la manera en respuesta a las situaciones a las que se encuentra en él, buscando comprobar a través de estándares de conducta y rendimiento el acercamiento de los estudiantes a las experiencias educativas. A continuación, se pretende abordar los diferentes tipos de estilos de aprendizaje sus objetivos, estrategias y su importancia desde una perspectiva pedagógica en función de los estudiantes haciendo especial énfasis en el modelo de cuadrantes cerebrales de Ned Herrmann, el cual orienta el presente caso de estudio.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Estilos de aprendizaje

La teoría conductista determina el aprendizaje como el proceso de adoptar nuevas conductas o comportamientos. De este modo, el fundamento de cualquier proceso de enseñanza-aprendizaje se interpreta a través de una reacción condicionada, esto es, el vínculo existente entre la respuesta y estímulo que la origina. En el ámbito educativo, esto supone el desarrollo de un entorno de aprendizaje que estimule conductas deseables en los estudiantes. Desde el punto de vista conductista, el proceso de enseñanza-aprendizaje debe definirse como algo posible de ser contemplado y demostrado, es decir, que se produce aprendizaje cuando hay un cambio de comportamiento (Arancibia, 2008). Así, el docente es el responsable de generar estímulos enfocados en la motivación de los estudiantes con el propósito de que este disponga en su quehacer de sus habilidades. Por ejemplo, el docente tendrá la capacidad de conocer si sus estudiantes han entendido las temáticas de determinado espacio académico cuando pueden visualizar los cambios, es decir, no tendrán conocimiento si sus estudiantes han aprendido si no tienen pruebas precisas.

Por otro lado, la teoría de desarrollo cognitivo expone un paradigma ilustrativo orientado al aprendizaje basado en la experiencia, siendo este el principio de mayor incidencia en la investigación sobre el desarrollo cognitivo del niño. Dicho de otra manera, se refiere a como el niño incorpora y reformula nociones y

habilidades a través de la interacción con el entorno que lo rodea, teniendo como propósito que sus estructuras cognitivas se desarrollen hasta el punto de que el niño atribuye sentido a su entorno y la construcción de su conocimiento (UNIR, 2020). A lo largo del proceso evolutivo del niño, Piaget presento cuatro etapas distintas del desarrollo cognitivo, definidas por diferentes estructuras lógicas de diversa complejidad que posibilitan la consecución de destrezas y para relacionarse de múltiples maneras con la experiencia. Las cuatro fases son:

1. *Fase sensoriomotora* (0 a 2 años): Durante esta primera etapa, caracterizada por la consecución de conocimiento en función de la interacción con el ambiente entre el momento del nacimiento y la manifestación del lenguaje articulado presentando una determinación exploradora.
2. *Fase preoperatoria* (2 a 7 años): El inicio de esta fase se enmarca en el desarrollo de la destreza de la representación, la habilidad de actuar y jugar imitando papeles ficticios mostrando señales de juego simbólico, estimulando la mejora de sus competencias lingüísticas significativamente.
3. *Fase operaciones concretas* (7 a 12 años): Se caracteriza por la capacidad del niño de usar la lógica para realizar inferencias validas, teniendo en cuenta que los acontecimientos y supuestos de los que parte estén relacionados con escenarios concretos y no abstractos, permitiendo evidenciar que sus conocimientos previos se han dispuesto en estructuras unificadas con un mayor nivel de complejidad.
4. *Fase operaciones formales* (12 años en adelante): Es en esta etapa donde se alcanza la facultar para usar la lógica para realizar inferencias abstractas que no se encuentren vinculadas a situaciones concretas, es decir desarrollan su razonamiento deductivo a través del análisis de diversas premisas estimando su efecto u origen. De este modo, se resalta el desarrollo de los procesos metacognitivos como la aptitud de pensamiento hacia su propio razonamiento.

Al mismo tiempo, la zona de desarrollo próximo ZDP se describe como la brecha existente entre el grado real de desarrollo del estudiante, demostrado por la capacidad de solucionar indistintamente un problema y el grado de desarrollo potencial, comprobado mediante la resolución de un problema bajo la orientación de un adulto o en colaboración con otro compañero más habilidoso. En pocas palabras, es el conjunto de habilidades que el estudiante está en la capacidad de desarrollar con asesoramiento, pero todavía no puede hacerlo de forma independiente. De esta manera, se reflexiona acerca de la interacción de los estudiantes entre sus iguales representa un rol eficaz en el mejoramiento de habilidades y estrategias. A la vez, propone que los docentes usen actividades de aprendizaje colaborativo donde los estudiantes con sus capacidades menos avanzadas puedan desarrollar destrezas y habilidades con el asesoramiento de sus compañeros más competentes, haciendo uso del concepto de zona de desarrollo próximo.

Así mismo, se propone el concepto de aprendizaje por descubrimiento para concretar un aprendizaje significativo, respaldado en que mediante el mismo los docentes tienen la posibilidad de ofrecer a los estudiantes más posibilidades de aprender por sí mismos, de adquirir sus propios conocimientos. Por ende, este estilo de aprendizaje se orienta a métodos de enseñanza que tiene al estudiante en el núcleo del proceso formativo, en el cual el docente a través del uso de herramientas motivadoras e integrales buscando alcanzar un proceso de enseñanza-aprendizaje que se origine de los intereses individuales de los estudiantes, ajustándose a las necesidades particulares pretendiendo que desarrolle habilidades de relación de conceptos (Bohórquez y Silva, 2020; Silva y González, 2020) búsqueda de conocimientos e interiorización de información integrándola con aprendizajes adquiridos previamente, lo que le permitirá proporcionarle al estudiante los instrumentos requeridos para la construcción de su propio conocimiento y la resolución de problemáticas planteadas. Así, se plantea el proceso de aprendizaje a través de la implementación de un programa de estudios en espiral, donde el conocimiento en los grados académicos inferiores, se vuelva a retomar en los superiores incrementando su nivel de complejidad (Arias, 2014).

Por el contrario, según la Teoría de Ausubel (1983), es primordial partir de los conceptos que ya se tienen, de los preconceptos o concepciones previas, para enganchar los nuevos o cambiar dicha representación en la mente, creando significados, es decir, para que tenga lugar un aprendizaje significativo. En este sentido el docente deberá ejercer con su acción un papel compensatorio que en principio no posea las actitudes y aptitudes para iniciarse con éxito en los multimedia. Este enfoque plantea que el verdadero aprendizaje

humano es una construcción de cada alumno que logra modificar su estructura mental, y alcanzar un mayor nivel de complejidad, de diversidad y de integración, es decir, el verdadero aprendizaje es aquel que contribuye al desarrollo de la persona. De esta manera, uno de los factores principales para Ausubel para conseguir el éxito del aprendizaje significativo, es la predisposición del estudiante en su proceso formativo, por lo cual el docente debe desarrollar estrategias motivacionales a través de propuestas educativas que impulsen el mejoramiento de sus habilidades de investigación, interpretación, integración, análisis crítico que permitan dar respuesta a diversas situaciones y contextos a los que se vea enfrentado.

Adicionalmente, se afirma que los estudiantes disienten en la forma en la que acceden al conocimiento en cuestión de estilos e interés, sobre este particular se alude a las diferentes maneras para comenzar el proceso de aprendizaje, pero al mismo tiempo invita a reflexionar en la importancia de que el docente tenga conocimiento de las formas concretas de acceder al conocimiento. Este modelo, categoriza los estilos de aprendizaje a partir de cinco dimensiones (Figura 2): 1) sensitivos-Intuitivos, la manera en que los estudiantes perciben la información a través de los sentidos; 2) visual-verbal, adquieren conocimiento a través de formatos visuales mediante, diagramas, graficas, etc. o en formatos verbales como sonidos, expresión oral, etc.; 3) activo-reflexivo, trabajar con el material de aprendizaje. Mientras que reflexivo, tiende a analizar y examinar sobre el material; y 4) secuencial-global, necesita de procesos secuenciales y lógicos de pasos progresivos o comprensión general que precisa de una visión integral (Figura 3).

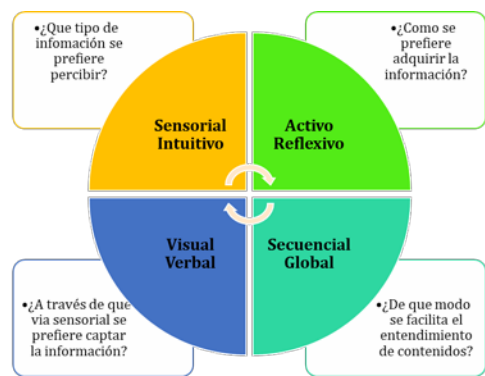


Figura3. Estilos de aprendizaje

2.2 Modelo de los hemisferios

El modelo se define como el instante fundamental en el fomento de las investigaciones sobre el funcionamiento cerebral. De este modo, cada uno de los hemisferios es el encargado de la mitad del cuerpo ubicada al lado contrario, esto significa que el hemisferio derecho controla la parte izquierda del cuerpo, mientras que el hemisferio izquierdo guía la parte derecha. Por ende, cada hemisferio expone distintas habilidades que le posibilitarán hacerse cargo de actividades específicas (Tabla 1): 1) Hemisferio Izquierdo: se encarga del manejo de símbolos de cualquier tipo. Se caracteriza por ser analítico y lineal trabajando de forma lógica; y 2) Hemisferio Derecho: es más eficaz en cuanto al entendimiento del entorno, es más global, sintético e intuitivo, es imaginativo y emocional.

Tabla 1. Características modelo de los hemisferios (Pérez, 2019)

Hemisferio izquierdo	Hemisferio derecho
Pensamiento analítico	Pensamiento intuitivo
Inducción y deducción	Conocimiento sin razonamiento
Analítico	Creativo
Lógico	Imaginativo
Preciso	Intuitivo
Detallado	Irregular
Organizado	General
Repetitivo	Empático

La noción de que cada hemisferio se encarga de diferentes actividades del pensamiento orienta el significado del *uso diferencial de los hemisferios*, es decir, que existen personas que son dominantes en su hemisferio derecho (más emocionales) y otras dominantes en su hemisferio izquierdo (más analíticos). Sin

embargo, es importante destacar sin importar qué hemisferio cerebral es el dominante no deroga la importancia de desarrollar ambos hemisferios como una herramienta de entrenar y fortalecer la inteligencia, razón por la cual diversos autores aconsejan la práctica de la denominada *gimnasia cerebral*.

2.3 Modelo del cerebro triúnico

La teoría de los tres cerebros apareció con el propósito de unificar las diversas estructuras neuronales según su funcionalidad diferenciadas química y físicamente. De esta manera, se plantea una innovadora manera de agrupar el cerebro a través de tres secciones (Figura 4) conectadas entre sí, pero al mismo tiempo funcionando independientemente. Por lo cual, se definió como propósito fundamental del cerebro humano la supervivencia, en segundo lugar, las necesidades emocionales y finalmente el aprendizaje cognitivo.



Figura 4. Modelo del cerebro triúnico

2.4 Modelo de los cuatro cuadrantes

Es un modelo de aprendizaje basado en el funcionamiento del cerebro, en el que se propone una similitud del cerebro con el globo terrestre en sus cuatro puntos cardinales. A partir de esta idea se representa una esfera dividida en cuatro cuadrantes, que resultan del cruce de los hemisferio izquierdo y derecho derivado de los modelos anteriores fundamentados en los hemisferios y los cerebros cortical y límbico.

Los cuatro cuadrantes representan cuatro formas distintas de operar, de pensar, de crear, de aprender y, en suma, de convivir con el mundo. Las características de estos cuatro cuadrantes se detallan en las siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Cuadrantes del modelo de los cuatro cuadrantes (PSICOPICO, 2017)

Cortical izquierdo	
Comportamientos	Frío, distante, pocos gestos, voz elaborada, intelectualmente brillante, evalúa, critica, irónico, le gustan las citas, competitivo, individualista.
Procesos	Análisis; razonamiento; lógica; Rigor, claridad; le gustan los modelos y las teorías; colecciona hechos; procede por hipótesis; le gusta la palabra precisa.
Competencias	Abstracción; matemático; cuantitativo; finanzas; técnico; resolución de problemas.
Límbico izquierdo	
Comportamientos	Introvertido; emotivo, controlado; minucioso, maniático; monologa; le gustan las fórmulas; conservador, fiel; defiende su territorio; ligado a la experiencia, ama el poder.
Procesos	Planifica; formaliza; estructura; define los procedimientos; secuencial; verificador; ritualista; metódico
Competencias	Administración; organización; realización, puesta en marcha; conductor de hombres; orador; trabajador consagrado.
Límbico Derecho	
Comportamientos	Extravertido; emotivo; espontáneo; gesticulador; lúdico; hablador; idealista, espiritual; busca aquiescencia; reacciona mal a las críticas.
Procesos	Integra por la experiencia; se mueve por el principio de placer; fuerte implicación afectiva; trabaja con sentimientos; escucha; pregunta; necesidad de compartir; necesidad de armonía; evalúa los comportamientos.
Competencias	Relacional; contactos humanos; diálogo; enseñanza; trabajo en equipo; expresión oral y escrita.
Cortical Derecho	
Comportamientos	Original; humor; gusto por el riesgo; espacial; simultáneo; le gustan las discusiones; futurista; salta de un tema a otro; discurso brillante; independiente.
Procesos	Conceptualización; síntesis; globalización; imaginación; intuición; visualización; actúa por asociaciones; integra por medio de imágenes y metáforas.
Competencias	Creación; innovación; espíritu de empresa; artista; investigación; visión de futuro.

2.5 Programas de formación en línea

Es innegable que los nuevos modelos educativos deben proveer tanto a la pedagogía y a la didáctica propuestas que permitan generar un aprendizaje significativo en los estudiantes (Peña y Silva, 2019), innovando mediante estrategias que involucren mediaciones tecnológicas, apoyando la construcción de conocimiento en un proceso mancomunado en los enseñantes y los aprendientes (Pezzoti y Silva, 2019). Así es posible entender que las propuestas educativas actuales deben integrar componentes prácticos que integren la tecnología (Mejía et al., 2020), pero siempre siguiendo un camino en la guía de la pedagogía y la didáctica hacia la adquisición de nuevos conocimientos. De igual manera, se precisa que para las modalidades de programas mediados por tecnologías, se percibe otro tipo de perfiles en los estudiantes orientados hacia la autoformación y habilidades que permiten autogestionar su formación (Ortega et al., 2020). No obstante, se deben tener en cuenta en la planeación curricular las acciones que el docente plantea en su práctica educativa, estas deben implementar la incorporación de estrategias innovadores y motivadores al estudiantes (Silva et al., 2020).

3. MÉTODO

Metodológicamente se abordó una investigación de tipo cuantitativo descriptivo. En la primera fase se indagó en el área de la psicología por los estilos apropiados de los estudiantes para adelantar programas en modalidad en línea. Seguidamente se identificó el modelo de los cuatro cuadrantes fundamentado en los modelos de los hemisferios y los cerebros cortical y límbico. La muestra estuvo integrada por un total de 28 estudiantes pertenecientes a diferentes programas de la facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Santo Tomás de Bogotá, Colombia, entre estos programas de Ingeniería, Ciencias de la Salud, Administración y Educación. Se indagó por instrumentos que permitiera identificar la dominancia de los cuadrantes cerebrales ubicados en: 1) cortical izquierdo, 2) Cortical derecho, 3) Límbico izquierdo, y 4) Límbico derecho. En la segunda fase se implementó el instrumento en línea, el cual se construyó con soporte *web* y almacenamiento en base de datos, lo cual permitió la distribución vía correo electrónico a los participantes y posteriormente la organización y análisis de los datos.

4. RESULTADOS

Para la recopilación de la información se usó el cuestionario de estudiantes para la identificación de estilos de aprendizaje orientado en el modelo de Cuadrantes Cerebrales (Gallardo, 2018). Este cuestionario, tuvo como propósito identificar qué estilos de aprendizaje destacan en los estudiantes de formación en línea con el fin de conocer cuáles predominan en los estudiantes a manera de determinar el medio más adecuado para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en esta modalidad. Los cuales requieren de la incorporación de otro tipo de estrategias en sus procesos formativos (Bonilla et al., 2021)

A través de la aplicación del instrumento se valoró la inclinación en el empleo de los cuadrantes cerebrales, lo que permitió determinar los perfiles de dominancia (mayor tendencia hacia un estilo de aprendizaje) de los estudiantes de la Universidad Santo Tomás. La aplicación del instrumento se realizó de manera individual con una duración aproximada de 10-15 minutos a través de software que integra los elementos de la psicología cognitiva identificados en el test de dominancia cerebral. De este modo, en este aplicativo, se despliegan secciones donde el estudiante debe adelantar cada una de estas como requisito previo para continuar con el desarrollo del test. En la Figura 5, se presenta la interfaz gráfica inicial del *software* caracterizado por su diseño intuitivo para los usuarios.

El instrumento está conformado por cuatro secciones: la primera y segunda sección se encuentran constituida por una matriz de cuarenta palabras, estas organizadas en cuatro conjuntos, de diez palabras distribuidas verticalmente (Figura 6). De esta manera, el estudiante debe seleccionar 8 de las 40 características con las cuales se siente identificado con respecto a su forma de actuar, conductas, actitudes y creencias propias de la personalidad. Finalmente, en la tercera y cuarta sección, el estudiante se encuentra con una serie de preguntas de selección múltiple y única respuestas orientadas a temáticas académicas, la vida diaria, ocio y relaciones interpersonales donde seleccionará aquella que considere más acertada.

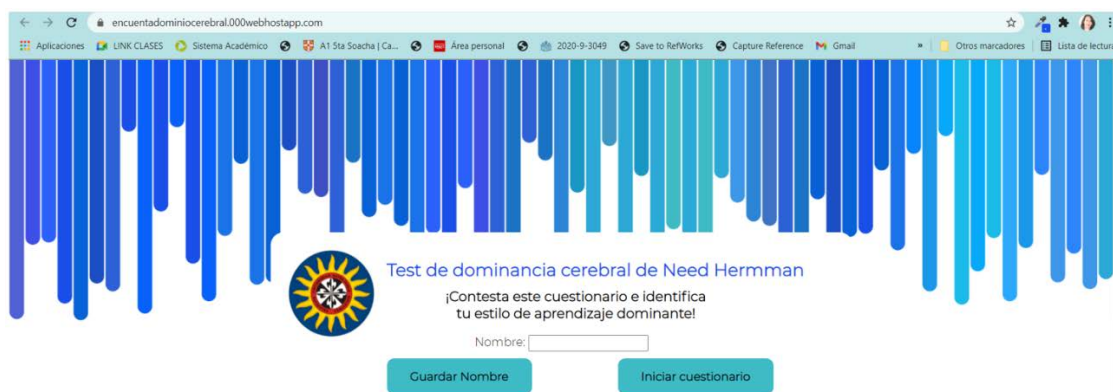


Figura 5. Interface gráfica del software Test dominancia cerebral



Figura 6. Interfaz de las secciones del software test de dominancia cerebral

La valoración del instrumento radica en reconocer el nivel de inclinación que se les confiere a los cuadrantes Cortical izquierdo, Cortical Derecho, Límbico Izquierdo y Límbico Derecho. Para el procesamiento de la información se usaron gráficos circulares sencillos, categorizando las respuestas a través de matrices conformadas por el compendio de puntajes de los estudiantes en cada uno de los cuatro cuadrantes.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estos se presentan a partir de la pregunta que origino el presente estudio, la cual se orienta en describir los estilos de aprendizaje en estudiantes de formación en línea y su relación con los resultados de dominancia cerebral. Los resultados se presentan en cuatro áreas de los programas de formación que hacen parte de los programas de la facultad de Ciencias y Tecnologías, estos se orientan en programas de Ingeniería, Ciencias de la Salud, Administración y Educación.

En la Figura 7 se presentan los resultados de los estudiantes que hacen parte de los programas de ingeniería, estos evidencian que su cuadrante de dominancia cerebral se ubica en el *Racional*, perteneciente a Lóbulo superior izquierdo (Cuadrante A). Este cuadrante describe un estilo de aprendizaje de tipo analítico, en el cual se contemplan aspectos del razonamiento, la lógica, la rigurosidad en los procesos, se fundamentan en los modelos y las teorías, se basan en los hechos y son precisos en los temas discursivos. Entra las profesiones que se asocian a este tipo de cuadrante se ubican en ingenieros, médicos, abogados, banqueros, físicos, químicos, biólogos y matemáticos, entre otros.

En consonancia con las características de la dominancia cerebral de los estudiantes de ingeniería, estos se relacionan con las solicitadas en sus perfiles profesionales, entre estos: innovadores, apasionados por la tecnología, creativos, capacidad de aprender constantemente y razonamiento lógico, análisis de información.

En cuanto a los estudiantes pertenecientes a los programas de Ciencias de la Salud (Figura 8), se encuentran ubicados en el modelo como *Cuidadoso*, perteneciente al Lóbulo inferior izquierdo (Cuadrante B), este

describe en sus características para el aprendizaje: la precaución, seguimiento de reglas, asegurado, evaluador de situaciones y disciplinado. Así se perciben ciertas características que hace parte de los estudiantes pertenecientes a este tipo de carreras profesionales. En coherencia con algunos de los perfiles que se presentan para un estudiante cuando inicia su estudio, se describen algunas de estas: empatía, habilidades de comunicación, espíritu de responsabilidad, interés en la investigación y aprendizaje continuo, disciplinado y organizado.

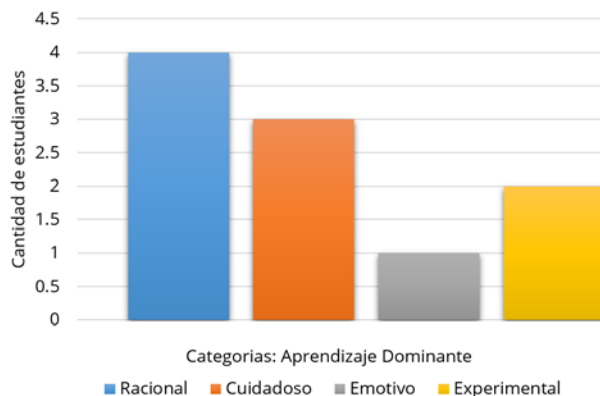


Figura 7. Resultado del *test* de dominancia cerebral aplicado a estudiantes de ingeniería

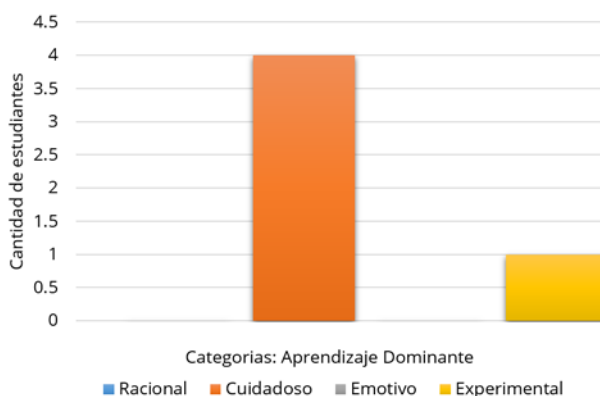


Figura 8. Resultado del *test* de dominancia cerebral aplicado a estudiantes en el área de las Ciencias de la Salud

Aunque los resultados de los estudiantes de las Ciencias de la Salud se ubicaron en el cuadrante C Lóbulo inferior derecho, se ubican en ocupaciones como: profesor, comunicador social, enfermero y trabajador social. Las características para un estudiante de medicina pueden definirse en un estilo cuidadoso y uno racional, los estudiantes de la facultad se orientaron más hacia el estilo Cuidadoso.

En la Figura 9 se presentan los resultados de los estudiantes pertenecientes a los programas de Administración, los cuales presentan características que se describen en lo *Experimental* ubicados en el cuadrante D perteneciente al lóbulo superior derecho, desarrollan procesos como la conceptualización, síntesis, globalización, imaginación, intuición, visualización, actúan por asociaciones, integran por medio de imágenes y metáforas.

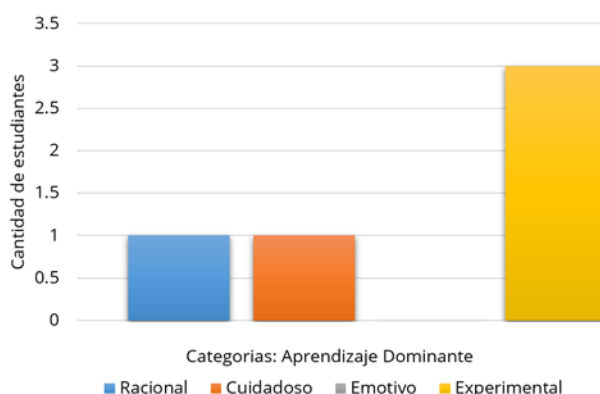


Figura 9. Resultado del *test* de dominancia cerebral aplicado a estudiantes en el área de la Administración

En este aspecto se definen ocupaciones orientadas hacia ocupaciones como arquitectos, pintores, literatos, compositores, diseñadores gráficos, escultores y músicos. Estos resultados llaman la atención en cuanto no existe la correspondencia de los perfiles asociados a los programas a los cuales pertenecen los estudiantes. No obstante, se constituye en un aspecto de mejora en la selección o aplicación de pruebas que permitan que los estudiantes antes de su ingreso puedan definir sus perfiles profesionales.

Por otra parte, en la Figura 10 se presentan los resultados de los estudiantes que pertenecen a programas de educación. En un análisis detallado se pueden identificar en sus características y según el modelo de dominancia cerebral comparten características en lo cuidadoso, lo racional y emotivo, estos pertenecen respectivamente a Lóbulo inferior izquierdo (Cuadrante B), Lóbulo superior izquierdo (Cuadrante A), Lóbulo inferior derecho (Cuadrante C).

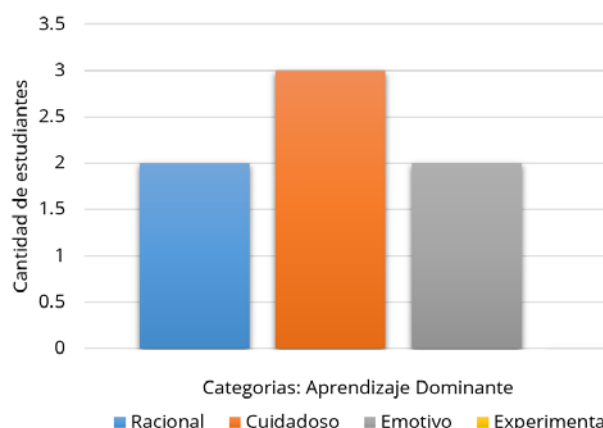


Figura 10. Resultado del *test* de dominancia cerebral aplicado a estudiantes en el área de la educación

Principalmente, en lo emotivo definen características de expresividad, disciplina y procesos en un estilo de pensamiento emocional, sensorial, humanístico, interpersonal, musical, simbólico y espiritual. Se ubican en ocupaciones como: profesor, comunicador social, enfermero y trabajador social. En este aspecto se puede considerar que los estudiantes de los programas de educación son afines en sus dominancias cerebrales respecto a sus perfiles.

Finalmente, los hallazgos representan que no se reportan estudiante ubicados en el Lóbulo superior derecho (Cuadrante D). La dominancia cerebral de tipo experimental se encuentra relacionada con aquellos que poseen una mentalidad integral, son individuos espontáneos, visuales, innovadores y creativos. De este modo, son personas que tienden a reflexionar sus ideas de forma más conceptual e ingeniosa. Además, gracias a su visión holística son capaces de visualizar el potencial de las cosas donde otros no logran hacerlo con un acentuado sentido intuitivo, resaltando su ideología enfocada al futuro y su pasión por la experimentación de nuevos retos y el riesgo al que se enfrentan.

6. CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio se orientó en reconocer si los perfiles de los estudiantes, en cuanto a los programas profesionales que adelantan se relacionan con el modelo de dominancia cerebral, el cual expresa que el cerebro se divide en cuatro cuadrantes y en cada uno de ellos se relacionan con diferentes características y procesos que se relacionan con las profesiones. Particularmente, en la facultad de Ciencias y Tecnologías fue posible establecer que, en los programas de ingeniería, salud y educación existe una relación en sus perfiles profesionales y sus dominancias cerebrales, por el contrario, los de administración no presentan una correspondencia con los resultados del test y los descritos en el test de dominancia cerebral. También se expresa que en la dominancia cerebral en el Lóbulo superior derecho (Cuadrante D) con características experimentales no arrojó correspondencia con los estudiantes de la facultad.

De acuerdo con los resultados expresados anteriormente, en cuanto a propuestas que permitan identificar los perfiles de ingresos de los estudiantes a los programas de la facultad de Ciencias y Tecnologías de la universidad Santo Tomás, se toma como iniciativa implementar una prueba de ingreso que permita que los

estudiantes puedan ubicarse con seguridad en el programa que van a seleccionar como su carrera. Indudablemente, la importancia de implementar estrategias de aprendizaje dentro de los programas en línea (López y Silva, 2020), que inviten a los estudiantes a desarrollar las áreas en las que presentaron mayor déficit, a través de experiencias educativas propuestas desde una labor docente efectiva, pues es el profesor quien debe seleccionar las mejores prácticas que permitan el desarrollo global de sus alumnos (Silva, 2020).

De este modo, también es posible destacar la importancia de pensar en cuáles son las destrezas, capacidades y competencias que necesitan los estudiantes desde sus programas académicos para dar respuesta a las diversas situaciones problemas impuestas por la sociedad y su futuro entorno laboral, por lo cual es fundamental que desde las instituciones educativas se establezca un equilibrio entre las estrategias pedagógicas en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y el desarrollo individual de los estilos de aprendizaje de los estudiantes.

REFERENCIAS

- Arancibia, V. (2008). Teorías conductuales del aprendizaje. En Manual de Psicología Educacional. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Arias Gallegos, Walter L. y Oblitas Huerta, A. (2014). Aprendizaje por descubrimiento vs. Aprendizaje significativo: Un experimento en el curso de historia de la psicología. *Boletín Academia Paulista de Psicología* 34(87), 455-471.
- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF* 1, 1-10.
- Bohórquez, G. y Silva, A. (2020). Incidencia del pensamiento lógico matemático en la formación de estudiantes en programas de ingeniería. Una revisión documental. En Serna, E. (Ed.), *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Bonilla, A., Triana, A. y Silva, A. (2021). Club Virtual: Estrategia de enseñanza y aprendizaje para el fortalecimiento de la lectura crítica. *Revista Iberoamericana de Educación* 56, 117-133.
- Budson, A. y Price, B. (2005). Memory dysfunction. *Eng. J. Med.* 38, 692-699.
- Child, N. y Benarroch, E. (2013). Anterior nucleus of the thalamus: functional organization and clinical implications. *Neurology* 81(21), 1869-1876.
- Fogwe, L., Reddy, V. y Mesfin, F. (2021). *Neuroanatomy, Hippocampus*. StatPearls Publishing.
- Gallardo, C. P. (2018). *Test de Herrmann de dominancia cerebral*. *Psicologia-Online*. Recuperado: <https://www.psicologia-online.com/test-de-herrmann-de-dominancia-cerebral-4127.html>
- López, E. y Silva, A. (2020). Aprovechamiento de datos en las plataformas virtuales de aprendizaje haciendo uso de Minería. En Serna E. (Ed.), *Investigación Formativa en Ingeniería*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Mejía, C., Silva, A. y Gómez, S. (2020). *Tecnologías e innovación en educación virtual*. Editorial EAN.
- Moreno, A. (2005). *Sistema nervioso*. Obtenido de Infermera virtual.
- Moreno, A. (2009). *Sistema nervioso: anatomía*. Obtenido de Infermera virtual.
- Olave, E., Torrez, J., Riquelme, N., Ibacache, L. y Binvinat, O. (2012). International Journal of Morphology. *Características Biométricas del Cuerpo Calloso en Individuos chilenos* 30(4), 1449-1452.
- Ortega, S., Silva, A., Mejía, C., Maldonado, A. y Martínez, E. (2020). Metodologías de educación a distancia y virtual. Estudio de caso en dos Universidades de Colombia: Universidad Santo Tomás y Universidad EAN. En Mejía, C. et al. (Eds.), *La investigación en la educación virtual*. Editorial EAN.
- Peña, L. y Silva, A. (2019). Estrategia pedagógica generadora de un aprendizaje significativo en la enseñanza de las fracciones heterogéneas mediante la incorporación del software pedazzitos. En Vaquero, E. et al. (Eds.), *EDUcación con TECnología Un compromiso social Iniciativas y resultados de investigaciones y experiencias de innovación educativa*. EDUTEC.
- Pérez, W. (2019). *Teorías y modelos que explican el funcionamiento cerebral: Procesos de percepción, memoria y aprendizaje*. UNAM.
- Pezzoti, N. y Silva, A. (2019). El uso del podcast en el fortalecimiento de competencias comunicativas en la enseñanza y aprendizaje del idioma inglés. En Vaquero, E. et al. (Eds.), *EDUcación con TECnología - Un compromiso social Iniciativas y resultados de investigaciones y experiencias de innovación educativa*. EDUTEC.
- PSICOPICO. (2017). Recuperado: <https://psicopico.com/cuadrantes-cerebrales-de-herrman/>
- Silva, A. (2020). Imaginarios docentes en educación virtual. Concepciones en estudiantes de posgrado. En Serna, E. (Ed.), *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Silva, A. y González, H. (2020). Diseño y utilización de estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la lógica matemática en estudiantes de ingeniería. En Serna E. (Ed.), *Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI Vol. II*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Silva, A., Pacheco, D. y Sandoval, M. (2020). Identificación y caracterización de las competencias digitales de los profesores fundamentadas en los marcos y referentes existentes. En Serna E. (Ed.), *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

Silva, A., Quiros, S. y Sandoval, M. (2020). Tendencias en modelos de enseñanza y aprendizaje desde el funcionamiento del cerebro. En Karim G. (Ed.), *Tecnociencia, innovación y sociedad: Reflexiones teóricas y estudios de casos iberoamericanos*. Global Knowledge Academics.

UNIR. (2020). *Qué es el desarrollo cognoscitivo y sus implicaciones en el ámbito de la Educación Especial*. UNIR.

CIENCIAS DE LA VIDA

Prueba rápida y PCR Covid-19 vs score de indicación TR PCR como método diagnóstico y de evolución en la pandemia de coronavirus

Rommer Alex Ortega Martínez¹

Patricio Javier Correa Marfull²

Universidad Privada del Valle Cochabamba
Bolivia

La prueba PCR para COVID-19 presenta muchas limitaciones, así se sugiere el uso de las pruebas rápidas y scores como el de indicación y diagnóstico para PCR (edad, fiebre, síntomas respiratorios, Rx tórax, comorbilidades, lugar de residencia y actividad laboral). Se trata de un estudio observacional, analítico y retrospectivo, de pacientes con Covid-19 en el Hospital Univalle Sur de Cochabamba, Bolivia, en el que se realizó el cálculo de la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo, y las curvas ROC (AUC). Posteriormente, se creó una prueba aditiva en las que se sumaron la confirmación de las variables, y luego se contrastó con casos positivos y se ensayaron modelos de regresión logística binaria para determinar la utilidad. Se incluyeron 98 pacientes, 50% del sexo masculino. El 100% derivó de Cercado, Cochabamba; 40% fue personal de salud. Sintomatología < de 6 días presentó IgM (+) en > del 80% y 75% con PCR (+) con > de 6 días. Se hospitalizó el 100%, el 70% a sala general y el 12% a UTI. La sintomatología fue tos seca con 83%, fiebre 79%, cefalea y disnea 64%. Según el score (> de 4) 78 pacientes presentaron IgM (+), 73 pacientes PCR (+); 16.3% de mortalidad. Conforme a la prueba Chi², la puntuación > de 4 no presentó diferencia con la PCR, prueba rápida; ni con el índice aditivo; la curva de ROC presentó AUC 0.55 tanto para la PCR y prueba rápida, por lo que se desestimó su uso (Índice de Youden 9,5). El tercer modelo mostró mejores resultados ($p < 0.05$) y permitió crear un sistema de decisión y diagnóstico para PCR y pruebas rápidas. El score de indicación de PCR no presentó diferencia con la prueba rápida y PCR, sin embargo, el modelo de predicción, creado (13 variables) tanto para la PCR como la prueba rápida, tiene un futuro prometedor y necesita validarse externamente.

¹Médico Internista e Intensivista. Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Obrero No. 2 de la Caja Nacional de Salud. Coordinador de Investigación Clínica en la Universidad Privada del Valle.

Contacto: rommeralexo@gmail.com

² Interno de medicina en el Hospital Univalle Norte.

Contacto: patricio.correamarfull@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Un brote de una nueva neumonía, que se inició en Wuhan, China en diciembre de 2019 por el coronavirus SARS-CoV-2, (2019-nCoV y COVID-19), rápidamente se propagó a otras ciudades y países. El Centro Chino para el Control y la Prevención de Enfermedades CCDC, realizó una evaluación epidemiológica, donde el 81% de los casos presentaban una neumonía leve y moderada, posteriormente la tasa de mortalidad fue del 2.3% y en ascenso global (Pan et al., 2020). Las manifestaciones clínicas de la mayoría de los pacientes incluyen fiebre, tos, disnea, mialgia y otros; la imagen radiográfica mostró datos de neumonía con datos de moteado múltiple y opacidad en vidrio esmerilado. Una parte de los pacientes en estado crítico desarrollaron el síndrome de dificultad respiratoria aguda SDRA y la tormenta de citoquinas, que pueden explicar las razones de la muerte causada por COVID-19 (Pan et al., 2020; Li et al., 2020).

Taxonómicamente, el SARS-CoV-2 hace parte de las especies de coronavirus relacionados con el SARS, que pertenecen al género betacoronavirus (orden nidovirales; suborden cornidovirineae; familia coronaviridae; subfamilia coronavirinae) (Rodríguez et al., 2020), y pertenece al linaje B de la familia del betacoronavirus. Estos virus son de ARN monocatenario de origen zoonótico que se transmiten entre animales y personas. Los cuatro virus predominantes de siete miembros de la familia de coronavirus, 229E, OC43, NL63 y HKU1, causan solo las enfermedades leves de las vías respiratorias superiores, mientras que las otras dos cepas altamente patógenas, SARS-CoV (Pandemia del 2002) y MERS-CoV (pandemia del 2012), junto con el nuevo SARS-CoV-2, se consideran las amenazas globales para la salud pública mundial (Pan et al., 2020).

El genoma de un SARS-CoV-2 típico contiene 50 unidades de región traducidas UTR, un dominio de réplica conservado ORF 1ab, cuatro genes S, E, M y N para codificar proteínas estructurales, pico o espiga, envoltura, membrana y proteínas de la nucleocápside (Yan et al., 2020). De estas proteínas la S podría ser un sitio antigénico para la aplicación de las pruebas serológicas y detectar COVID-19 y se une a la enzima convertidora de angiotensina humana 2, que se encuentra en células respiratorias humanas, células renales y células gastrointestinales (Okaba et al., 2020; Tang et al., 2020).

El comportamiento epidemiológico de la infección por SARS-CoV-2 ha demostrado su alta transmisibilidad, con un gran impacto sobre grupos poblacionales grandes; las medidas de contención y mitigación han llevado al aislamiento masivo de personas, derivado de los procesos de contacto y contagio a pesar de las medidas estrictas de cuarentena. Así mismo, el individuo asintomático infectado o con resolución de síntomas del cuadro infeccioso, podría ser fuente de transmisión si no se somete a contención y cuarentena. La aplicación de pruebas alternativas a la RT-PCR con mayor alcance poblacional, podría ser útil para separar individuos ya expuestos a la infección que han tenido presentaciones asintomáticas o leves, para considerarlos no susceptibles y priorizar su retorno a actividades laborales (Gomez, 2020).

Existe varios objetivos para el control de esta patología, como la detección precoz por medios de laboratorio más específicos, pero la confirmación de casos de COVID-19 se basa en la detección de virus ARN mediante pruebas de amplificación de ácido nucleico como la transcriptasa inversa en tiempo real con reacciones en cadena de la polimerasa RT-PCR (Saxena, 2020). Está claro que esta prueba es la más recomendada, sin embargo debemos entender que su aplicación y seguimiento no sigue el mismo curso, porque la limitación de no contar con laboratorios acreditados, personal médico idóneo afectan notablemente su implementación, es por este motivo, que se sugiere el uso de las pruebas rápidas o serológicas con el fin de complementar a la PCR, sin dejar de lado algunos puntajes diagnósticos como el score de indicación RT-PCR como método diagnóstico y de evolución propuesto en este estudio.

Desde otro punto de vista es importante determinar el día de la seroconversión o presencia de anticuerpos luego del inicio de los síntomas, la mayoría de los autores mencionan periodos desde 3 hasta días 10 días en la detección de anticuerpos, siendo esta premisa importante para la realización de la prueba rápida. A pesar de que la RT-PCR es ampliamente utilizada como el método de diagnóstico estándar, los pacientes confirmados por esta prueba pueden ser diagnosticados con SARS-CoV-2, mientras que a los negativos no se puede descartar la posibilidad, generando los falsos negativos, lo que representa una gran amenaza para la comunidad y las instituciones en salud, es por este motivo que se necesitan medidas más específicas, como los métodos serológicos, como suplemento al diagnóstico actual. Existen muchos métodos de

detección serológica recientemente desarrollados, por ejemplo, la tira inmunocromatográfica coloidal sobre la base de oro ICG, ELISA y kits de prueba rápida de flujo lateral con la esperanza de proporcionar enfoques de diagnóstico complementarios para estos pacientes (Pan et al., 2020; Lippi et al., 2020; Burog et al., 2020).

Debido al obstáculo de recolectar muestras con los hisopos a nivel de la orofaringe o nasofaringe de alta calidad en diferentes etapas de infección, la prueba de PCR mostró una alta tasa de falsos negativos, lo cual significa que es difícil identificar y poner en cuarentena a las personas infectadas (Xie et al., 2020). Por otro lado, Xiang et al. (2020) demostraron que la tasa seropositividad de IgG disminuyó alrededor de los 28 días posteriores al inicio de la enfermedad. En relación con la PCR un estudio reciente demostró que solo mostró una tasa de prueba positiva del 38% en un total de 4880 muestras con un número significativo de casos falsos negativos. Se acepta que la IgM es la inmunoglobulina temprana en respuesta a la invasión del virus, la IgG tiene la mayor opsonización y actividades de neutralización en la respuesta inmune humoral. Estudios anteriores han informado que la seroconversión de IgM-IgG puede comenzar tan pronto como 4 días después del inicio de la infección. Li et al. han desarrollado un inmunoensayo rápido de flujo lateral que puede detectar los niveles de IgM e IgG en 15 minutos para la detección rápida de la infección por SARS-CoV-2 en diferentes etapas. Por lo tanto, la prueba de anticuerpos específicos en muestras de suero de pacientes podría ser un método alternativo para un diagnóstico de laboratorio rápido y altamente sensible (Xie et al., 2020; Frater et al., 2020).

La temporalidad con respecto al inicio de los síntomas demostró como la PCR tiene un mejor rendimiento diagnóstico entre los primeros 5 días del inicio de síntomas, pero las pruebas de anticuerpos mejoraban su sensibilidad a partir del día 11, dejando la ventana de los 6 a 10 días del inicio de los síntomas para considerar la combinación de la PCR y anticuerpos, que simultáneamente tiene correlación con una caída significativa de la carga viral y posiblemente menor viabilidad viral para su detección. Otra de las utilidades de la prueba serológica, puede considerarse en la tamización de individuos considerados de alto riesgo para infección en comunidad, en particular con contactos estrechos y tras haber cumplido el periodo recomendado de aislamiento o cuarentena; y con resultados positivos a través de la evaluación secuencial de pruebas de IgM/IgG y establecer una condición de inmunidad o no susceptibilidad para su reintegración a las actividades laborales, pudiendo ser poco útiles en enfermedades agudas (Gomez, 2020).

El acceso a las pruebas COVID-19 en muchos países, incluido Estados Unidos, sigue siendo inadecuado, lo que impide en gran medida la capacidad de los médicos y las autoridades de salud pública para determinar y rastrear con precisión la prevalencia y la transmisibilidad de este brote (Lu et al., 2020). En ese sentido se debe disponer de un score para optimizar la solicitud de la PCR TR y diagnosticar pacientes con Covid-19. Por todo lo indicado el objetivo del presente trabajo es evaluar la diferencia entre la prueba rápida, la Prueba de PCR en tiempo real de los pacientes que se han hospitalizado en el Hospital Univalle, sobre la base de un score de indicación para PCR (edad, fiebre, síntomas respiratorios, Rx tórax, comorbilidades, lugar de residencia y actividad laboral) como método diagnóstico y de evolución en la pandemia de coronavirus del Hospital Univalle Sur de Cochabamba; finalmente, proponer un modelo predictivo de probabilidad de diagnóstico para confirmar Covid-19 (Tabla 1).

Tabla 1. Score de indicación para prueba TR PCR para COVID-19

Parámetro	Puntaje	Observaciones
Edad > de 60 y < 12 años	1	
Fiebre	1	
Síntomas respiratorios*	2	
Rx de tórax**	1	
Comorbilidades***	2	
Actividad laboral****	4	
Contacto sospechoso	2	
Lugar de residencia*****	2	
Total	15	

>0= de 4 puntos tiene indicación de prueba PCR para COVID-19

* Es suficiente un solo síntoma respiratorio (Tos, disnea, rinorrea, conjuntivitis, etc.)

** Puede ser datos de condensación o infiltrado sospecha de neumonía

*** Es suficiente un factor de riesgo (HTA, DM, CA, inmunodepresión, EPOC, ASMA, etc.)

**** Siendo personal de salud o asistente, policías y militares ya tiene 4 puntos

***** Si son áreas de con un Índice de riesgo (IR) ALTO de contagio ya es 1 punto

IR en Cochabamba: Santivañez, Omereque, Cliza, Quillacollo, Punata, Cochabamba, Colcapirua, Sacaba, Vinto, Chimore, Sipe Sipe, Tiquipaya.

2. MÉTODO

El presente estudio es de carácter observacional, analítico y retrospectivo. Se asentó en la revisión de historias clínicas de pacientes que fueron atendidos y hospitalizados en el Hospital Univalle Sur, Cochabamba-Bolivia de julio a septiembre 2020; para este objetivo, se analizó los resultados del score propuesto para solicitar la PCR (≥ 4) y posteriormente se realizó una prueba de independencia de χ^2 entre los resultados de la prueba PCR, prueba rápida y la puntuación. Adicionalmente, se realizó el cálculo de la sensibilidad, especificidad, Valor predictivo positivo VPP y Valor predictivo negativo VPN; curvas ROC y áreas bajo la curva AUC, con posterioridad se creó un índice o prueba aditiva en las que se sumaron la confirmación de las 20 variables y así generar una escala cuantitativa discreta, luego fue contrastada con los casos positivos para COVID-19.

Posteriormente se realizaron varios modelos de regresión logística binaria, tomando en cuenta variables binarias, que tengan relación significativa con la variable dependiente y que no exista relación entre variables independientes; en este sentido la variable respuesta fueron los casos positivos tanto por PCR o prueba rápida, las variables independientes fueron las covariables para el desarrollo del score de puntuación ≥ 4 . De los dos modelos predictivos, uno para la PCR y otro para la prueba rápida, el primer modelo tomo en cuenta todas las covariables, el segundo modelo tomo todas, excepto asintomático, requerimiento de UTI, ARM, embarazo, EPOC y ERC; el tercer modelo permitió incluir a las covariables no consideradas anteriormente y covariables originales como la mayor frecuencia de casos positivos por PCR (Edad, sexo, tos seca, fiebre, astenia, cefalea, disnea, mialgias, presión arterial media, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura y saturación de Oxígeno).

La población objetivo fueron los pacientes adultos mayores de 18 años y con la solicitud de prueba rápida o PCR para Covid-19. El tamaño muestral se determinó sobre la base de 286 pacientes con un margen de error máximo de 8% y un nivel de confianza del 95%. El tamaño poblacional se definió como el promedio de pacientes ingresados en el Hospital Univalle Sur con diagnóstico de Dengue, calculando un tamaño muestral de 98 pacientes.

Para el análisis descriptivo e inferencial se usó el software estadístico de IBM SPSS (software platform offers advanced statistical analysis) versión 22. El presente estudio fue aprobado por el Comité de ética del Hospital Univalle Sur (Montgomery et al., 2002; Ruopp et al., 2008).

RESULTADOS

Los 98 pacientes que ingresaron al estudio lo hicieron por el servicio de emergencias, de los cuales el 50% fueron del sexo masculino; la mayoría ingresaron al grupo etareo entre 31 a 45 años con 45 pacientes que equivale al 46% y más de 51 años con 41 pacientes que corresponde al 42%. Los meses de ingreso fueron en julio, agosto y septiembre del 2020 con 25, 49 y 27% respectivamente. En relación con el tipo de seguro, 43 pacientes con 44% fueron particulares y 55 pacientes con 56% pertenecieron a seguros privados (ELFEC y Caja de la Banca Privada). El tipo de ocupación presento a 39 pacientes como personal de salud propio de la institución, 54 pacientes sin identificar y con escasos pacientes a empleados y estudiantes. La totalidad de los pacientes vino de la provincia de Cercado de Cochabamba y de estos 55% de pacientes derivaron de la zona central, 27% de la zona norte y 18% de la zona sur (Tabla 2).

Dentro el tiempo de presentación de los síntomas se ha observado a 23 pacientes entre 1 a 3 días, 28 pacientes entre 4 a 6 días y 47 pacientes $>$ de 6 días, de estos $>$ del 80 % presentaron IgM (+), sobre todo $>$ a 6 días de inicio de síntomas, aunque sin valor estadístico (χ^2 23,48, $p > 0,05$); por otro lado, la PCR fue positiva en más del 75%, desde el primer día a $>$ de 6 días, con una U de Mann-Whitney de 327,500 y un valor de $p = 0,036$ (Tabla 3 y 4).

Tabla 2. Características demográficas, score para solicitar PCR

Características	Valor (%)	SCORE de indicación PCR	
		< 4	> 4
No.	98 (100)	4	94
Tos seca	81 (83)	1	80
Fiebre	77 (79)	0	77
Astenia	68 (69)	0	68
Cefalea	68 (69)	1	67
Disnea	63 (64)	0	63
Mialgias	68 (69)	3	65
Odinofagia	40 (41)	1	39
Hiposmia	37 (38)	0	37
Disgeusia	34 (35)	0	34
HTA	39 (40)	0	39
Obesidad	10 (10)	0	10
DM	34 (35)	0	34
Enf. Resp	4 (4)	0	4
ASMA	8 (8)	0	8
ERC	4 (4)	0	4
PCR (+)	76 (78)	3	76
PCR (-)	13 (13)	0	13
Req. UTI	14 (14)	0	14
Req. ARM	13 (13)	0	13
Alta hosp.	82 (84)	4	78
Mortalidad	16 (16)	0	16

HTA: Hipertensión arterial

DM: Diabetes Mellitus

Enf. Resp.: Enfermedad respiratoria

ERC: Enfermedad renal crónica

Req. UTI/ARM: Requerimiento terapia intensiva y asistencia respiratoria mecánica

PCR: Reacción en cadena Polimerasa

Tabla 3. Relación días de inicio de síntomas con prueba rápida y PCR TR

	PCR TR		Prueba rápida	
	Positivo*	IgM (+) IgG (-)	IgM (+) IgG (+)	IgM (-) IgG (+)
	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
1 a 3 días	1 (1)	8 (8)	12 (12)	2 (2)
4 a 6 días	3 (3)	10 (10)	13 (13)	2 (2)
> de 6 días	6 (6)	22 (22)	17 (17)	2 (2)
TOTAL	10 (10)	40 (40)	42 (42)	6 (6)

* Solo se realizó PCR

Tabla 4. Relación de días de inicio de síntomas con PCR TR

	PCR TR*		
	Positivo	Negativo	NO se realizó
	N (%)	N (%)	N (%)
1 a 3 días	15 (15)	7 (7)	1 (1)
4 a 6 días	21 (21)	2 (2)	5 (5)
> de 6 días	40 (40)	4 (4)	3 (3)
TOTAL	76 (76)	13 (13)	9 (9)

De los 98 pacientes el 100% se hospitalizo, el 70% con IgM (+) lo hizo en sala general y solo 12% con IgM (+) a UTI; En relación con la PCR positiva, 66% se hospitalizo en sala general y 10% en UTI. Desde otro punto de vista el 83% presento tos seca, el 79% fiebre, el 69% cefalea y mialgias, el 64% disnea, el 41% odinofagia, 38% hiposmia y el 35% disgeusia; con respecto a las comorbilidades la HTA presento 40%, diabetes mellitus 35%, la obesidad 10%, asma bronquial con 8% y enfermedad respiratoria 4%.

En referencia a la puntuación para solicitar la PCR 94 pacientes presentaron un valor= o > a 4; tomando en cuenta a la prueba rápida 78 pacientes con IgM (+) presentaron más de 4 de puntuación del score para solicitar la PCR y a los que se realizó la PCR (89 pacientes), 73 pacientes presentaron un valor > de 4; con esta puntuación (>= a 4) fallecieron 16 pacientes (16.3%), sin embargo, fueron dados de alta 74 pacientes.

Según la prueba de independencia de χ^2 entre el score empleado (20 variables), los resultados de la PCR y prueba rápida, el criterio ≥ 4 no tiene relación con los resultados de PCR ($\chi^2=0.531$, $P>0.05$), la sensibilidad es del 96 % el valor predictivo positivo (VPP) es 85%, la especificidad al igual que el valor predictivo negativo VPN fue nula; por su parte, al ser contrastado con la prueba rápida con IgM (+) la sensibilidad asciende a 98% y la especificidad al 6,5%, no obstante la prueba de independencia no demuestra relación entre ambas variables, como en el caso anterior ($\chi^2=1.318$, $P>0.05$); como consecuencia el índice aditivo oscilo entre 1 a 13 siendo su valor medio 6.94 (DS=3.2), haciendo que el coeficiente de variación CV sea elevado (46%), por lo que no existió diferencia entre las distribuciones de valores del índice aditivo entre personas con prueba positivas a COVID-19, tanto de PCR como de prueba rápida.

Al emplear el índice aditivo y diagramar las curvas ROC, se puede apreciar que en ninguno de los casos esta es superior a la probabilidad de 0.6 (60%), en la prueba rápida la AUC es 0.55 con valor de $p>0,05$ y un IC al 95% (0.44-0.67); en la PCR la AUC fue 0.55, el valor de $p>0,05$ y un IC al 95% (0.38-0.72), indicando que los resultados están muy en relación con el azar, haciendo que se desestime su uso como potencial diagnóstico (Figuras 1 y 2).

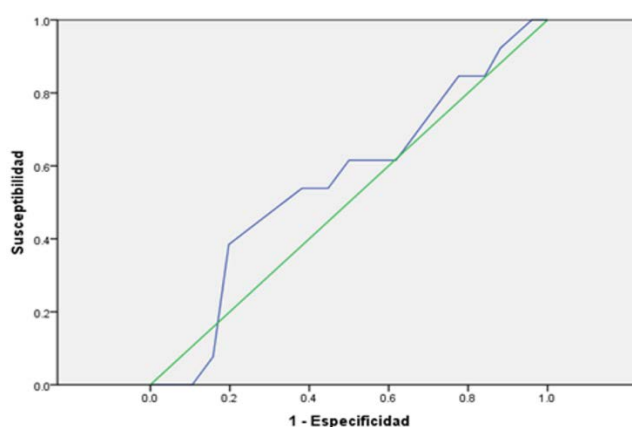


Figura 1. Curva ROC para el índice aditivo y el pronóstico de PCR negativo

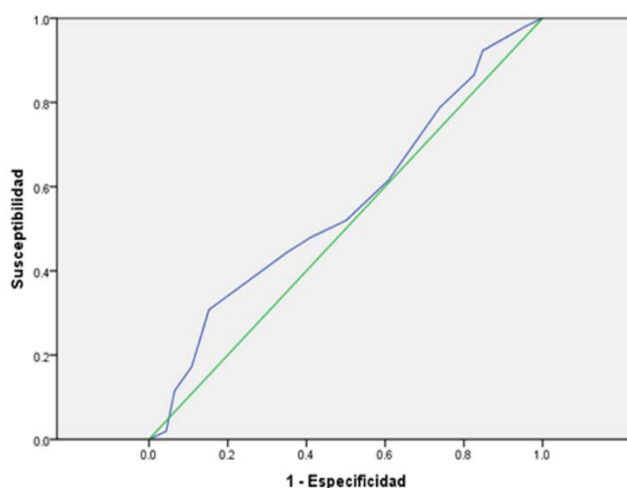


Figura 2. Curva ROC para el índice aditivo y el pronóstico de prueba rápida positiva
(Los segmentos diagonales son producidos por los empates)

No obstante, haciendo uso del índice de Youden se determinó que para ambas curvas el punto de corte que maximiza la especificidad con la sensibilidad es 9.5, es decir que existe una mejor probabilidad de diagnosticar COVID-19, tanto con la PCR como la prueba rápida si es que se tienen 10 variables, aunque carece de evidencia para rechazar la hipótesis nula.

Es importante conocer que o cuales de las variables juegan un papel importante para el diagnóstico adecuado y posterior toma de decisiones, por lo que se practicaron los modelos de regresión logística binaria; en el primero, tomando en cuenta la prueba rápida, no fue estadísticamente satisfactorio ($\chi^2=28.84$, $P=0.09$); de acuerdo con el pseudo-coeficiente de determinación de Nagelkerke, el modelo logra predecir

34% de la variabilidad (expresada como varianza), clasificando adecuadamente 71% de los casos; las variables que más aportaron a los resultados ($p < 0.05$) son la tos seca, mialgias y obesidad, dentro las comorbilidades la hipertensión arterial tiene 3.38 veces más posibilidades de salir positivo a la prueba rápida. Este modelo con la prueba PCR tampoco presento resultados significativos ($X^2 = 12.94$, $P = 0.88$); ninguna de las variables aporta significativamente al modelo por lo que es necesario descartarlo.

El segundo modelo tampoco ofrece resultados significativos en relación con la prueba rápida ($X^2 = 20.6$, $p = 0.11$), las mialgias podrían aportar significativamente al modelo, por otro lado, la presencia de odinofagia, hiposmia, HTA y disgeusia podrían significar el doble de oportunidad para salir positivo. En relación con la PCR ($X^2 = 7.25$, $p = 0.95$), donde ninguna de las covariables aporta significativamente al modelo, sin embargo, la tos seca presenta hasta 4.8 veces más posibilidad de producir un resultado positivo.

El nivel del azar en el tercer modelo es menor que en los casos anteriores ($X^2 = 31.06$, $p = 0.003$), siendo significativo; el coeficiente de Nagelkerke explica hasta 36.3 % de la variabilidad, por lo tanto la sensibilidad y especificidad están mejor equiparadas con 61% y 71% respectivamente; las covariables de aporte significativo son el sexo, teniendo las mujeres hasta 8.7 veces más probabilidad de tener resultados positivos en la prueba rápida, las mialgias ofrecen hasta 5 veces más opción de tener resultados positivos y el aumento de la PAM disminuye la ocurrencia del evento. En relación con la PCR este modelo también tiene un nivel de azar reducido, aunque no significativo ($X^2 = 21.70$, $p = 0.06$), donde la variabilidad puede ser explicada hasta en un 38 %, si bien gana sensibilidad a 97%, la especificidad es aún baja con 30%.

Tomando en cuenta la variable tos seca que más azar aporta, se decidió retirar la misma para un modelo definitivo. La astenia y la edad presentan nuevamente menor nivel de azar, por otro lado, a mayor edad hay más oportunidad de presentar pruebas de PCR positivas, por otro lado, la astenia tiene 12.5 veces más probabilidad de ofrecer casos positivos; este último modelo tiene una sensibilidad de 96% pero solo 15% de especificidad. El pseudo-coeficiente de determinación de Nagelkerke, indica que el modelo explica hasta el 30% de la variabilidad. Por otro lado, el nivel de azar general es de 17% ($\chi^2 = 16.5$; $p = 0.169$) (Tabla 5).

Tabla 5. Modelo III Prueba aditiva y prueba rápida más PCR

Co-variable	Valor de p	Exp (B)/OR			IC al 95% (Superior)		IC al 95% (Inferior)	
	PR*	PCR	PR	PCR	PR	PCR	PR	PCR
Edad	.734	.070	1.006	1.056	.973	.996	1.039	1.120
Sexo	.001	.440	8.786	.507	2.367	.090	32.604	2.844
Tos seca	.149		.364		.092		1.434	
Fiebre	.169	.098	2.757	.174	.650	.022	11.693	1.379
Astenia	.470	.051	.632	12.509	.182	.985	2.193	158.913
Cefalea	.070	.977	.302	1.028	.083	.158	1.102	6.684
Disnea	.050	.457	3.770	.522	1.000	.094	14.212	2.892
Mialgias	.015	.899	5.075	1.119	1.365	.197	18.875	6.348
PAM	.038	.180	.949	1.046	.902	.979	.997	1.117
FC	.185	.804	1.026	1.006	.988	.957	1.067	1.058
FR	.285	.727	.924	.971	.800	.824	1.068	1.145
T°	.415	.986	1.505	1.014	.563	.219	4.021	4.694
SatO2	.109	.500	1.070	1.030	.985	.945	1.163	1.123

PR: Prueba rápida, PAM: presión arterial media, FC: Frecuencia cardiaca, FR: Frecuencia respiratoria, T: Temperatura, SatO2: Saturación de oxígeno

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este estudio detecto 80% de los pacientes con más de 30 años, con una media de 47.9 (± 16.4), muy similar al cohorte retrospectivo de China con una media de 48.9 (± 15.7), donde se validó un score de riesgo para predecir pacientes críticos con covid-19 (Liang et al., 2020). En relación con la ocupación de los pacientes, un 40% perteneció al personal de salud que sin duda refleja un grupo ampliamente expuesto a esta enfermedad. Más del 50% perteneció a la provincia de Cercado en Cochabamba, hallazgo que es nuevo por la falta de estudios en nuestro territorio. Tomando en cuenta los días de inicio de los síntomas más del 80% de los pacientes presentaron IgM (+) en especial los que tenían > de 6 días, con la PCR más del 75% fueron positivos entre el primer a más de 6 días ($p = 0.036$), afirmando la falta de consenso sobre la seroconversión

y la utilidad de la PCR; como lo indica Gómez JE. et al en un consenso Colombiano mencionando que la utilidad de la PCR podría estar hasta los 10 días y las pruebas rápidas a partir de los 14 días (Gomez, 2020), o a partir de los 5 días luego de la infección, según Green et al. (2020), Udugama et al. (2020) y (Loeffelholz et al., 2020, o Patel et al. (2020) que manifiestan que la seroconversión podría ser entre los 7 y 10 días. Por otro lado, Burog et al. (2020) muestran que la IgM es detectable tan pronto como 3 a 6 días desde el inicio de los síntomas, mientras que la IgG es detectable después de 8 días, con títulos máximos en 15 a 20 días. El 87% se hospitalizó en sala general y únicamente el 13% a UTI, refrendando que un paciente crítico con covid-19 puede estar entre el 5 al 10% y que el análisis clínico y laboratorio es importante para decidir la hospitalización ya que una gran mayoría de los pacientes tenían IgM y PCR (+), siendo el diagnóstico de la infección por SARS-CoV-2 un constructo, entre el juicio clínico y pruebas diagnósticas laboratoriales e imagenológicas (Gomez, 2020).

Hipotéticamente, si la población del mundo entero pudiera ser testada de una vez, con una prueba que proporciona el 100% de especificidad y sensibilidad (poco realista), podríamos ser capaces de identificar a todas las personas infectadas y clasificarlas en aquellos que en ese momento están asintomáticos, mínimamente, moderadamente sintomáticos y gravemente sintomáticos. El asintomático y el sintomático mínimo a moderado podrían estar en cuarentena para evitar la propagación del virus, con los síntomas severos deberían aislarse y manejarse en los entornos sanitarios. El rastreo de contactos podría llevarse a cabo para encontrar aquellos en riesgo de estar en el período de incubación en virtud de su exposición. Alternativamente, la prueba podría identificar a aquellos expuestos previamente al virus, además de identificar a aquellos que son inmunes al virus, a quienes se podría aprovechar para trabajar en entornos donde hay individuos potencialmente infectados.

Desafortunadamente, estos escenarios no son la realidad, sin embargo, se debería hacer lo posible para acercarnos a una situación ideal, en ausencia de un tratamiento específico (Patel et al., 2020). En referencia al score de indicación de PCR más de 70 pacientes, tanto al solicitar prueba rápida o PCR, tenían una puntuación = o > a 4, situación que también ha sido analizada en el score para predecir la enfermedad crítica (China) en la admisión, siendo de alto riesgo con > del 59,3% (Liang et al., 2020; Xie et al., 2020).

Se ha demostrado que al combinar la RT-PCR y la medición de inmunoglobulinas superaba el rendimiento diagnóstico de la RT-PCR como prueba única dado principalmente por aumento de la sensibilidad al hacer las 2 pruebas en paralelo. Por otra parte, Zhegtu Li et al, describieron que la inclusión de las pruebas serológicas en algoritmos diagnósticos incrementó la sensibilidad a 88% y mantuvo la especificidad de 90% (Gomez, 2020; Yan et al., 2020; Sethuraman et al., 2020). Desafortunadamente, debido a las implicaciones que conlleva el diagnóstico de infección por SARS-CoV-2 es necesario en lo posible, documentar la presencia del virus. Esta situación se dificulta cuando el rendimiento de estas pruebas no es perfecto, presentando un porcentaje significativo de falsos negativos y además poco disponible en el medio. En este entender se han propuesto varios scores de puntuación con diferentes objetivos, en el caso de nuestro score no solamente se indicaría para solicitar la PCR, sino también para diagnosticar el covid-19.

Tomando en cuenta la falta de significancia estadística con esta herramienta y tras realizar varios modelos de regresión logística binaria, el resumen general para los distintos modelos ensayados se presenta en la Tabla 6, donde se aprecia que están mejor balanceados para la predicción de resultados de prueba rápida.

Tabla 6. Resumen para todos los modelos ensayados

Modelo	χ^2	p	R^2 Nagelkerke	Eficiencia general	Sensibilidad	Especificidad
1 Prueba rápida	28.84	0.09	0.34	0.71	0.75	0.67
1 PCR	12.95	0.88	0.24	0.85	0.99	0.08
2 Prueba rápida	20.60	0.11	0.25	0.69	0.69	0.69
2 PCR	7.25	0.93	0.14	0.84	0.99	0.00
3 Prueba rápida	31.07	0.003	0.363	0.66	0.61	0.71
3 PCR	16.5	0.169	0.3	0.84	0.96	0.15

X2: Chi2

p: Valor de p

PCR: Reacción en cadena de polimerasa

Por otro lado, si se desea evaluar sólo la PCR, el tercer modelo parece ofrecer mejores resultados. El primer modelo presenta mejores evidencias de efectividad en la clasificación para la prueba rápida; aunque el tercer modelo tiene un grado de significancia mejor ($p < 0.05$), por lo que es el que se tomó en cuenta para proponer un modelo predictivo de probabilidad de diagnóstico confirmado de COVID-19, tanto para PCR como prueba rápida.

4. CONCLUSIONES

Es probable que haya una relación directa entre la comprensión de la presencia del virus en las comunidades, en individuos y la aceptación de medidas de control que requieren una acción individual, como el distanciamiento social. Por otra parte, necesitamos asegurarnos del suministro de suficiente cantidad de pruebas con esfuerzos coordinados entre el sector público, clínico, comercial e industrial (Patel et al., 2020), además de ensayar pruebas de diagnóstico clínicos validados en diferentes países; existen muchas instituciones como el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos; Organización Mundial de la Salud; la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional OSHA en estados Unidos, Centro Chino para el Control y la Prevención de Enfermedades; Centro Europeo para la Prevención y el Control de Enfermedades; Red de Laboratorios de Salud Pública de Australia; Centro de Salud Pública de Gran Bretaña; Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas de Japón y otras más que exponen las limitaciones de los diferentes exámenes de laboratorio, pero definitivamente deben existir alternativas diagnósticas difundidas a nivel mundial (Frater et al., 2020).

Durante esta emergencia de salud pública de interés nacional e internacional, la detección y diagnóstico rápido de pacientes para ayudar a la contención es una prioridad, sin embargo, la toma de la RT-PCR siempre ha reflejado limitaciones económicas y de preparación laboratorial. En consecuencia, nuevas herramientas, como pruebas serológicas capaces de rastrear el virus a través de cada fase de la enfermedad, pueden ayudar a los epidemiólogos a suprimir la transmisión de humano a humano y en asintomáticos, finalmente proporcionar un tratamiento inmediato (Infantino et al., 2020). Si bien el score de indicación de la PCR no presentó diferencias en relación con la prueba rápida y PCR, en este estudio se propone un modelo predictivo de diagnóstico para Covid-19, tomando en cuenta la PCR y la prueba rápida (Edad, tos seca, sexo, fiebre, astenia, cefalea, disnea, mialgias, presión arterial media PAM, frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura y saturación de oxígeno), que creemos puede ser de vital importancia en esta crisis sanitaria, para pedir estas pruebas y diagnosticar pacientes con covid-19, cuando estas no se tienen disponibles al 100% a nivel mundial.

Dentro las limitaciones de este estudio se encuentran la cantidad de pacientes tomados en cuenta y sobre todo la falta de validación de este modelo, ya que se necesita aplicarlo en una nueva base de datos.

En https://drive.google.com/file/d/1tY2wx-BQvxjO7eUm_7P5f_oFxNHvJrsg/view se puede consultar los sistemas de decisión basados en los resultados de las pruebas de regresión logística ejecutadas con la base de datos del Hospital Univalle. Ambos sistemas son predictivos, pero tienen errores propios de cada modelo, de estilo probabilístico. Se debe ingresar valores en la sección blanca y luego leer la celda a la derecha.

REFERENCIAS

- Burog, A.I., Yacapin, E.C. y Maglente, R.R. (2020). *Should IgM/IgG rapid test kit be used in the diagnosis of COVID-19?* Institute of Clinical Epidemiology and Asia-Pacific Center for Evidence-Based HealthCare.
- Frater, J.L., Zini G. y d'Onofrio, G. (2020). COVID-19 and the clinical hematology laboratory. *International Journal Of Laboratory Hematology* 42(1), 11-18.
- Gomez, J. (2020). Consenso Colombiano de atención, diagnóstico y manejo de la infección por SARS COV-2/COVID-19, en establecimientos de atención en salud. *Revista de la Asociación Colombiana de Infectología* 34(3), 1-163.
- Green, K., Graziadio, S., Turner, P. y Fanshawe, T. (2020). *Molecular and antibody point-of-care tests to support the screening, diagnosis and monitoring of COVID-19*. The Centre for Evidence-Based Medicine develops, promotes and disseminates better evidence for healthcare.
- Infantino, M., Damiani, A., Li, L. y Grossi, V. (2020). Serological Assays for SARS-CoV-2 Infectious Disease: Benefits, Limitations and Perspectives. *JAMA Intern Med.* 22, 203-209.

- Liang, W., Liang, H. y Ou, L. (2020). Development and Validation of a Clinical Risk Score to Predict the Occurrence of Critical Illness in Hospitalized Patients With COVID-19. *JAMA Intern Med.* 180(8), 1081-1089.
- Lippi, G., Mattiuzzi, C., Bovo, C. y Plebani, M. (2020). Current laboratory diagnostics of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Act Biomed.* 91(2), 137-145.
- Loeffelholz, M.J. y Tang, Y.W. (2020). Laboratory diagnosis of emerging human coronavirus infections – the state of the art. *Emerging, microbes and infection* 9, 747-756.
- Montgomery, D. y Runger, G. (2002). *Applied statistics and probability for engineers*. Wiley.
- Pan, Y., Li, X., Yang, G. y Fan, J. (2020). Serological immunochromatographic approach in diagnosis with SARS-CoV-2 infected COVID-19 patients. *Journal of Infection*, 3(54), 1-5.
- Patel, R., Babady, E., Theel, E. y Storch, G. (2020). Report from the American Society for Microbiology COVID-19 Internat. Summit, 23 March 2020: Value of Diagnostic Testing for SARS-CoV-2/COVID-19. *mBio*, 11(2), e00722-20.
- Rodríguez, A., Cardona, J., Gutiérrez, E., Villamizar, R. et al. (2020). Clinical, laboratory and imaging features of COVID-19: A systematic review. *Travel Med Infect Dis.* 34,101-623.
- Ruopp, M., Perkins, N., Whitcomb, B. y Schisterman, E. (2008). Youden Index and optimal cut-point estimated from observations affected by a lower limit of detection. *Biom.j.* 50(3), 419-430.
- Saxena, S. (2020). *Coronavirus Disease (COVID-19) Epidemiology, Pathogenesis, Diagnosis and therapeutics*. Springer.
- Sethuraman, N., Jeremiah, S. y Ryo, A. (2020). *Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2*. JAMA.
- Tang, Y.W., Schmitz, J.E., Persing, D.H. y Stratton, C.W. (2020). The Laboratory Diagnosis of COVID-19 Infection: Current Issues and Challenges. *Journal Clinic Microbiology* 58(6), e00512-20.
- Udugama, B., Kadhiresan, P., Kozlowski, H. y Malekjahani, N. (2020). Diagnosing COVID-19: The Disease and Tools for detection. *ASC nano* 3, 3822-3835.
- Xiang, F., Wang, X., He, H. y Peng, Z. (2020). Antibody Detection and Dynamic Characteristics in Patients with COVID-19. *Clinical Infectious Disease* 71(8):1930-1934.
- Xie, J., Ding, C., Li, J. y Wang, Y. (2020). Characteristics of Patients with Coronavirus Disease (COVID-19) Confirmed using an IgM-IgG Antibody Test. *Journal of Medical Virology* 92(10), 2004-2010.
- Yan, Y., Chang, Y. y Wang, L. (2020). Laboratory testing of SARS-CoV, MERS-CoV, and SARS-CoV-2. *Rev Med Virol.* 30(3), e2106.

Caracterización de la presencia de *plaquetopenia*, *leucopenia* y aumento del hematocrito en la evolución y gravedad de los pacientes con diagnóstico de dengue

Rommer Alex Ortega Martínez¹

Liliana Alejandra Cáceres Sánchez²

Jacqueline Borda de Abularach³

Universidad Privada del Valle Cochabamba

Hospital Univalle Norte y sud

Bolivia

El virus del dengue DENV ha frecuentado nuestro planeta más de tres siglos. La picadura del mosquito *Aedes aegypti* causa el DENV en humanos. El objetivo de este estudio es caracterizar la presencia de la plaquetopenia, leucopenia y aumento del hematocrito con la evolución y gravedad de los pacientes con diagnóstico de Dengue en el Hospital Univalle. Se realizó un estudio retrospectivo, longitudinal y analítico entre 2017 y 2020. Se identificaron 235 pacientes, 83% en la gestión 2020; el 65% al grupo etareo entre 19 a 45 años; el sexo masculino con 54%. El 80% provienen de Cercado, Cochabamba, de estos más del 95% de la zona sud. La prueba más usada fue la detección de la proteína NS1Ag con 71%; 56% de los pacientes se hospitalizaron; más del 50% presentaron sintomatología entre el 2do y 5to día; dentro la clasificación del dengue el 75% perteneció a dengue sin signos de alarma ($p < 0,01$). La sintomatología más importante fue la fiebre ($p = 0,001$), asociado a dolor abdominal, vomito persistente y sangrado ($p < 0,05$). El valor de los leucocitos fue $< 5.000/mm^3$ en mujeres con signos de alarma, en contraposición con los varones; las plaquetas reflejaron un valor más bajo en pacientes con signos de alarma y en varones; el hematocrito mostro valores más altos en varones ($> 45\%$) y representó mayor tiempo de hospitalización (> 5 días) con un valor de $p = 0,023$. Es importante utilizar la leucopenia y plaquetopenia en dengue con signo de alarma, en mujeres y varones; el aumento del hematocrito en varones como biomarcadores de severidad clínica y estancia hospitalaria, empleando la sintomatología y pruebas rápidas disponibles.

¹ Médico Internista e Intensivista. Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Obrero No. 2 de la Caja Nacional de Salud. Coordinador de Investigación Clínica en la Universidad Privada del Valle.

Contacto: rommeralexo@gmail.com

² Bióloga. Coordinador de Investigación Universidad Privada del Valle.

Contacto: lcaceress@univalle.edu

³ Médico Cirujano y Bioquímico Clínico. Jefe de Laboratorio Hospital Univalle.

Contacto: Jackyborda@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Son aproximadamente tres siglos, en los cuales los virus del dengue DENV han frecuentado nuestro planeta. La picadura del mosquito *Aedes aegypti* es el causante de la transmisión del DENV en humanos y este mosquito ha migrado desde África Occidental hasta América y en dirección inversa a Europa y Asia y se introdujeron en el ciclo de transmisión urbana. A nivel mundial el Dengue es considerado la infección viral más común transmitida por artrópodos y con gran crecimiento en los países tropicales y subtropicales, además de las áreas urbanas (Halstead, 2019).

Esta patología es una de las muchas enfermedades arbovirales en el ser humano, con más de 390 millones de casos en todo el mundo; reportada en los últimos 50 años en Bolivia, además de la Fiebre Amarilla, Fiebre Mayaro, entre otras. El dengue ha sido reconocido por primera vez en Bolivia en 1931, sin embargo, el primer caso fue notificado en 1987, aislado en el Instituto de Fiocruz de Rio de Janeiro, Brasil, donde probablemente se identificó el serotipo 1 DENV-1; el serotipo 2 DENV-2, fue detectado por primera vez en 1997, cuya circulación se reportó hasta 2007; el serotipo 3 DENV-3, se detectó inicialmente en 2001 y es el que ha estado predominando entre noviembre y junio (Epidemia anual) (Roca et al., 2009).

Brémond et. al. (2015) realizaron un monitoreo en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra en Bolivia, de las larvas y pupas del *A. Aegypti* y la presencia de pacientes con dengue, en colaboración del Centro Nacional de Enfermedades Tropicales CENETROP y el Servicio Departamental de Salud SEDES, con mayor presencia, probablemente subestimado, en la misma ciudad de Santa Cruz, aun a pesar del desarrollo tecnológico para su diagnóstico. En relación con Cochabamba, Aquino et al. (2016) demostraron la presencia de larvas de *A. Aegypti* en el área metropolitana de esta ciudad.

De las epidemias Zika, Chikungunya y dengue, con una presencia importante del 2015 al 2016, hasta fines del 2018 se ha observado un descenso, probablemente secundario a un mejor control del vector, cambios adaptativos e inmunológicos, sin embargo, recientemente se ha percibido la reemergencia del dengue, sobre todo el severo, como en Honduras, con la presencia de aumento de permeabilidad, choque, síndrome de distrés respiratorio, sangrado, compromiso hepático, cardíaco y de la conciencia (Zambrano, 2019). Es evidente que a nivel mundial se necesitan más estudios sobre el dengue y otras arbovirosis, empero, creemos que éstas son más importantes en América Latina y en Bolivia, más aún con referencia a la relación laboral, la evolución y desenlace de estos pacientes.

El DENV es una enfermedad infecciosa emergente, con la clínica va desde la autolimitación (85-90%) hasta una enfermedad grave (5%), como el paciente con choque o hemorragias, que se caracteriza por la fuga capilar en diversas cavidades, hemorragias, hemoconcentración, trombocitopenia y puede causar la muerte; se cuentan con algunos indicadores diagnósticos para el reconocimiento precoz del dengue severo, como el Índice de relación de recuento de la Aspartato aminotransferasa/plaquetas IRAP, muchas veces usado como diagnostico predictivo de la cirrosis hepática y carcinoma hepático; actualmente son muy pocos estudios los que demuestran su utilidad en el valor pronostico del dengue severo. La fórmula es la siguiente: IRAP: $[AST (U/L) / PLQ (x10^9/L)] \times 100$. El punto de corte es 6,98 para identificar pacientes con dengue severo (Hao et al., 2017).

Existe otras revisiones, como es el caso de Pongpan et al. (2014), quienes realizaron un estudio en el grupo etareo pediátrico tomando en cuenta un score que contenía la edad, la hepatomegalia, la presión arterial sistólica, los glóbulos blancos y las plaquetas, el mismo permitió determinar la severidad de esta patología, sin embargo, aun con requerimiento de mayores estudios para su validación.

La Organización Mundial de la Salud OMS toma en cuenta la fuga capilar con la elevación del 20% del hematocrito, hipoalbuminemia, derrame pleural, además de ascitis, como marcadores pronósticos y de severidad del dengue, empero, Suwanto et. al. (2018) indican la elevación del hematocrito >15%, concentración de albumina < 3,49 mg/dl, conteo de plaquetas < 49,500/ul, aspartato aminotransferasa > 2,51u/l; denominado Score de Dengue; este score como validación externa presentó buena discriminación para identificar los pacientes con posibilidad de fuga capilar y dengue severo (Suwanto et al., 2018).

El diagnóstico precoz de esta enfermedad, usando biomarcadores específicos, asociados a la clínica, pueden determinar el desenlace de los pacientes con dengue. Con esta información este estudio tiene como objetivo caracterizar la presencia de la plaquetopenia, leucopenia y aumento del hematocrito con la evolución y gravedad de los pacientes con diagnóstico de dengue en el Hospital Univalle de Cochabamba.

2. MÉTODO

El presente estudio es de carácter observacional, analítico y retrospectivo. Se asentó en la revisión de historias clínicas de pacientes que fueron atendidos en el Hospital Univalle Sur, Cochabamba entre 2017 y 2020, este departamento es uno de los nueve que forman el Estado Plurinacional de Bolivia, siendo el tercer departamento en importancia económica de Bolivia. Se ubica a 2,558 msnm. tiene una temperatura promedio de 20 grados centígrados, cuenta con valles y áreas tropicales extensas; las estaciones frías (otoño e invierno) van de mayo a septiembre y la temporada caliente (primavera y verano) de octubre a abril, también considerado como la temporada de lluvias.

Las variables que se tomaron en cuenta fueron la edad, sexo, clínica del paciente con dengue, en relación con los biomarcadores como leucopenia, plaquetopenia y aumento del hematocrito. La población objetivo fueron los pacientes adultos mayores de 18 años y con el diagnóstico laboratorio para dengue (prueba rápida positiva, AccuBio Tech Co, Ltd.). El tamaño muestral se determinó sobre la base de 286 pacientes con un margen de error máximo de 8% y un nivel de confianza del 95%. El tamaño poblacional se definió como el promedio de pacientes ingresados en el Hospital Univalle Sur con diagnóstico de Dengue, calculando un tamaño muestral de 235 pacientes.

Para el análisis descriptivo se utilizó prueba de correlación de Rho de Spearman con variables ordinales y en el caso de variables ordinales y binarias la prueba de U de Mann Whitney con el software estadístico de IBM SPSS versión 22. Por otro lado, el cruce de variables se realizó mediante el software estadístico R versión 3 · 0.1 (R Project, 2013), para el modelo de regresión logística y binomial. El presente estudio fue aprobado por el Comité de ética del Hospital Univalle Sur.

3. RESULTADOS

La presencia de pacientes con dengue en nuestra institución ha ido en franco ascenso en los últimos meses, esta se orientó casi exclusivamente el año 2020, con más del 80%, en comparación con el año 2019 que tenía únicamente un 14% (Figura 1). El 2020 fue el año donde más pacientes se diagnosticaron, con más de 40 pacientes por mes, desde marzo hasta mayo. El sexo con mayor predominancia fue el masculino con 54%, referente al grupo etareo fue evidente la presencia de pacientes entre los 19 a 45 años con un 65% y seguidamente el grupo etareo entre 46 a 65 años con un 23%, a diferencia de las personas < de 18 años y > a 66 años, con 7% y 5% respectivamente.

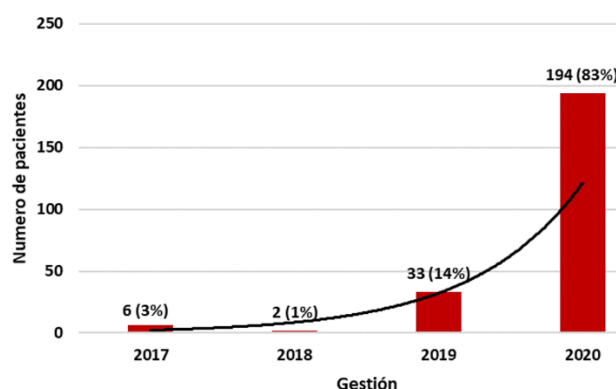


Figura 1. Presencia de pacientes por año

Desde otro punto de vista, 188 pacientes con un 80%, derivó del departamento de Cochabamba, siendo en su mayoría de la provincia urbana de Cercado y mucho más de la zona sud con un 97%; por otro lado, la provincia de Quillacollo presentó 10 pacientes, la localidad de Villa Tunari en el Chapare presentó 16

pacientes y sumados a las demás provincias llegan a un 20%. En Cercado se presentaron 32 pacientes (17%), sin identificar el municipio, sin embargo, se tiene a 20 pacientes, que equivale al 11%, cercanos a la Av. Guayacan y Petrolera, un 9% de la Av. Suecia y Cerro Verde; 8% Av. 6 de agosto y Villa Pagador, un 7% del Campo Ferial y Av. Panamericana entre otros. Tomando en cuenta las comunas del departamento, la que más se presenta es la de Valle Hermoso, con los distritos 6,7 y 14 (Sub-distritos 16 y 19, zona Alalay norte y sud), colindantes a la Laguna Alalay (Figura 2).

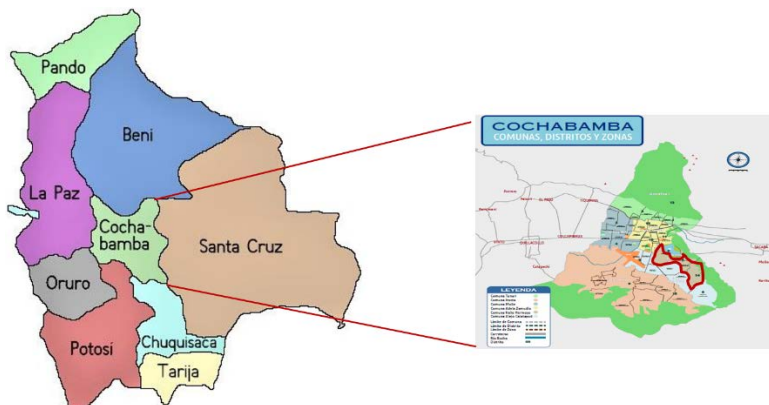


Figura 2. Bolivia y Cochabamba (Comunas, distritos y zonas)
Área remarcada en rojo: Distritos 6,7 y 14 (Sub distrito 16 y 19, zona alalay norte y sud)

Las pruebas rápidas que determinaron los anticuerpos en sangre como la IgM, como respuesta inicial reflejo 60 pacientes (26%); la IgM y la IgG con 7 pacientes (3%); la otra prueba, que fue la detección de la proteína NS1Ag, usada en 168 pacientes (71%). Los pacientes que se hospitalizaron fueron 132, que corresponden al 56,2%, de los cuales en más del 50% presentaron su sintomatología entre el 2do y 5to día. Dentro la clasificación clínica del dengue la gran mayoría perteneció a dengue sin signos de alarma con 177 pacientes (75%), 57 pacientes (24%) en dengue con signos de alarma y solo un paciente con dengue grave. La presentación de la sintomatología fue la siguiente, fiebre con 191 pacientes (81%), náusea y vómito con 105 pacientes (45%), cefalea con 196 pacientes (83%), mialgia y artralgia con 194 pacientes (83%) como habitual y solo un paciente con sintomatología grave. Desde otro punto de vista los valores descriptivos mostraron una mediana del hematocrito Htc de 46,1%, de las plaquetas (Pqt) 130,000 mm³ y los glóbulos blancos GB 3,570 mm³.

En un total de 132 pacientes hospitalizados en sala general, permanecieron entre 3 y 5 días con un 61%; entre 1 y 2 días solo 47 pacientes con un 36%. En la Terapia Intensiva solo se hospitalizó un paciente con 5 días y buen desenlace. En relación con los glóbulos blancos, se ha identificado un valor < de 5,000/mm³, compatible con leucopenia a 70 pacientes (66%), sobre todo en pacientes jóvenes (19 a 45 años). Si bien una gran mayoría de los pacientes tienen una leucopenia < a 5,000/mm³, con 178 pacientes (76%), se hospitalizaron 97 pacientes (42%). En relación con el sexo y el grado de glóbulos blancos es evidente la presencia de una leucopenia con 94 pacientes en el sexo masculino (40%) y 84 pacientes en el sexo femenino (36%). La clasificación del dengue presentó a una gran mayoría de los pacientes con una leucopenia, sobre todo en el grupo de dengue sin signos de alarma con 131 pacientes que equivale a > del 50%, en comparación con el grupo de dengue con signos de alarma que llega al 20% con 47 pacientes.

La plaquetopenia < a 75,000/mm³ entre 19 a 45 años, presentó 24 pacientes (10%) y entre 75,000-150,000, presenta 71 pacientes (30%). Los pacientes que se hospitalizaron con una plaquetopenia < a 75,000/mm³, fueron 28 (12%), en cambio, entre 75,000 a 150,000, fueron 42 (18%). El sexo masculino presenta un 28% con 66 pacientes y el sexo femenino con un 19%, con una plaquetopenia entre 75,000 a 150,000/mm³, en cambio una plaquetopenia < a 75,000/mm³ se presentó en un 9% en varones y 7% en mujeres. En la clasificación del dengue sin signos de alarma se ha visto que en un 36% con 84 pacientes tienen un nivel de plaquetas entre 75,000/mm³ a 150,000/mm³ y apenas un 9% con 20 pacientes con un valor < a 75,000/mm³ plaquetas; con signos de alarma se vio solo a 15 pacientes (6%) con un nivel de plaquetas < a 75,000/mm³.

El hematocrito entre 45,1 a 55%, en el grupo etareo de 19 a 45 años, presentó a 77 pacientes (33%) y > 55,1% a 6 pacientes (3%), haciendo un total de 36% con un hematocrito > 45%. Los pacientes que se hospitalizaron

con un hematocrito > 45% fueron 56 pacientes (24%). En relación con el hematocrito entre > 45%, se ha visto que más de 95 pacientes (41%) pertenecen al sexo masculino. La elevación del hematocrito entre 45,1-55% se presentó en 91 pacientes (38,7%) en una clasificación clínica sin signos de alarma y 13,2% con signos de alarma.

Tomando en cuenta la asociación de los datos demográficos, dentro las comorbilidades con la clasificación clínica, se observó a la tercera edad con un valor de $p=0,030$, a la fiebre con un valor de $p=0,001$ y a la gran mayoría de los signos y síntomas dentro el grado de dengue con signos de alarma con un valor de $p < 0,05$; por otro lado, la hospitalización mostro un valor de $p=3,081 \times 10^{-20}$, evaluados con la U de Mann Whitney. Finalmente, a la transfusión de hemocomponentes con un valor de $p < 0,05$ (Rho Spearman). (Tabla 1).

Tabla 1. Características clínicas y demográficas de pacientes con dengue

Parámetros		Sin signos de alarma N=177 (75,3%)	Con signos de alarma N=57 (24,3%)	Grave N=1 (0,4%)	Valor de P
Edad	< de 18 años	14 (6%)	2 (0,9%)	0 (0%)	0,209*
	19-45 años	115 (48,9%)	36 (15,3%)	1 (0,4%)	
	46-65 años	41 (17,4%)	14 (6%)	0 (0%)	
	> de 66 años	7 (3%)	5 (2,1%)	0 (0%)	
Sexo	Femenino	75 (31,9%)	33 (14%)	1 (0,4%)	0,029**
	Masculino	102 (43,4%)	24 (10,2%)	0 (0%)	
Comorbilidades	HTA	13 (5,5%)	4 (1,7%)	0 (0%)	0,901**
	DM	15 (6,4%)	5 (2,1%)	0 (0%)	0,982**
	EPOC	2 (0,9%)	1 (0,4%)	0 (0%)	0,732**
	3era EDAD	13 (5,5%)	10 (4,3%)	0 (0%)	0,030**
Clínica	Fiebre	135 (57,4%)	55 (23,4%)	1 (0,4%)	0,001**
	Nausea y vomito	75 (21,9%)	29 (12,3%)	1 (0,4%)	0,202**
	Cefalea	150 (63,8%)	45 (19,1%)	1 (0,4%)	0,346**
	Exantema	0 (0%)	1 (0,4%)	0 (0%)	0,083**
	Mialgia y artralgia	151 (64,3%)	43 (18,3%)	0 (0%)	0,44**
	Dolor abdominal	0 (0%)	28 (11,9%)	0 (0%)	1,5756E-22**
	Vomito persistente	0 (0%)	8 (3,4%)	0 (0%)	6,20E-7**
	Sangrado	6 (2,6%)	34 (14,5%)	0 (0%)	6,0936E-22**
	Choque	0 (0%)	0 (0%)	1 (0,4%)	0,021**
	Sangrado grave	0 (0%)	0 (0%)	1 (0,4%)	0,021**
	FMO	0 (0%)	0 (0%)	1 (0,4%)	0,021**
Barrio	Central	36 (15,3%)	16 (6,8%)	0 (0%)	0,260**
	Sud	141 (60%)	41 (17,4%)	1 (0,4%)	
Hospitalización	SI	129 (54,9%)	2 (0,9%)	1 (0,4%)	3,081E-20**
	NO	106 (45,1%)	233 (99,1%)	234 (99,6%)	
Hematólogo	SI	1 (0,4%)	0 (0%)	1 (0,4%)	0,219**
	NO	176 (74,9%)	57 (24,3%)	0 (0%)	
UGR		0	0	3 (1)	0,021*
UPQT		16 (2)	9 (2)	16 (1)	0,037*
PFC		0	0	11 (1)	0,021*
CRIO		0	0	12 (1)	0,021*

HTA: Hipertensión arterial

DM: Diabetes Mellitus

EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

UGR: Unidad de Glóbulos Rojos

UPQT: Unidad de plaquetas

PFC: Plasma Fresco Congelado

CRIO: Crioprecipitados

FMO: Falla Multi Orgánica Múltiple

*Rho de Spearman

**U de Mann Whitney

Tomando en cuenta el género vemos que el hematocrito alto presenta un valor de $p = 4,53 \times 10^{-11}$, más frecuente en varones con 86 pacientes (37%), en el grupo de DSSA presenta un valor de $p = 0,029$ (U de Mann Whitney), con 102 varones (43%), en cambio en el grupo de DCSA se encontró a 33 mujeres (14%) (Tabla 2). En la clínica de presentación se observó que la plaquetopenia presenta un valor de $p = 0,030$ (Rho Spearman), muy diferente al resto de los laboratorios (Tabla 3).

Tabla 2. Características laboratoriales, clínica y hospitalización en los pacientes con dengue

Parámetros		Mujer N=109 (46,4%)	Hombre N=126 (53,6%)	Valor de P
Plaquetopenia	25.000-75.000	16 (6,8%)	20 (8,5%)	0,107*
	75.001-150.000	45 (19,1%)	66 (28,1%)	
	> 150.001	48 (20,4%)	40 (17%)	
Leucopenia	1.000-5.000	84 (35,7%)	94 (40%)	0,613*
	5.001-10.000	22 (9,4%)	26 (11,1%)	
	> 10.001	3 (1,3%)	6 (2,6%)	
Hematocrito	< 34,9	8 (3,4%)	1 (0,4%)	4,53E-11*
	35-45	64 (27,2%)	30 (12,8%)	
	45,1-55	36 (15,3%)	86 (36,6%)	
	> 55,1	1 (0,4%)	9 (3,8%)	
Hospitalización	1 a 2 días	32 (24,2%)	15 (11,4%)	0,588*
	3 a 5 días	48 (36,5%)	32 (24,2%)	
	> de 5 días	4 (3%)	1 (0,8%)	
Clínica	DSSA	75 (31,9%)	102 (43,%)	0,029*
	DCSA	33 (14%)	24 (10,2%)	
	DG	1 (0,4%)	0 (0%)	

DSSA: Dengue sin signos de alarma

DCSA: Dengue con signos de alarma

DG: Dengue Grave

*U de Mann Whitney

Tabla 3. Relación de la clínica con los laboratorios

Parámetros		Sin signos de alarma N=177 (75,3%)	Con signos de alarma N=57 (24,3%)	Grave N=1 (0,4%)	Valor de P
Leucopenia	1,000-5,000	131 (55,7%)	47 (20%)	0 (0,0%)	0,325*
	5,001-10,000	39 (16,6%)	8 (3,4%)	1 (0,4%)	
	> 10,001	7 (3%)	2 (0,9%)	0 (0,0%)	
Plaquetopenia	25,000-75,000	20 (8,5%)	15 (6,4%)	1 (0,4%)	0,030*
	75,000-150,000	84 (35,7%)	27 (11,5%)	0 (0,0%)	
	> 150,001	73 (31,1%)	15 (6,4%)	0 (0,0%)	
Hematocrito alto	< 34,9	6 (2,6%)	2 (0,9%)	1 (0,4%)	0,895*
	35-45	72 (30,6%)	22 (9,4%)	0 (0,0%)	
	45,1-55	91 (38,7%)	31 (13%)	0 (0,0%)	
	> 55,1	8 (3,4%)	2 (0,9%)	0 (0,0%)	

*Rho de Spearman

Considerando el análisis de varianza ANOVA entre los diferentes laboratorios en estudio y el tiempo de hospitalización con variables categorizadas, mostro al estadístico de Levene con un valor de 0,190 y un valor de p: 0,827, por lo que las varianzas son homogéneas; desde otro punto de vista se observó que con > de 5 días de hospitalización comparando con 1 a 2 días, el hematocrito tiene un valor de p= 0,023 (Bonferroni) (IC: 0,85-1,56) y si se compara con 3 a 5 días tiene un valor de p=0,018. La misma situación ocurrió con el análisis post hoc con Scheffe donde se observa al hematocrito alto con más de 5 días de hospitalización en comparación con 1 a 2 días con un valor de p: 0,029 (IC: -1,582-0,069); con 3 a 5 días un valor de p: 0,022 (IC: -1,579-0,096).

Desde otra perspectiva el cruce de variables para evaluar los factores edad, sexo y clínica que afectan el recuento leucocitario y el recuento plaquetario, aplicó el modelo de regresión logística. Tanto el recuento leucocitario (RL) y el recuento plaquetario (RP) fueron variables numéricas que presentaron sobre-dispersión (RL = 1021.345, RP = 34435), por lo que el análisis de estas variables se realizó mediante regresión binomial negativa con valores dentro del rango 0.9-1.5, aconsejado para dispersión (RL = 1.071915; RP = 1.077714) (Agresti, 2007; Navarro et al., 2001).

Para la porción de hematocrito, se aplicó una regresión binomial utilizando los datos en proporciones y no en porcentajes. Los factores influyentes se determinaron en función al criterio de Akaike corregido AICc que se utilizaron para establecer un modelo más adecuado, el cuál fue comparado al modelo nulo correspondiente a la regresión con la prueba de Chi². El análisis de los datos se realizó mediante el software estadístico R versión 3 · 0.1.

La edad, el sexo y la clínica influyeron sobre el recuento leucocitario bajo el modelo binomial negativo (AICc = 4178.1, Pseudo R2: Mcfadden = 0.004462738, Cox & Snel = 0.07683638, Nagelkerke = 0.07683638) en comparación con el modelo nulo (test LRT: LRT= 18.70802, gl = 4, p= 0,0008). Siendo que el recuento leucocitario es dependiente de la edad, se ajustó el recuento leucocitario a la fórmula de binomial negativo ($e^{(\text{intercepto} + \text{coeficiente}(\text{Edad}))}$), esto para los cuatro grupos correspondientes al sexo y a la presencia o no de signos de alarma.

En las mujeres que presentan un cuadro de dengue sin signos de alarma, el recuento leucocitario no varía sustancialmente con la edad (Rango estimado: 3931– 4162, 11 – 74 años respectivamente). Sin embargo, en mujeres con un cuadro de dengue con signos de alarma, existe leucopenia a edades más tempranas (Rango estimado: 2322 - 5129, 17 – 71 años respectivamente) (Figura 3).

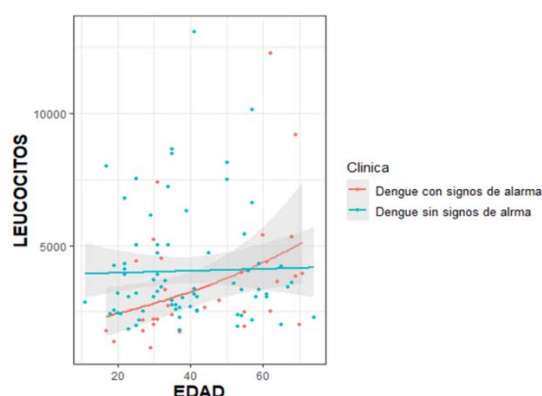


Figura 3.1 Dispersión de los leucocitos en las mujeres, en función a la edad y la gravedad (modelo binomial negativo). La línea continua representa la tendencia predictiva y el área gris representa el comportamiento de la dispersión de los datos ajustados al modelo

En los varones el recuento leucocitario, con un cuadro de dengue sin signos de alarma tiende a aumentar con la edad (Rango estimado: 3059 - 7016, 10 – 74 años respectivamente). Mientras que, en varones con un cuadro de dengue con signos de alarma, aparece leucopenia a mayor edad (Rango estimado: 5056 - 3333, 16 – 63 años) (Figura 4).

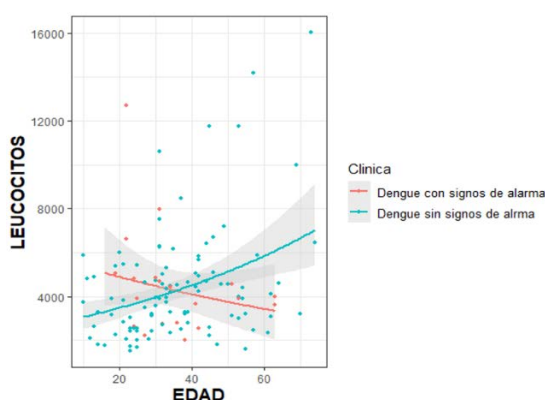


Figura 4. Dispersión de los leucocitos en los varones, en función a la edad y la gravedad (modelo binomial negativo). La línea continua representa la tendencia predictiva y el área gris representa el comportamiento de la dispersión de los datos ajustados al modelo

La gravedad de los signos de dengue y el sexo influyeron sobre el recuento Plaquetario bajo el modelo binomial negativo (AICc = 5858.4, Pseudo R2: Mcfadden = 0.002615117, Cox & Snel = 0.06344915, Nagelkerke = 0.06344915) en comparación con el modelo nulo (test LRT: LRT= 15.33904, gl = 2, p= 0,0004). Se ajustó el recuento leucocitario a la fórmula de binomial negativo ($e^{(\text{intercepto} + \text{coeficiente})}$), esto para los cuatro grupos correspondientes al sexo y a la presencia o no de signos de alarma. Las personas que presentan un cuadro de dengue sin signos de alarma, el recuento plaquetario es mayor (Mediana estimada = 150,661) en comparación con las personas con cuadro clínico con signos de alarma (Mediana estimada = 120.579). Las mujeres presentan mayor recuento plaquetario (Mediana estimada = 155,472) en comparación con los hombres (Mediana estimada = 132,928) (Figura 5 y 6).

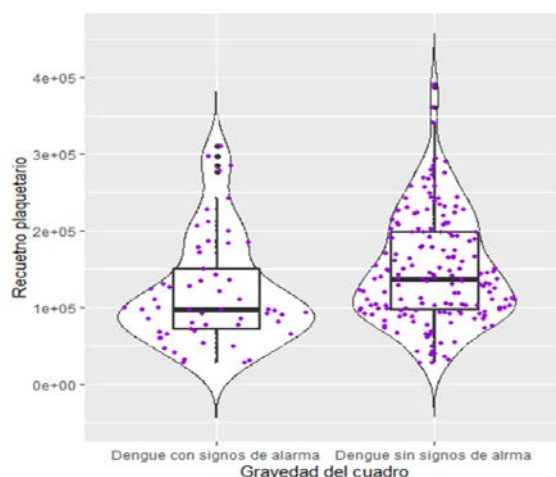


Figura 5. Dispersión del recuento plaquetario en función a la gravedad de los signos de dengue. Los datos están representados por un punto violeta, la línea horizontal representa la mediana estimada según el modelo Binomial. La caja representa el rango intercuartílico estimado, el área blanca representa el rango de distribución de los datos

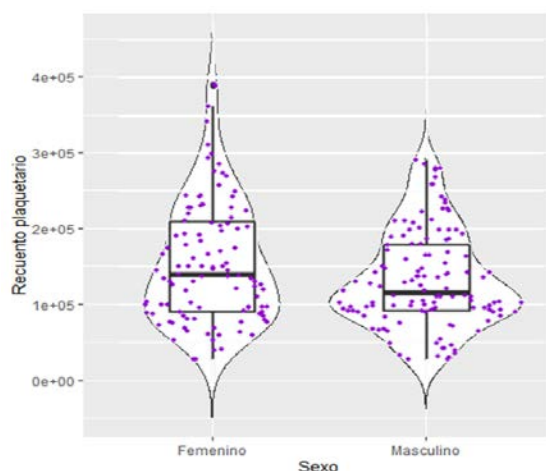


Figura 6. Dispersión del recuento plaquetario en función al sexo. Los datos están representados por un punto violeta, la línea horizontal representa la mediana estimada según el modelo Binomial. La caja representa el rango intercuartílico estimado, el área blanca representa el rango de distribución de los datos

El sexo influyó sobre la porción de hematocrito ($AICc = 302.5$, Pseudo R^2 : Mcfadden = 0.02033151, Cox & Sneel = 0.02612243, Nagelkerke = 0.03588311), sin embargo, este modelo no difirió significativamente del modelo nulo (test LRT: LRT= 15.33904, $gl = 2$, $p = 0,0004$). Se ajustó el recuento de hematocrito a la fórmula de binomial negativo ($e^{(\text{intercepto} + \text{coeficiente})}$). Los valores más altos se reportaron en varones (Mediana estimada = 48,2) en comparación con las mujeres (Mediana estimada = 43.3) (Figura 7).

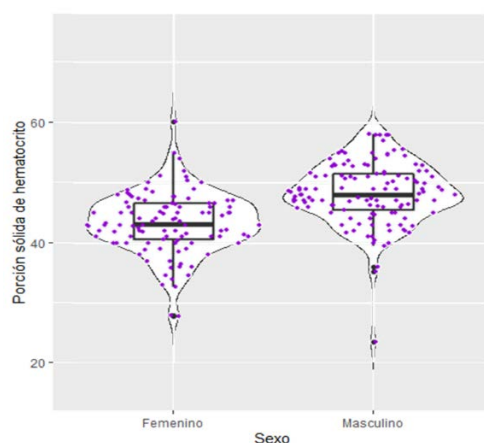


Figura 7. Dispersión de la porción sólida de hematocrito en función del sexo. Los datos están representados por un punto violeta, la línea horizontal representa la mediana estimada según el modelo Binomial. La caja representa el rango intercuartílico estimado, el área blanca representa el rango de distribución de los datos

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Un hallazgo importante fue la presencia de más pacientes provenientes del área de Cercado-Cochabamba que es una zona completamente urbanizada, por lo que pueden ser considerados como de origen autóctono, muy diferente al estudio local de Castillo et al. (2018) donde únicamente encontraron un paciente autóctono; en otro orden de ideas, Brémond et al. (2015) hacen notar que la incidencia de dengue en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra fue de únicamente 0,5%, siendo un dato probablemente subestimado. Se ha descrito en las áreas andinas una nueva variante del DENV-2, emergida en Bolivia desde los países vecinos, por el flujo migratorio de viajeros sanos y enfermos, por vía aérea y terrestre, nuevos vectores en nuevas áreas, el poco control del vector, mayor adaptación de nuevas especies y finalmente debido a la urbanización, como indica la revisión sistemática de Ramos et al. (2017) y Castillo et al., (2018); en este sentido su presencia teórica en las áreas tropicales y sub-tropicales se ve afectada por las causas mencionadas, haciendo que la mayoría de nuestros pacientes sean de Cercado, Cochabamba.

Desde otro punto de vista es menester analizar la posibilidad del aumento de casos en la zona sud de Cochabamba, en cambio el estudio de Cochabambino de Castillo et al. (2018) mostró pacientes tanto de la zona noreste, sud y central. Esta situación es probablemente debido a la presencia de depósitos de agua como tanques y otros recipientes que están a la intemperie, por falta de agua potable, constatando un gran problema de salud; Brémond et al. (2015) describieron varios posibles reservorios como los neumáticos, maceteros (pequeños recipientes de arcilla), recipientes de plástico y otros como tanques en el techo de la casa o en el suelo, cisternas, barriles, toneles, tinas, pozos, canales, árboles y rocas con agujeros naturales.

Desde otra perspectiva la mayoría de nuestros pacientes fueron detectados entre los meses de diciembre de 2019 y mayo de 2020, como plantea Brémond et al. (2015), en otro estudio local donde más del 92% fueron diagnosticados entre enero y junio.

El cohorte prospectivo de Dengue-Colombo en Sri Lanka ha mostrado su predominancia en el grupo etareo joven, con una media de 27,5 años (20 a 40 años) y con 66,3% en varones; una media de 32,8 años en el estudio de Relapanawa et al. (2018), más aún en cuadros más severos; muy similar al nuestro con 152 pacientes entre 19 y 45 años y con 54% en el sexo masculino; por otro lado en el caso del sexo femenino se ha notado que este grupo etareo tiene mayor tendencia a tener un cuadro clínico con signos de alarma, según el cuadro de dispersión de los datos ajustados (ver Figura 3).

El diagnóstico clínico es bastante reconocido a nivel mundial, tal es el caso del estudio que compara las características clínicas del dengue y la chikungunya en Francia donde se observó la presencia de fiebre con el 71% ($p=0,08$), náuseas y vómitos con 60% ($p<0,001$), cefalea 82% ($p<0,001$), y mialgias más artralgias con 81% ($p<0,001$), en el caso nuestro muy equiparable, fiebre con 81% ($p=0,001$), náuseas y vómitos con 45% ($p=0,202$), cefalea con 83% ($p=0,346$) y mialgias más artralgias con 83% ($p=0,44$), sin embargo mayor significancia estadística con el dolor abdominal ($p=1,5756E-22$), vomito persistente ($p=6,20E-7$) y sangrado ($p=6,093E-22$), pertenecientes a la clasificación de dengue con signos de alarma (Bonifay et al., 2018).

El diagnóstico laboratorio, en nuestro medio está muy limitado, por el acceso y el costo, sin embargo, aun a pesar de eso el Hospital Univalle ha utilizado métodos diagnóstico a la par de los centros internacionales como es el caso de productos virales (Proteína 1 no estructural-NS1Ag), secretada por las células infectadas, se puede detectar desde el 1er al 9no día, sobre todo en la infección primaria y muchas veces se correlaciona con la titulación de los virus y finalmente la respuesta inmune IgG-M (Muller et al., 2017). En nuestra institución se utilizaron las pruebas con la determinación de la IgG, IgM y NS1Ag por la alta sensibilidad y especificidad. Las pruebas de NS1 pueden ser tan sensibles como las pruebas moleculares durante los primeros 7 días de síntomas después van desapareciendo, quedando los anticuerpos IgG, IgM. Por lo que se demuestra que gracias al uso de estas pruebas diagnósticas se ha identificado en forma precoz la infección causada por este virus, asociado a la clínica y epidemiología, como demuestra la presencia de 158 pacientes diagnosticados con la NS1Ag el 2020. Es pertinente tomar en cuenta pruebas laboratoriales de fácil acceso, útiles, con buena sensibilidad y especificidad, pero principalmente asequible económicamente, que permita una intervención temprana para prevenir y controlar la epidemia, sobre la base de un trabajo en conjunto de las instituciones públicas y privadas (Pang et al., 2017).

Tomando en cuenta las fases clínicas del dengue de la OMS, con una etapa inicial febril (1 a 3 días), etapa crítica (4 a 6 días) y de recuperación (> de 7 días); la presentación del dengue es compleja y heterogénea, sobre todo en las manifestaciones clínicas, sin embargo, el manejo es bastante simple, con pocos pacientes que llegan a complicarse, probablemente más evidente en las personas de la 3era edad, que fue un factor de riesgo en nuestro estudio, aun sin tener signos de alarma ($p=0,030$), al igual que en el estudio de John K. et al y Chien-Cheng H. et al que mostraron más posibilidad de sangrado y mortalidad (Hong et al., 2017; Chien et al., 2017).

En la actualidad no hay una profilaxis efectiva y menos un tratamiento adecuado; tomando en cuenta las vacunas, en una primera infección la evolución de la enfermedad es autolimitada, por otro lado, la formación de los anticuerpos aumentaría la mortalidad sobre todo con virus heterotópicos (diferentes serotipos) en una segunda infección, aun a pesar de que las vacunas están dirigidas para los 4 serotipos conocidos. Una de las vacunas disponibles es la DENGVAXIA®, que es producida con virus vivo atenuado, está en III fase de estudio. En relación con las drogas antivirales, se debe tomar en cuenta la rápida disminución de la viremia e inflamación (1 semana), las mutaciones (NS2, 3, 5), más aun sabiendo que la mayoría de nuestros pacientes se hospitalizaban entre el 3er y 5to día de clínica, por lo que no tendrían utilidad alguna; sin embargo, existen algunas combinaciones en estudio como la Glecaprevir/libretasvir (NS5B, 4A, 3, proteasa), velpatasvir/voxilaprevir, etc. (Siew, 2019; Sheng et al., 2020).

En nuestro estudio se hospitalizaron 177 pacientes (75%) sin signos de alarma y 57 pacientes (24%) con signos de alarma, muy diferente a otros como es el caso de John John et al en la India donde encontraron a 13% sin signos de alarma y 44% con signos de alarma; en relación con las transfusiones, únicamente fueron 5 pacientes que recibieron hemocomponentes. El promedio de días de hospitalización fue de 1,69 días, siendo el rango más común entre los 3 a 5 días, en cambio en el estudio Indu fue de 4,9 días; desde otro punto de vista si bien solo un paciente presentó dengue grave, este estudio observacional no presentó pacientes fallecidos (John et al., 2019). Se debe poner de manifiesto el grupo etareo joven (19 a 45 años), sobre todo el sexo femenino y la posibilidad de desarrollar un cuadro clínico con signos de alarma, que además toma en cuenta las alzas térmicas, el dolor abdominal, vomito persistente y sangrado.

La identificación temprana y sus complicaciones, además de los datos del aumento de permeabilidad con pérdida del plasma entre los 5 y 7 días o periodo crítico, han tomado en cuenta una gran variedad de biomarcadores clínicos y laboratoriales como es el caso de la elevación del hematocrito en un 20% y evaluación por ecografía en otros casos. Respecto a nuestro estudio la elevación del hematocrito se la determino por encima de 45%, con una media ($X=45,8$) y fue más evidente en los varones ($p= 4,53E-11$), corroborado por el cuadro de dispersión donde se estimó a la mediana según el modelo binomial, en contraposición a la clasificación clínica ($p=0,895$). Adicionalmente la mayor cantidad de días (> de 5 días) de hospitalización fue representada con una cifra del hematocrito más alta, con un valor de $p=0,023$ (IC 95%: 0,85-1,566) (Hao et al., 2017; Relapanawa et al., 2018).

Evaluando el aumento de permeabilidad el estudio Colombo mostro una elevación del Aspartato Aminotransferasa AST, sobre todo en personas jóvenes, el mismo que no se tomó en cuenta en nuestro estudio por la falta de este marcador en varios de nuestros pacientes, finalmente este marcador también se lo relaciono hasta con las plaquetas como índice pronóstico de gravedad (Hao et al., 2017; Relapanawa et al., 2018); desde otro punto de vista la leucopenia, en relación con el género, considerada como $< 10,000/mm^3$, con una media ($X=4,168/mm^3$) no presentó diferencia estadística en nuestro estudio ($p=0,613$), pero en el caso del género el sexo femenino fue predominante en el grupo etareo joven, en comparación con la clínica y signos de alarma, representada en el diagrama de dispersión con los datos ajustados al modelo; en el estudio Colombo la leucopenia presentó un valor de $p=0,004$ y en el Relapanawa et al. (2018) la leucopenia $< 5000/mm^3$, con 71% presentó un valor de $p=0,001$ (Sigera et al., 2019).

En relación con la plaquetopenia, nuestro estudio reflejo un valor estadístico determinante con un valor de $p=0,030$, principalmente en pacientes sin signos de alarma, sin embargo, con el grafico de dispersión la mediana estimada según el modelo binomial mostro una plaquetopenia en pacientes con signos de alarma, además mayor tendencia a la plaquetopenia en los varones; en el último estudio citado, al igual que en nuestro estudio ($X=142,860/mm^3$), el punto de corte fue $< 150.000/mm^3$, con 63% ($p=0,001$), que podría

reflejar el incremento de la permeabilidad y la inflamación aun en la fase aguda (Sigera et al., 2019; Relapanawa et al., 2018), por otro lado, en otros estudios este marcador no se relaciona con la posibilidad de sangrado y menos como predictor de la severidad, como con las transaminasas, el dengue secundario y severo, probablemente porque su disminución no es tan importante (John et al., 2019).

Hasta el momento no se tiene certeza de la utilidad de biomarcadores laboratoriales y clínicos específicos; un estudio cohorte retrospectivo en Honduras determino que existe cuatro variables que estarían asociados con el dengue severo, la ascitis, petequias, plaquetopenia y cefalea, sin embargo, son pocos los que determinaron al hematocrito que implique la gravedad y sobre todo la perdida de líquido o plasma por el aumento de permeabilidad (Fernández et al., 2017). Los biomarcadores son de vital importancia para el diagnóstico y sobre todo pronóstico de cualquier patología, por lo que es necesario tomar en cuenta a la elevación del hematocrito, plaquetopenia y leucopenia para definir el pronóstico y severidad del cuadro (Suwanto et al., 2018; Hao et al., 2017).

5. CONCLUSIONES

La presencia del dengue en Latinoamérica y sobre todo en nuestro país tiene un lugar importante dentro el sistema de salud ya que su diagnóstico se ha convertido en algo muy frecuente tanto en el área rural como urbana; se debe poner en conocimiento la presencia de una gran parte de los pacientes con dengue en el área de Cercado, Cochabamba que es una zona completamente urbanizada, considerados pacientes autóctonos y muy pocos del trópico. Por otro lado, la identificación de una gran parte de los pacientes provenientes de la zona sud de Cochabamba, colindante a la Laguna Alalay, se debe a la falta de agua potable y sobre todo la forma de almacenarlos, siendo un elemento importante para solucionar; se debe poner atención en los primeros meses del año, para realizar una mejor vigilancia epidemiológica.

Es menester disponer de las pruebas rápidas para su diagnóstico en los hospitales, tanto de primer, segundo y tercer nivel, con la determinación de la IgG, IgM y NS1Ag por la alta sensibilidad y especificidad durante los primeros 7 días de síntomas, además asequible económicamente, que permita una intervención temprana para prevenir y controlar la epidemia, sobre la base de un trabajo en conjunto de las instituciones públicas y privadas.

En la actualidad no hay una profilaxis efectiva y menos un tratamiento adecuado; en una primera infección la evolución de la enfermedad es autolimitada, por otro lado, la formación de los anticuerpos aumentaría la mortalidad sobre todo con virus heterotópicos (diferentes serotipos) en una segunda infección, como es el caso de otras enfermedades virales.

En nuestro estudio si bien se hospitalizaron más pacientes sin signos de alarma, con un rango entre 3 y 5 días de hospitalización, no representa mayor gravedad. Existen varios biomarcadores que representan la morbi-mortalidad, pero, debemos enfocarnos en el hematocrito alto, más evidente en los varones y que determinaría mayor tiempo de hospitalización; la leucopenia en mujeres y la presencia de clínica con signos de alarma; la plaquetopenia, principalmente en varones y pacientes con signos de alarma. Hasta el momento no se tiene certeza de la utilidad de biomarcadores laboratoriales y clínicos específicos y además son pocos los que determinaron al hematocrito que implique la gravedad y sobre todo la perdida de líquido o plasma por el aumento de permeabilidad, por lo que es importante continuar con la búsqueda del marcador más idóneo.

REFERENCIAS

- Agresti, A. (2007). *An Introduction to Categorical Data Analysis*. Wiley.
- Aquino, E., Rojas, M. y Espinoza, J. (2016). Caracterización de la infestación de viviendas por *Aedes aegypti* en el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia: nuevos registros altitudinales. *Gaceta Médica Boliviana* 39(2), 83-87.
- Bonifay, T., Vesin, G. y Bonnefoy, C. (2018). Clinical characteristics and predictive score of dengue vs. chikungunya virus infections. *Medicine et maladies infectieuses* 45, 1-7.
- Brémond, P., Roca, Y., Brenière, S., Walter, A., Barja, Z. y Torres, R. (2015). Evolution of Dengue Disease and Entomological Monitoring in SantaCruz, Bolivia 2002 – 2008. *Plos One Journal* 23,1-20.

- Castillo, R., Vallejo, E. y Camacho, A. (2018). Adaptación del mosquito *Aedes aegypti* a 2550 msnm. Cochabamba, Bolivia. *Gaceta Medica Boliviana* 41(1), 24-30.
- Chien, C., Chien, H. y How, G. (2017). Dengue fever mortality score: A novel decision rule to predict death from dengue fever. *Journal of Infection* 75(6), 532-540.
- Fernández, E., Smieja, M., Walter, S. y Loeb, M. (2017). A retrospective cohort study to predict severe dengue in Honduran patients. *BMC Infectious Diseases* 17(676), 1-6.
- Halstead, S. (2019). Recent advances in understanding dengue. *Research* 8, 1-12.
- Hao, Z., Zhiwei, X., Xushuo, X., Yingyan, O., Wenting, Z. y Yuanping, Z. (2017). A novel predictor of severe dengue: The aspartate aminotransferase/platelet count ratio index. *Journal of medical virology* 90(5), 803-809.
- Hong, K., Ing, L. y Jien, L. (2017). Analyses of clinical and laboratory characteristics of dengue adults at their hospital. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection* 56, 1-37.
- John, K., Gunasekaran, K. y Prasad, J. (2019). Predictors of major bleeding and mortality in dengue infection: A retrospective observational study in a tertiary care centre in South India. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases* 48, 1-7.
- Muller, D., Depelsenaire, A. y Young, P. (2017). Clinical and Laboratory Diagnosis of Dengue Virus Infection. *The Journal of Infectious Disease* 2015(2), 89-95.
- Navarro, A., Utzet, F., Puig, P. y Caminal, J. (2001). La distribucion binomial negativa frente a la de Poisson en analisis recurrentes. *Gaceta Sanitaria* 15, 447-452.
- Pang, J., Po, Y. y Lye, D. (2017). Progress and Challenges towards Point of care Diagnostic Development for Dengue. *Journal of Clinical Microbiology* 55(12), 3339-3349.
- Pongpan, S., Patumanond, J., Wisitwond, A. y Tawichsri, T. (2014). Validation of dengue infection severity score. *Risk Management and Healthcare Policy* 7, 45-49.
- Ramos, J., Barreto, F. y MartõÁñez, R. (2017). Dengue in Latin America: Systematic Review of Molecular Epidemiological Trends. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 56, 1-24.
- Relapanawa, U., Alawattagama, A. y Gunrathne, M. (2018). Value of peripheral blood count for dengue severity prediction. *BMC Res Notes* 11(400), 1-6.
- Roca, Y., Baronti, C., Revollo, R., Cook, S., Loayza, R. y Ninove, L. (2009). Molecular Epidemiological Analysis of Dengue Fever in Bolivia from 1998 to 2008. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 9(3), 337-344.
- Sheng, D., Xian, Y., Wei, Y. y Jia, Ch. (2020). A Review on Dengue Vaccine Development. *Vaccines* 8(63), 1-13.
- Siew, L. (2019). Dengue drug discovery: Progress, challenges and outlook. *Antiviral Research* 163, 156-178.
- Sigera, P., Amarasekara, R. y Rodrigo, C. (2019). Risk prediction for severe disease and better diagnostic accuracy in early dengue infection; the Colombo dengue study. *BMC Infectious Diseases* 19(680), 1-8.
- Suwarto, S., Jauharsyah, M. y Widjaya, B. (2018). Dengue score as a diagnostic predictor for pleural effusion and/or ascites: external validation and clinical application. *BMC Infectious Diseases* 18(90), 1-6.
- Zambrano, L. (2019). Dengue in Honduras and the Americas: The epidemic sare back! *Travel Medicine and Infectious Disease* 16, 1-4.

Análisis de la actividad antagónica de *Trichoderma* sp. sobre *Fusarium graminearum*, agente causal de fusariosis en trigo *Triticum aestivum*

Kate Manuela López-Hernández¹

Rubén Pérez-Pérez²

Salvador Orozco-Montes³

Mauricio Nahuam Chávez-Avilés⁴

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo
México

Fusarium graminearum es el agente causal de la enfermedad conocida como fusariosis o enfermedad de la espiga blanca en cultivos de trigo, para el control de dicha enfermedad se han utilizado productos químicos. Sin embargo, los efectos secundarios que generan estos compuestos los hace inadecuados como tratamiento sostenible. Debido a esto, se ha buscado alternativas para el manejo de la fusariosis. Las estrategias basadas en los mecanismos empleados por los Agentes de Control Biológico representan una alternativa para controlar su desarrollo y proliferación. En la presente investigación se analizó la actividad antagónica de tres cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3), mediante confrontaciones duales por contacto directo CD-C, frente a cinco cepas de *F. graminearum* (2, 4, 5, 7 y 9) en medio papa dextrosa y agar PDA y Luria Bertani LB. En las CD-C *Trichoderma* T2 generó el máximo porcentaje de inhibición con el 52% en medio PDA, mientras que, en medio LB, *Trichoderma* T1 generó el máximo porcentaje de inhibición con 67%. Adicionalmente, se realizó el análisis microscópico en donde se observaron alteraciones morfológicas del micelio de *F. graminearum*, como vacuolización, hinchamiento, adelgazamiento y fragmentación. Los resultados obtenidos sugieren que las cepas de *Trichoderma* sp. empleadas en la presente investigación poseen potencial biotecnológico para controlar la fusariosis en cultivos de trigo.

¹ Contacto: katlopher@hotmail.com

² Contacto: rperez@cdhidalgo.tecnm.mx

³ Contacto: sorozco@cdhidalgo.tecnm.mx

⁴ Contacto: nchavez@cdhidalgo.tecnm.mx

1. INTRODUCCIÓN

El trigo, también conocido como *Triticum aestivum*, es una planta herbácea perenne, taxonómicamente clasificada dentro de la división Magnoliophyta, perteneciente a la familia de las gramíneas (Mollins, 2017). El trigo es uno de los cereales más cultivados y consumidos a nivel mundial y se considera básico para el consumo humano; además, es utilizado como materia prima para la elaboración de diferentes productos de la canasta básica tales como: pan, tortillas, harinas, entre otros (Ramos, 2013). La producción de trigo en México había sido de 250 mil hectáreas por año, lo que generaba un total de 3.6 millones de toneladas.

Durante el periodo de 2015-2016 se tuvo un incremento de 290 mil áreas cultivadas, equivalente a 112 mil toneladas (SAGARPA, 2016). Los estados con mayor producción de trigo son: Sonora con uno punto ocho millones de toneladas, Baja California con 579 mil t, Sinaloa con 364 mil t, Guanajuato con 291 mil t y Michoacán con 209 mil t (SAGARPA, 2016). De manera lamentable, la pérdida de este cultivo ha incrementado debido a diversos factores, los cuales se dividen en abióticos (humedad, temperatura, concentración de oxígeno, periodos de luz y contaminantes atmosféricos), y bióticos (virus, bacterias y hongos) (Pérez y Gómez, 2012). Dentro de estos últimos está el hongo fitopatógeno *Fusarium graminearum*, el cual es el agente causal de la enfermedad conocida como fusariosis o enfermedad de la espiga blanca en cultivos de trigo, provocando pérdidas de éste, lo cual lo ha convertido en uno de los fitopatógenos más preocupantes en la agricultura (Pereyra, 2014).

F. graminearum, es un hongo de amplio espectro que además del trigo, es capaz de atacar otros cultivos como la avena y la cebada (Fathima *et al.*, 2013). La fusariosis es una enfermedad que periódicamente afecta la producción de trigo durante la floración y llenado del grano, su desarrollo se ve favorecido por condiciones de alta humedad, espigas mojadas y temperaturas óptimas de 22 a 28°C (Fathima *et al.*, 2013). En primavera, se forman peritecios de los cuales se descargan las ascosporas (el primer inóculo que infecta las espigas de trigo durante la floración). Los conidios asexuales se forman en ciclos cortos durante el crecimiento, lo que permite la propagación a otras partes del trigo (Schoeberg *et al.*, 2015). Los principales síntomas de un cultivo infectado por *F. graminearum* son desarrollo de masas de esporas rosado-salmón, espigas necrosadas y granos chuzos, provocando baja calidad de productos y subproductos (Pereyra, 2014; Rizzo *et al.*, 1997; Malaissi, 2016).

A esto debe sumarse la contaminación del grano por micotoxinas sintetizadas por *F. graminearum* como el deoxinivalenol DON, nivalenol NIV y la zearalenona ZEA (Rizzo *et al.*, 1997; Malaissi, 2016). Las micotoxinas son metabolitos fúngicos que provocan enfermedades u ocasionan la muerte de personas y animales. Éstas son consideradas inmunodepresores y su consumo provoca rechazo de alimento, pérdida de peso, vómito, diarrea, entre otros (Bhaskar y Sant, 2020). El control de la enfermedad ha sido manejado mediante el uso de fungicidas químicos, sin embargo, éstos provocan alteraciones en el ecosistema (Doble y Kumar, 2005; Kirios, 2017). Debido a esto, una de las alternativas es la implementación de Agentes de Control Biológico, los cuales presentan potencial para el control de enfermedades provocadas por hongos fitopatógenos, entre éstos tenemos a las especies del género *Trichoderma*, el cual es un hongo ascomiceto, éste es considerado cosmopolita debido a que resiste temperaturas extremas, desde muy bajas hasta muy altas (Schuster y Schmoll, 2010).

Las especies de *Trichoderma* han sido empleadas como agentes de control biológico contra una amplia gama de hongos fitopatógenos (Benítez *et al.*, 2004; Sunantapongsuk *et al.*, 2006; Zeilinger y Omann, 2007), se ha reportado su uso para el control de *F. graminearum* en cultivos de arroz, maíz y avena (Riera y Paul, 2017). Los principales mecanismos de acción de *Trichoderma* sp. son: competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo (mecanismo que implica la producción de enzimas líticas de la pared celular) y antibiosis (producción de metabolitos secundarios con actividad biológica, entre los cuales están los Compuestos Orgánicos Volátiles COVs y los Compuestos Orgánicos Difusibles CODs) (Steyaert *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2014; Harman *et al.*, 2004).

Leyva *et al.* (2017) reportaron por primera vez en Pénjamo, Guanajuato, México, cultivos de trigo infectados, aislaron y analizaron cepas de *F. graminearum*, en donde las colonias presentaron micelio amarillo y algodónoso, y a nivel microscópico observaron conidias delgadas y septadas, características de *F.*

graminearum. Razón por la que se debe de buscar una forma de contrarrestar a este fitopatógeno. En este sentido, Negrete (2012) evaluó el antagonismo de cepas de *Trichoderma asperellum* T19, T21, T22 y T38, frente a *Fusarium* sp. en cultivo dual, obteniendo inhibición del 42.4% hasta el 66.8%. Sin embargo, se debe de continuar con la búsqueda de cepas que permitan contener esta amenaza de una forma más efectiva. Por este motivo, el objetivo principal de la presente investigación fue analizar la actividad antagónica de cepas de *Trichoderma* sp. sobre el crecimiento de *F. graminearum* *in vitro*.

2. MÉTODO

2.1 Medio de cultivo Agar Dextrosa y Papa PDA

Se rehidrataron 39 g del medio BIOXON® en un litro de agua destilada. Se dejó reposar de 10 a 15 min y posteriormente se esterilizó en autoclave a 121°C (15 lb de presión) durante 15 min.

2.2 Medio Luria Bertani (LB)

A 1,000 mL de agua se le adicionaron 10 g de peptona de caseína, 15 g de extracto de levadura y 15 g de agar bacteriológico, ajustando el pH a 7. Se esterilizó a 121°C y 15 lb de presión durante 15 min.

2.3 Cinéticas de crecimiento en medio sólido

Para evaluar la velocidad de crecimiento de cada una de las cepas que se utilizaron en el proceso experimental (y de esta forma normalizar la velocidad de crecimiento de cada cepa en experimentos posteriores, para descartar el mecanismo de competencia por espacio y nutrientes por parte de *Trichoderma* sp.), se realizaron cinéticas de crecimiento, las cuales se llevaron a cabo en medio PDA y LB, en cajas Petri de 4.5 cm de radio y utilizando discos de agar colonizado con micelio de 4 mm de radio de cada cepa como inóculo. Posteriormente, se procedió a medir el crecimiento radial cada 24 h hasta llegar a una etapa de crecimiento estacionario.

2.4 Bioensayos de antagonismo mediante confrontación dual por contacto directo

Se realizaron confrontaciones duales por contacto directo CD-C (normalizando la velocidad de crecimiento), inoculando un disco de *F. graminearum* (2, 4 o 9) en medio PDA, y un disco de *F. graminearum* 5 o 7 en medio LB, contra las cepas de *Trichoderma* (T1, T2 y T3), con el objetivo de evidenciar de alguna forma el control biológico por parte de las cepas de *Trichoderma* sp., primero se inoculó *F. graminearum* (2, 4 y 9, individualmente) y luego, a las 60 h de incubación, se colocó un disco de *Trichoderma* (T1, T2 o T3) en medio PDA, mientras que, para los bioensayos en medio LB, se inoculó un disco de las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 o T3) y luego a las 24 h, se inoculó un disco de *F. graminearum* (5 o 7); como control se empleó la CD-C de *F. graminearum*-*Escherichia coli*, debido a que *E. coli* no presenta capacidad biocontroladora. La inoculación se realizó de manera equidistante, se midió el crecimiento radial de *F. graminearum* cada 24 h y se determinó el porcentaje de inhibición mediante: $\text{inhibición del crecimiento} = \frac{[\text{crecimiento del control} - \text{crecimiento del tratamiento}]}{[\text{crecimiento de control}]} \times 100$ (Emanuel *et al.*, 2020).

2.5 Análisis de los cambios morfológicos a nivel microscópico

Con la finalidad de conocer el efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. durante las confrontaciones se realizó la toma de improntas de la periferia de cada cepa de *F. graminearum* de los controles y tratamientos, y se observaron en un microscopio biológico Meiji Techno MX5300L Co., Ltd. con cámara metalográfica Meiji Infinity 1 con el objetivo 40X.

2.6 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos fueron realizados en el software Prism 5 (software Graphpad, La Jolla, CA). Se realizó un ANOVA de una vía seguida de una prueba *post-hoc* de Tukey. Las cajas representan el promedio de una $n=4 \pm \text{DE}$, las letras diferentes indican diferencia significativa entre los grupos con una $P \leq 0.01$.

3. RESULTADOS

Con la finalidad de analizar la actividad antagonista de las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) sobre el crecimiento de *F. graminearum* se realizó la CD-C en medio PDA y LB, ya que, de acuerdo con los antecedentes, *Trichoderma* presenta actividad antifúngica mediante los mecanismos de micoparasitismo y/o antibiosis frente a diversos fitopatógenos.

2.1 Bioensayos antagonistas en sistema dual por contacto directo en medio PDA

De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que para la cepa de *F. graminearum* 2 (Figura 1A *F. g.* 2), el tratamiento con *Trichoderma* T2 generó el máximo porcentaje de inhibición (40%), mientras que en los tratamientos con *Trichoderma* T3 y *Trichoderma* T1 se generó un porcentaje de inhibición del 36 y 35%, respectivamente (Figura 1B). En dichos tratamientos se observaron esporas de *Trichoderma* colonizando el micelio de *F. graminearum*, además, se observaron cambios en la pigmentación de éstas, observándose de color blanco-amarillas (Figura 1A).

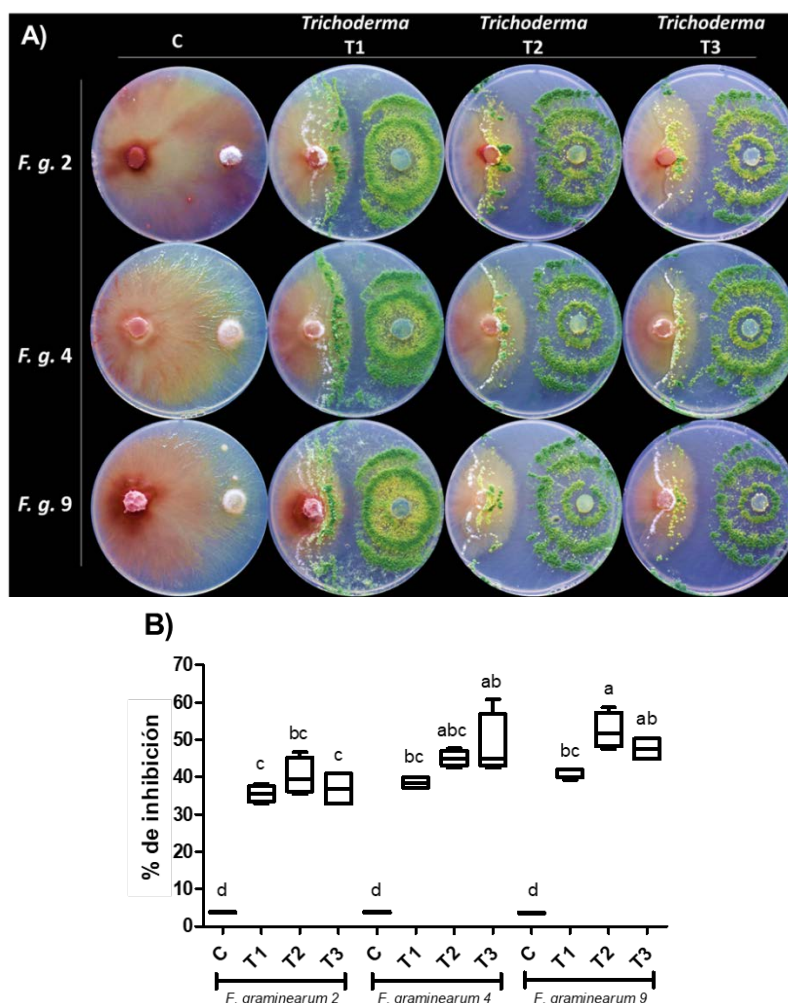


Figura 1. Bioensayos de antagonismo mediante confrontación dual en medio PDA. A) Fotografías representativas del efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) sobre el crecimiento de *F. graminearum* (2, 4 y 9). B) Porcentajes de inhibición de cada tratamiento. Se realizó un ANOVA de una vía seguida de una prueba *post-hoc* de Tukey. Los datos graficados representan el promedio de una $n=4 \pm DE$. Diferentes letras indican diferencia significativa entre los grupos con una $P \leq 0.01$

En los bioensayos de *F. graminearum* 4 (*F. g.* 4) el máximo porcentaje de inhibición fue generado por *Trichoderma* T3 con 48%, mientras que con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T1, fueron de 45 y 38%, respectivamente (Figura 1B). De igual manera, en estos bioensayos se observaron esporas de *Trichoderma* sp. colonizando a *F. graminearum*, además se presentó cambio en la pigmentación de éstas de color blanco (Figura 1A).

Finalmente, en los tratamientos de *F. graminearum* 9 (*F. g.* 9), *Trichoderma* T2 generó el mayor porcentaje de inhibición con 52%, mientras que con *Trichoderma* T3 y *Trichoderma* T1, se obtuvieron porcentajes del 47 y 41%, respectivamente (Figura 1B). De igual manera que en los tratamientos anteriores, se observaron esporas de *Trichoderma* sp. sobre la colonia de *F. graminearum* y cambios en la pigmentación de éstas, además, cambios en la pigmentación de la colonia de *F. graminearum* en tratamiento con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3, observándose de color rosado y ligeramente amarillento (Figura 1A).

En todos los tratamientos la inhibición se generó mediante los mecanismos de antibiosis y micoparasitismo, debido a que se observó una barrera (no muy marcada) entre ambas cepas fúngicas y esporas de *Trichoderma* sobre la colonia del fitopatógeno (Figura 1A).

3.1.1 Cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* en antagonismo mediante confrontación dual en medio PDA

Con el objetivo de analizar el efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. sobre *F. graminearum*, se analizaron las cinéticas de crecimiento durante la CD-C. En las cinéticas de los bioensayos de *F. graminearum* 2 (*F. g.* 2) vs *Trichoderma* T1 se observó que a partir del cuarto día se desfasó el crecimiento del fitopatógeno, mientras que en las cinéticas de los tratamientos con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3, el desfase se observó al tercer día de la confrontación. En dichos tratamientos hubo crecimiento por parte del patógeno hasta el octavo día a partir del cual no hubo cambios (Figura 2A).

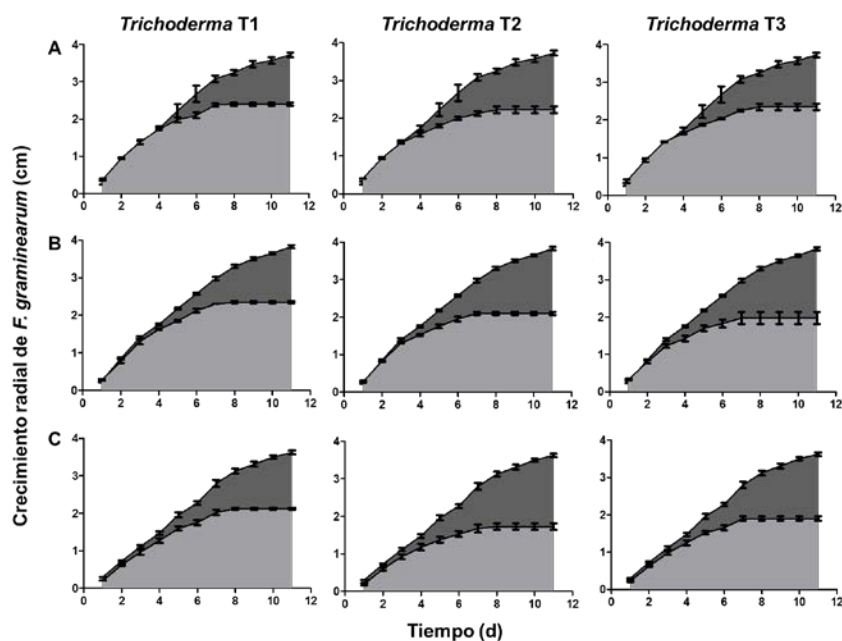


Figura 2. Cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* en antagonismo mediante confrontación dual en medio PDA. Efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. sobre el crecimiento de *F. graminearum*. A) *F. graminearum* 2 (*F. g.* 2), B) *F. graminearum* 4 (*F. g.* 4), C) *F. graminearum* 9 (*F. g.* 9). Los trazos de color gris oscuro corresponden al crecimiento de *F. graminearum* en condiciones control (vs *E. coli*) y los trazos de color gris claro corresponden a *F. graminearum* vs *Trichoderma* sp. (T1, T2 o T3). Los datos mostrados son el promedio de $n=4 \pm DE$

Para los bioensayos de *F. graminearum* 4 (*F. g.* 4) en tratamiento con *Trichoderma* T1 y *Trichoderma* T2, se presentó un ligero desfase del crecimiento a partir del segundo día, mientras que con *Trichoderma* T3 el desfase también se observó a partir del segundo día, sin embargo, el desfase fue más notorio que en los tratamientos anteriores. En los bioensayos con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 el crecimiento se detuvo al séptimo día, mientras que con *Trichoderma* T1 el crecimiento se detuvo el día 8 de exposición (Figura 2B).

Finalmente, en los bioensayos de la cepa de *F. graminearum* 9 (*F. g.* 9) en todos los tratamientos con las tres cepas de *Trichoderma* sp. se observó desfase de crecimiento desde el primer día de confrontación y el crecimiento se detuvo al octavo día (Figura 2C).

Estos resultados sugieren que el desfase observado en las cinéticas de crecimiento se podría deber a la producción de COVs por parte de las cepas de *Trichoderma* sp. empleadas en dichos tratamientos como se observa en los días previos al contacto entre las cepas.

3.1.2 Análisis de los cambios morfológicos a nivel microscópico de los bioensayos antagónicos por contacto directo en medio PDA

De acuerdo a los resultados obtenidos en las confrontaciones duales en medio PDA, en los cuales se presentó inhibición mediante los mecanismos de micoparasitismo y antibiosis (Figura 1A), se analizó microscópicamente el micelio de *F. graminearum*, en donde en los tratamientos de *F. graminearum* 2 con las tres cepas de *Trichoderma* se observaron esporas de *Trichoderma* (Esp) y aglomeraciones de éstas colonizando las hifas de *F. graminearum*, vacuolización (Vac) en algunas secciones de las hifas de *F. graminearum* e hinchamiento (Hin) de éstas (Figura 3).

En las micrografías de los tratamientos de *F. graminearum* 4 con *Trichoderma* T1 se observó fragmentación (F) y vacuolización (Vac) en las hifas de *F. graminearum*, mientras que en los tratamientos con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3, se observaron aglomeraciones de esporas (Esp) de *Trichoderma* sobre las hifas de *F. graminearum*, además, también se observó hinchamiento en algunas zonas de las hifas de *F. graminearum* (Figura 3).

En las observaciones de las hifas de la cepa de *F. graminearum* 9 con *Trichoderma* T1 se observaron deformaciones (Def), vacuolización (Vac) e hinchamiento (Hin) de hifas de *F. graminearum*, con *Trichoderma* T2 se observó vacuolización (Vac) y adelgazamiento de hifas (Ad). Finalmente, con *Trichoderma* T3 se observó principalmente vacuolización (Figura 3).

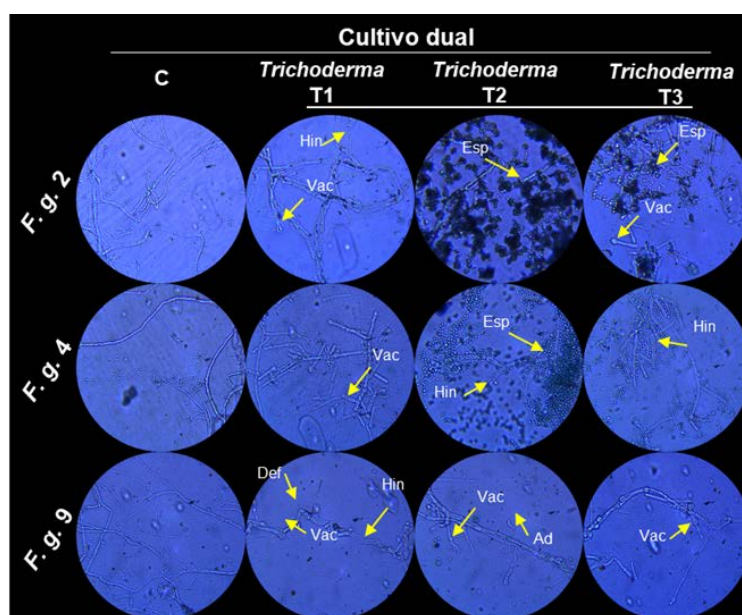


Figura 3. Micrografías representativas de los bioensayos de *Trichoderma* sp. (T1, T2 o T3) vs *F. graminearum* (F. g. 2, 4 o 9) por contacto directo en medio PDA. Las micrografías representativas del micelio de la zona de contacto fueron visualizadas con la tinción del azul brillante con el objetivo 40X. Los marcadores de las micrografías se definen como: (Def) Deformación, (Esp) Esporas de *Trichoderma* sp., (Hin) Hinchamiento, (Ad) Adelgazamiento y (Vac) Vacuolización

3.2 Bioensayos antagónicos en sistema dual por contacto directo en medio LB

Para los bioensayos con la cepa de *F. graminearum* 5 (F. g. 5) con el tratamiento con *Trichoderma* T1 presentó el máximo porcentaje de inhibición del crecimiento con 67%, seguido por *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 con porcentajes de 56 y 55%, respectivamente (Figura 4B). En estos bioensayos se observaron cambios en la morfología de la colonia de *F. graminearum* (con respecto al control), en donde se observó que en todos los tratamientos al momento que hubo contacto entre *F. graminearum* y

Trichoderma sp. el fitopatógeno creció de forma levaduriforme, sin embargo, también se apreció micelio ligeramente algodónoso sobre la colonia de éste. En dichos tratamientos se observó el mecanismo de antibiosis, debido a la formación de una barrera (no muy marcada) que limitaba el crecimiento entre ambas cepas fúngicas (Figura 4A).

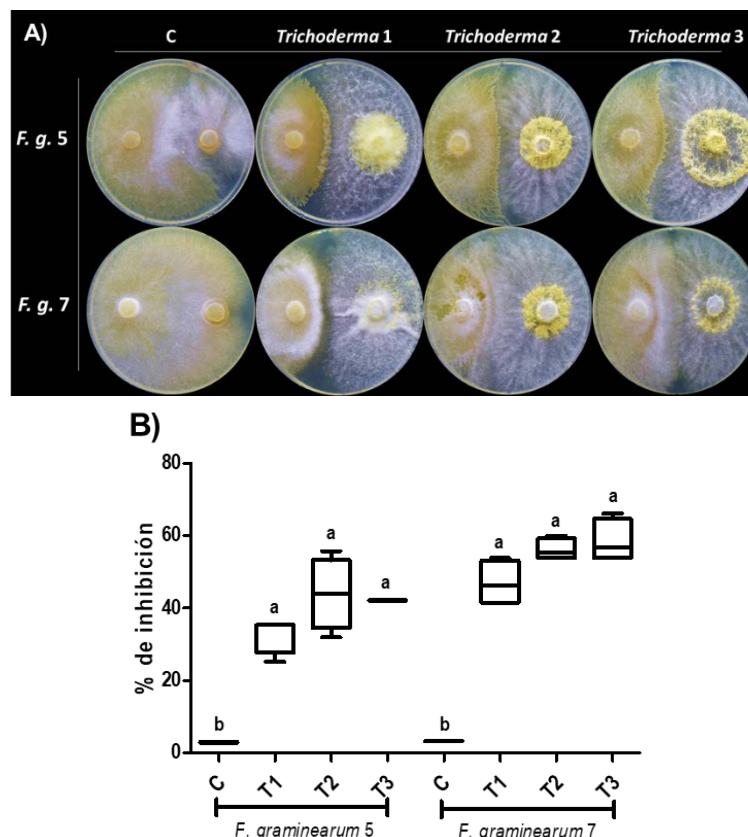


Figura 4. Bioensayos de antagonismo mediante confrontación dual en medio LB. A) Fotografías representativas del efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) sobre el crecimiento de *F. graminearum* (5 y 7). B) Porcentajes de inhibición de cada tratamiento. Se realizó un ANOVA de una vía seguida de una prueba *post-hoc* de Tukey. Los datos graficados representan el promedio de una $n=4 \pm DE$. Diferentes letras indican diferencia significativa entre los grupos con una $P \leq 0.01$

En los tratamientos con *F. graminearum* 7 (*F. g. 7*) el mayor porcentaje de inhibición fue generado por *Trichoderma* T1 con 49%, mientras que *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 generaron el 43 y 41%, respectivamente (Figura 4B). En el tratamiento con *Trichoderma* T1 se observó el mecanismo de antibiosis, posiblemente mediado por la producción de CODs, lo cual se infiere por la formación la barrera de crecimiento entre ambas cepas fúngicas, mientras que en los tratamientos con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 se observó el mecanismo de micoparasitismo, debido a que el micelio de *Trichoderma* sobrepasa la colonia de *F. graminearum* (en ambos tratamientos) (Figura 4A).

3.2.1 Cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* en antagonismo mediante confrontación dual en medio LB

Con el mismo objetivo anteriormente mencionado, se realizaron cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* en confrontación dual por contacto directo en medio LB. En los tratamientos de la cepa 5 de *F. graminearum* (*F. g. 5*) frente a las tres cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) se observó desfase del crecimiento del patógeno desde el primer día en todos los tratamientos, además el crecimiento se detuvo al cuarto día del tratamiento (Figura 5).

Para *F. graminearum* 7 (*F. g. 7*) se presentó el desfase del crecimiento desde el primer día con las tres cepas de *Trichoderma* de la misma forma que *F. graminearum* (*F. g. 5*). Además, a partir del quinto día *F. graminearum* vs *Trichoderma* (T1, T2 o T3), presentó crecimiento estacionario a partir del cuarto día hasta al final del bioensayo (Figura 5B).

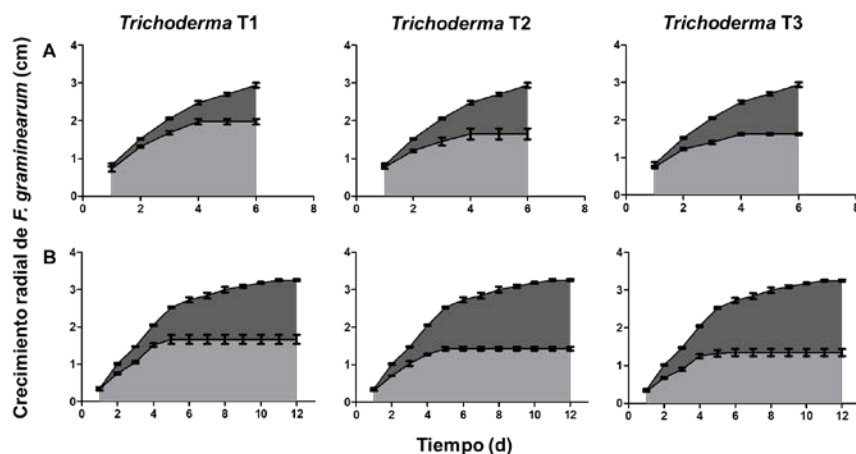


Figura 5. Cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* en antagonismo mediante confrontación dual en medio LB. Efecto de las cepas de *Trichoderma* sp. sobre el crecimiento de *F. graminearum*. A) *F. graminearum* 5 (*F. g. 5*), B) *F. graminearum* 7 (*F. g. 7*). Los trazos de color gris oscuro corresponden a *F. graminearum* vs *E. coli* (control) y los trazos de color gris claro corresponden a *F. graminearum* vs *Trichoderma* sp. (T1, T2 o T3). Los datos mostrados son el promedio de $n=4 \pm DE$

Dichos resultados sugieren que al tener una fuente de nutrientes diferente (medio LB) puede generar cambios en la producción de compuestos COVs o CODs por parte de las cepas de *Trichoderma* sp. que afectan la velocidad de crecimiento del fitopatógeno.

3.2.2 Análisis de los cambios morfológicos a nivel microscópico de los bioensayos antagónicos por contacto directo en medio LB

Al finalizar los bioensayos antagónicos en sistema dual por contacto directo, se realizaron los análisis a nivel microscópico con el objetivo de observar los cambios morfológicos de *F. graminearum* (*F. g. 5* y *F. g. 7*). En donde para los tratamientos de la cepa *F. graminearum* 5 (*F. g. 5*) con *Trichoderma* T1, se observaron adelgazamiento (Ad) y granulaciones (Gr) en las hifas de *F. graminearum*. Con *Trichoderma* T2 se observaron deformaciones (Def) a lo largo de las hifas, enrollamiento (En) y granulaciones en algunas zonas de las hifas de *F. graminearum*, mientras que con *Trichoderma* T3 se observaron principalmente deformaciones (Def), adelgazamiento (Ad) de hifas de *F. graminearum* y vacuolización (Vac) en algunas zonas (Figura 6).

En los bioensayos de *F. graminearum* 7 (*F. g. 7*) con *Trichoderma* T1 se observaron alteraciones en las hifas de *F. graminearum* como granulaciones (Gr) y enrollamiento (En). Con *Trichoderma* T2 se observaron deformaciones (Def) de las hifas de *F. graminearum* y fragmentación (Fr) de éstas. Finalmente, con *Trichoderma* T3, se observaron granulaciones (Gr) y fragmentación de las hifas de *F. graminearum*. En todos los tratamientos con *Trichoderma* sp. se observaron adelgazamientos en diversas zonas de las hifas de *F. graminearum* (Figura 6).

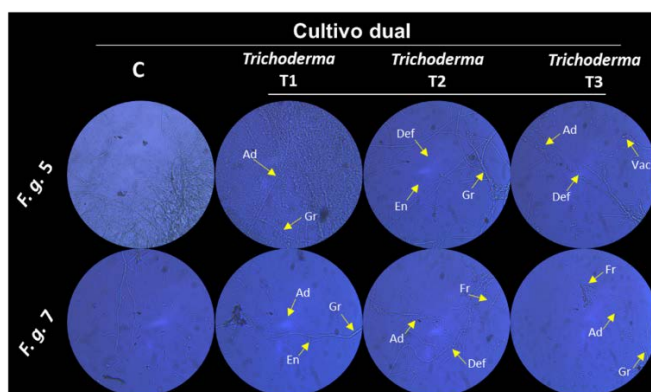


Figura 6. Micrografías representativas de los bioensayos de *Trichoderma* sp. vs *F. graminearum* por contacto directo en medio LB. Las micrografías representativas del micelio de la zona de contacto fueron visualizadas con la tinción del azul brillante con el objetivo 40X. Los marcadores se definen como: (Def) Deformación, (Ad) Adelgazamiento, (Gr) Granulación, (En) Enrollamiento, (Fr) Fragmentación y (Vac) Vacuolización

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Bioensayos antagónicos en sistema dual por contacto directo

Entre los mecanismos de biocontrol de *Trichoderma* sp. están la competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y antibiosis COVs y CODs. Estos mecanismos actúan sinérgicamente en el control de patógenos. La importancia de cada uno de éstos depende de cada pareja de antagonista-patógeno y de las condiciones ambientales (Ramos *et al.*, 2013). *Trichoderma* produce CODs y COVs con capacidad antagónica sobre el crecimiento de diversos hongos fitopatógenos, los cuales son de interés comercial para el control de enfermedades provocadas por hongos en diversos cultivos (Vinale *et al.*, 2008). Con base en esto, se realizaron bioensayos antagónicos en sistema dual por contacto directo con el objetivo de analizar los mecanismos de acción de *Trichoderma* sp. frente a *F. graminearum* (2, 4 y 9) en medio PDA.

En los tratamientos de la cepa de *F. graminearum* 2 (*F. g.* 2) con *Trichoderma* T2 se obtuvo el 40% de inhibición del crecimiento, mientras que con *Trichoderma* T3 y *Trichoderma* T1, se obtuvieron el 36 y 35% de inhibición, respectivamente. Para *Fusarium graminearum* 4 (*F. g.* 4) con *Trichoderma* T3, T2 y T1 se obtuvieron porcentajes de inhibición de 48, 45 y 38%, respectivamente. Finalmente, para *Fusarium graminearum* 9 (*F. g.* 9), se obtuvieron 52, 47 y 41% de inhibición generado por *Trichoderma* T2, T3 y T1, respectivamente (Figura 1B). En este sentido, Siameto *et al.*, (2010) analizaron 16 aislados de *Trichoderma harzianum* contra cinco fitopatógenos (*Rhizoctonia solani*, *Pythium* sp., *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* y *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*) en cultivo dual en medio PDA, obteniendo porcentajes de inhibición del crecimiento de las especies de *Fusarium* arriba del 50%. Sin embargo, en estos bioensayos no se descartó el mecanismo de competencia por espacio y nutrientes mediado por *Trichoderma*. Contrastando dichos resultados con los obtenidos en esta investigación, se sugiere que las cepas de *Trichoderma* (T1, T2 y T3) empleadas, son más efectivas que las empleadas por Siameto *et al.*, debido a que, aun normalizando las velocidades de crecimiento de antagonista y patógeno en la presente investigación se obtuvieron porcentajes de inhibición por arriba del 50%.

Adicionalmente, en todos los tratamientos se observaron cambios en la pigmentación de la colonia del fitopatógeno, además de una ligera barrera entre las colonias de *F. graminearum* y *Trichoderma* sp., lo que indicó inhibición mediante el mecanismo de antibiosis (Figura 1A), en donde *Trichoderma* al reconocer al hospedante, produce metabolitos secundarios volátiles o no volátiles, los cuales inhiben el desarrollo del microorganismo censado (en este caso de *F. graminearum* 2, 4 y 9), tales sustancias inhibitoras son consideradas como antibióticos (Infante *et al.*, 2009). En este sentido, se realizaron las cinéticas de crecimiento de las cepas de *F. graminearum* (2, 4 y 9) con el objetivo de evaluar el efecto de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) sobre éste, en donde se observaron desfases en el crecimiento a partir del tercer y cuarto día en los bioensayos de *F. graminearum* 2 (*F. g.* 4), mientras que en los experimentos de *F. graminearum* 4 el desfase se observó a partir del segundo día de tratamiento. Finalmente, en los bioensayos de *F. graminearum* 9 desde el primer día se observó desfase en el crecimiento del patógeno (Figura 2).

Dicho efecto fue observado previo al contacto entre las cepas fúngicas, lo que sugiere que éste, fue mediado por los COVs producidos por las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3). *Trichoderma* spp. provoca la descomposición de hongos fitopatógenos sin tener contacto físico entre los microorganismos, esto es mediado por la producción de compuestos antimicrobianos, como los compuestos volátiles y los no volátiles, éstos son naturales y tienen actividad de control biológico sobre diversos patógenos (Ghazanfar *et al.*, 2018). En este sentido, Sinuco *et al.*, (2017) realizaron ensayos *in vivo* e *in vitro* con la finalidad de evaluar los efectos antifúngicos de seis COVs producidos por *Nodulisporium* sp. e *Hypoxyylon anthochroum* sobre *F. oxysporum* en tomate cherry, al llevar a cabo las evaluaciones *in vivo* encontraron que la mezcla de los COVs inhibió el crecimiento del fitopatógeno en el fruto hasta un 100% a concentraciones de 1,000 µg/mL, en ensayos *in vitro* obtuvieron 100% de inhibición en la respiración celular a 500 µg/mL a las ocho h, 45% de inhibición de la permeabilidad de la membrana a las ocho h, además, determinaron la concentración inhibitoria media, donde la mezcla de los seis COVs presentó las concentraciones medias más bajas en los ensayos de crecimiento *in vitro* con concentraciones de 355.19 y 516.4 µg/mL, y para los ensayos del efecto de respiración obtuvieron concentraciones de 315.1, 248.1 y 183.9 µg/mL a las 2, 5 y 8 h.

Por otro lado, en el presente trabajo también se observó el mecanismo de micoparasitismo, debido a que se observaron esporas de *Trichoderma* sobre la colonia de *F. graminearum* (Figura 1A). Se ha demostrado que *Trichoderma* puede detectar al patógeno a distancia y sus hifas crecen en dirección al patógeno como respuesta a un estímulo químico (crecimiento quimiotrófico) (Infante *et al.*, 2009). Posteriormente, un factor difusible liberado del hospedero antes del contacto físico es el responsable de la inducción de enzimas hidrolíticas (Guzmán *et al.*, 2019; Zeilinger *et al.*, 1999; Zeilinger y Omann, 2007). Durante el contacto directo, las lectinas en la pared celular del huésped pueden inducir el enrollamiento de *Trichoderma* alrededor de las hifas del huésped y el micoparasitismo puede producir estructuras similares al apresorio para destruir o debilitar al patógeno (Infante *et al.*, 2009).

Efectos similares (como los observados en esta investigación) fueron reportados por Błaszczuk *et al.*, (2017) quienes evaluaron los efectos de 24 aislados de 10 especies de *Trichoderma* sobre el crecimiento micelial de cinco especies de *Fusarium* (*Fusarium avenaceum*, *Fusarium cerealis*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium temperatum*), mediante ensayos antagónicos en sistema dual en medio PDA, en donde, el máximo porcentaje de inhibición de *F. graminearum* fue de 64%. Después de 14 días de interacción, observaron que las cepas de *Trichoderma* sobrecrecieron completamente la colonia de las especies de *Fusarium*. Adicionalmente, realizaron los análisis de los efectos microscópicos de las cepas de *Fusarium*, donde observaron enrollamiento y penetración de las esporas de *Trichoderma* sobre las hifas de *Fusarium*.

Finalmente, se realizaron visualizaciones microscópicas, con el fin de identificar las alteraciones morfológicas provocadas por la exposición de *F. graminearum* a las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3). En las cuales principalmente se observó adelgazamiento de las hifas, alteraciones en la estructura o deformación de éstas, disminución en la producción de esporas del patógeno y esporas de *Trichoderma* sp. alrededor de las hifas de *F. graminearum* (Figura 3). El objetivo de enrollar puede ser establecer contacto con el fitopatógeno para la penetración y/o para la liberación de compuestos antibióticos o enzimas que degradan la pared celular. El enrollamiento puede ser indicación del potencial micoparasítico, pero también puede depender de varios factores bióticos y abióticos, incluidos los desencadenantes del hospedador fúngico (Schoeberg *et al.*, 2015).

4.2 Bioensayos antagónicos en sistema dual por contacto directo en medio LB

La competencia *in vitro*, se da principalmente por espacio y en ella intervienen la velocidad de crecimiento de las cepas del antagonista y factores externos como el sustrato (Martínez, 2013). Con base en esto y con el objetivo de identificar y analizar el mecanismo de inhibición de *F. graminearum* 5 y 7 por *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3), se realizaron los bioensayos duales por contacto directo en medio LB.

Para los tratamientos de *F. graminearum* 5 (*F. g.* 5) con *Trichoderma* T1 el mayor porcentaje de inhibición fue de 67%, mientras que con *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 se generaron el 56 y 55%, respectivamente (Figura 4B). Finalmente, para *F. graminearum* 7 (*F. g.* 7) el mayor porcentaje de inhibición fue de 49% por *Trichoderma* T1, seguido por *Trichoderma* T2 y *Trichoderma* T3 con porcentajes de inhibición de 43 y 41%, respectivamente (Figura 4B). En dichos bioensayos, el mecanismo de inhibición empleado por las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) fue antibiosis, principalmente, debido a que se observó una ligera barrera entre el crecimiento de ambas cepas fúngicas, generada por metabolitos secundarios con actividad antifúngica (Figura 4A).

Efectos similares fueron reportados por Siameto *et al.* (2010), quienes también analizaron el efecto inhibitorio de los compuestos no volátiles secretados por *Trichoderma harzianum* contra cinco fitopatógenos (*Rhizoctonia solani*, *Pythium* sp., *Fusarium graminearum*, *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* y *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*) en caldo PD, donde las especies de *Fusarium* fueron más susceptibles al efecto de dichos compuestos, generando así porcentajes de inhibición de hasta 85%. Ellos sugieren que el sustrato es importante para la producción de metabolitos fúngicos, y que se debe a esto la diferencia de la actividad de los filtrados de los cultivos sobre los fitopatógenos (Siameto *et al.*, 2010). Esto, en contraste con los resultados obtenidos en los bioensayos en medio LB de esta investigación (con 67% de inhibición del crecimiento de *F. graminearum*) (Figura 1B), comparado con los tratamientos en medio PDA (52% de inhibición) (Figura 4B), sugieren que efectivamente, la composición el medio interviene en la producción de

metabolitos secundarios con actividad antifúngica generados por *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3), por lo cual se pueden emplear diferentes medios de cultivos para llevar a cabo la identificación de moléculas con propiedades antifúngicas no reportadas.

Se realizaron las cinéticas de crecimiento de *F. graminearum* 5 y 7 (*F. g.* 5 y 7) en donde se observaron desfases en el crecimiento desde el primer día (Figura 5). Dichos resultados, comparados con los obtenidos en los bioensayos en medio PDA, sugieren que al ser un medio de nutrientes distinto (medio LB), *Trichoderma* sp. produce diferentes COVs, a los cuales se les atribuye el desfase de crecimiento observado. Se considera que la producción de COVs por *Trichoderma* sp. depende de las características de la cepa, las condiciones de crecimiento y la etapa de desarrollo (Raut *et al.*, 2014).

En este sentido, Mustafa *et al.* (2009) examinaron el crecimiento micelial, producción de conidias y rendimiento de biomasa de tres especies de *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. viride* y *T. longibrachiatum*) en diferentes medios de cultivo. Además, analizaron la actividad antagónica frente a *Fusarium moniliforme*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *R. solani*, *Botryodiplodia theobromae* y *Alternaria alternata*, obteniendo como máximo porcentaje de inhibición un 47.11%. Ellos sugieren que, al emplear diferentes medios de cultivo, éstos tuvieron un efecto significativo en la tasa de crecimiento y población de las especies de *Trichoderma*. Diversas investigaciones revelan que los metabolitos volátiles producidos por *Trichoderma harzianum* pueden ser más efectivos que el micoparasitismo para inhibir el crecimiento de *Fusarium moniliforme* (Calistru *et al.*, 1997; Srivastava *et al.*, 2011). En este sentido, Kumar *et al.*, (2019) obtuvieron el 79.25% de inhibición del crecimiento de aislados de *Fusarium*, esto, generado por *Trichoderma harzianum*, mediante la producción de COVs.

Finalmente, se realizaron los análisis microscópicos con el objetivo de identificar las alteraciones de *F. graminearum* (5 y 7) posterior a los tratamientos con *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3). En donde se observó principalmente adelgazamiento, fragmentaciones, deformaciones o alteraciones en la estructura de las hifas y granulaciones (Figura 6). Efectos similares fueron reportados por Sinuco *et al.*, (2017) quienes observaron los cambios morfológicos de *F. oxysporum* posterior a tratamientos con COVs (producidos por *Nodulisporium* sp. e *Hypoxylon anthochroum*) donde observaron procesos de vacuolización, hinchamiento, adelgazamiento y enrollamiento de hifas, así como lisis celular y penetración del colorante en la célula. De acuerdo con los resultados que obtuvieron, se comprobó que los COVs presentan actividad antifúngica sobre *F. oxysporum*. Contrastando con los observados en este trabajo en las colonias de *F. graminearum*, se sugiere que podría haber alteraciones en la tasa de respiración y la viabilidad de la membrana.

5. CONCLUSIONES

Las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) empleadas en esta investigación presentan actividad biocontroladora sobre el hongo fitopatógeno *F. graminearum*, la cual podría ser superior a la reportada para otras cepas de *Trichoderma* spp. debido a que los bioensayos realizados en el presente trabajo se normalizó la velocidad de crecimiento de ambos microorganismos. La actividad de control biológico de las cepas de *Trichoderma* sp. (T1, T2 y T3) es mediada a través de los mecanismos de micoparasitismo y antibiosis, dentro de este último mecanismo, se producen CODs y COVs con potencial antifúngico, los cuales alteran el crecimiento y desarrollo de *F. graminearum*.

Estas cepas podrían emplearse para llevar a cabo el control biológico de la fusariosis en cultivos de trigo. Así mismo, el uso de diferentes fuentes de nutrientes es una buena estrategia para llevar a cabo la inducción de la biosíntesis de metabolitos secundarios antifúngicos (probablemente novedosos), los cuales resultaron ser más eficaces para controlar la proliferación de *F. graminearum*, dichos compuestos podrían aplicarse en el follaje y/o en el suelo como tratamiento complementario al uso de los agentes de control biológico.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por la Convocatoria de Proyectos de Investigación Científica 2021 para los Institutos Tecnológicos Federales y Descentralizados del Tecnológico Nacional de México. Clave 9988.21-PD.

REFERENCIAS

- Benítez, T., Rincón, A., Limón, M. y Codon, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International microbiology* 7(4), 249-260
- Bhaskar, A. y Sant, B. (2020). Toxins as biological warfare agents. En *Handbook on Biological Warfare Preparedness* (pp. 33-64). Academic Press.
- Błaszczuk, L., Basińska, A., Ćwiek, H., Gromadzka, K., Popiel, D. y Stępień, Ł. (2017). Suppressive Effect of *Trichoderma* spp. on toxigenic *Fusarium* species. *Pol. J. Microbiol* 66, 85-100.
- Calistru, C., McLean, M. y Berjak, P. (1997). *In vitro* studies on the potential for biological control of *Aspergillus flavus* and *Fusarium moniliforme* by *Trichoderma* species. *Mycopathologia* 137(2), 115-124.
- Doble, M. y Kumar, A. (2005). *Biodegradation of pesticides*. En *Biotreatment of industrial effluents* (pp. 89-100). Elsevier.
- Emanuel, R., César Arturo, P., Lourdes, M., Homero, R. y Mauricio Nahuam, C. (2020). *In vitro* growth of *Colletotrichum gloeosporioides* is affected by butyl acetate, a compound produced during the co-culture of *Trichoderma* sp. and *Bacillus subtilis*. *3 Biotech* 10(8), 1-14.
- Fathima, B., Abhinandan, D., Kumar, B. y Mohan, B. (2013). Mathematical modelling of an endophytic fungus *Fusarium oxysporum* NFX06 isolated from *Nothapodytes foetida*. *International Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 3, 123-130.
- Ghazanfar, M., Raza, M., Raza, W. y Qamar, M. (2018). *Trichoderma* as potential biocontrol agent, its exploitation in agriculture: a review. *Plant Protection* 2(3), 56-67.
- Guzmán, P., Porras, M., Olmedo, V. y Herrera, A. (2019). *Trichoderma* species: Versatile plant symbionts. *Phytopathology* 109(1), 6-16.
- Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I. y Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews microbiology* 2(1), 43.
- Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de protección vegetal* 24(1), 14-21.
- Kirios, de A. 2017. Daños de los biocidas en la flora y fauna microbiana del suelo. Recuperado: <http://www.kiriosdeadrada.com/blog/danos-de-los-biocidas-en-la-flora-y-fauna-microbiana-del-suelo/>
- Kumar, M., Kumar, V., Rana, M. y Srivastava, S. (2019). Effect of volatile and non-volatile compounds of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* isolates causing chickpea wilt in punjab. *Plant Archives* 19(1), 159-162.
- Leyva, S., Vega, H., Villaseñor, H., Tlapal, B., Vargas, M., Camacho, M., y Tovar, J. (2017). Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en el bajo, México. *Chilean journal of agricultural y animal sciences*, 33(2), 142-151.
- Malaissi, T. (2016). *Fusariosis de la espiga de trigo: las malezas como fuente de inóculo*. Doctoral dissertation. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal* 28(1), 1-11.
- Mollins, J. (2017). Informe Anual del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 2016: Maíz y trigo resilientes al clima del futuro. CIMMYT. Recuperado: https://www.cimmyt.org/es/press_release/informe-anual-del-cimmyt-2016-maiz-y-trigo-resilientes-al-clima-del-futuro/
- Mustafa, A., Khan, M., Inam, M., Pervez, M., y Umar, U. (2009). Usefulness of different culture media for *in vitro* evaluation of *Trichoderma* spp. against seed borne fungi of economic importance. *Pak. J. Phytopathol* 21(1), 83-88.
- Negrete, P. (2012). Análisis del modo de acción de la capacidad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum gloeosporioides* y *Fusarium* sp. *Tumbaga*, 2(7), 3-7
- Pereyra, S. (2014). Fusariosis de la espiga en trigo. Recuperado: [http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estrategia/INIA_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014_web%20\(1\).pdf](http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estrategia/INIA_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014_web%20(1).pdf)
- Pérez, R. y Gómez, A. (2012). *In vitro* tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions. In *Recent advances in plant in vitro culture*. IntechOpen.
- Ramos, F. (2013). *Maíz, trigo y arroz, los cereales que alimentan al mundo*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Raut, I., Badea, M., Calin, M., Oancea, F., Vasilescu, G., Sesan, T. y Jecu, L. (2014). Effect of volatile and non-volatile metabolites from *Trichoderma* spp. against important phytopathogens. *Revista de Chimie* 65(11), 1285-1288.
- Riera, A. y Paul, M. (2017). Evaluación *in vitro* de la capacidad antagonista de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium* spp. Trabajo de grado.
- Rizzo, I., Lori, G., Vedoya, G., Carranza, M., Haidukowski, M., Varsavsky, E. y Alippi, H. (1997). Sanitary factors and mycotoxin contamination in the argentinian wheat crop 1993/94. *Mycotoxin research* 13(2), 67-72.
- SAGARPA. (2016). Niveles de producción de trigo en México. Recuperado: [Sagarpa.org](http://sagarpa.org).
- Schoeberg, A., Musa, T., Voegelé, R. y Vogelgsang, S. (2015). The potential of antagonistic fungi for control of *Fusarium graminearum* and *Fusarium crookwellense* varies depending on the experimental approach. *Journal of applied microbiology* 118(5), 1165-1179.

- Schuster, A. y Schmoll, M. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. Applied microbiology and biotechnology 87(3), 787-799.
- Siameto, E., Okoth, S., Amugune, N. y Chege, N. (2010). Antagonism of *Trichoderma farzianum* isolates on soil borne plant pathogenic fungi from Embu District, Kenya. *Journal of Yeast and Fungal Research* 1(3), 47-54.
- Sinuco, D., Pérez, A. y Moreno, N. (2017). Evaluation of fungicidal activity and identification of volatile organic compounds released by *Trichoderma viride*. *Revista Colombiana de Biotecnología* 19(1), 63-70.
- Srivastava, S., Singh, V., Kumar, R., Srivastava, M., Sinha, A. y Simon, S. (2011). *In vitro* evaluation of carbendazim 50% WP, antagonists and botanicals against *Fusarium oxysporum* f. sp. *psidii* associated with rhizosphere soil of guava. *Asian Journal of Plant Pathology* 5(1), 46-53.
- Steyaert, J., Ridgway, H., Elad, Y. y Stewart, A. (2003). Genetic basis of mycoparasitism: a mechanism of biological control by species of *Trichoderma*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 31(4), 281-291.
- Sunantapongsuk, V., Nakapraves, P., Piriyaaprin, S. y Manoch, L. (2006). Protease production and phosphate solubilization from potential biological control agents *Trichoderma viride* and *Azomonas agilis* from vetiver rhizosphere. In *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use* 16, 20.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R. Woo, S. y Lorito, M. (2008). *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil biology and biochemistry*, 40(1), 1-10.
- Zeilinger, S. y Omann, M. (2007). *Trichoderma* biocontrol: signal transduction pathways involved in host sensing and mycoparasitism. *Gene Regulation and Systems Biology* 1(1), 227-234.
- Zeilinger, S., Galhaup, C., Payer, K., Woo, S. L., Mach, R. L., Fekete, C., ... y Kubicek, C. P. (1999). Chitinase Gene Expression during Mycoparasitic Interaction of *Trichoderma harzianum* with Its Host. *Fungal Genetics and Biology* 26(2), 131-140.
- Zhang, F., Yang, X., Ran, W., y Shen, Q. (2014). *Fusarium oxysporum* induces the production of proteins and volatile organic compounds by *Trichoderma harzianum* T-E5. *FEMS microbiology letters* 359(1), 116-123.

Péptidos antimicrobianos LL-37 y sus derivados frente a microorganismos de importancia clínica: Una alternativa a la resistencia microbiana

Paola Santos¹

Liliana Constanza Muñoz²

Claudia Andrea Cruz³

Jeannette Navarrete⁴

Gladys Pinilla⁵

*Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca*⁶
Colombia

La rápida diseminación de microorganismos resistentes a antibióticos a nivel mundial, constituye un problema de salud pública de gran importancia. Algunas de las bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos del género *Cándida*, son patógenos oportunistas causantes de infecciones intrahospitalarias relacionadas con la formación de biopelícula, que les permite sobrevivir en comunidades y evadir la acción del sistema inmunológico, aumentando considerablemente su resistencia a moléculas antimicrobianas en comparación a microorganismos en estado libre o plantónico. Debido a la alta prevalencia y tasa de resistencia que estos microorganismos han desarrollado frente a los antibióticos actualmente en uso, se requiere del diseño de nuevas moléculas capaces de contrarrestar esta situación. Desde hace unos años se han identificado a los péptidos antimicrobianos PAMs como moléculas con una importante actividad antimicrobiana además de baja toxicidad y generación de resistencia. Por lo anterior, desde el grupo de investigación REMA presentamos la siguiente revisión documental descriptiva, sobre el uso de estos PAMs, específicamente las catelicidinas y LL-37, péptidos catiónicos alfa-helicoidales con demostrada actividad antimicrobiana, antifúngica y anti-biopelícula, inclusive frente a cepas resistentes. De igual manera, se presenta las estrategias más efectivas para mejorar la potencia de estos PAMs, como el acortamiento y modificación de su estructura, de modo que los derivados de estos péptidos sean más efectivos y resistentes a degradación por proteasas del hospedero. Finalmente, se describe algunos estudios realizados por el grupo REMA, sobre el efecto antimicrobiano de péptidos sintéticos cortos modificados, derivados de LL-37 sobre bacterias de importancia clínica y especies formadoras de biopelículas. Los resultados de esta revisión y apoyados en los resultados preliminares encontrados, sugieren que modificaciones estructurales en los PAMs aportan una mayor estabilidad y actividad biológica, haciendo estas moléculas importantes candidatos a antimicrobianos, lo que podría contribuir a la contención de la resistencia bacteriana.

¹ Contacto: psantos@unicolmayor.edu.co

² Contacto: lcmunoz@unicolmayor.edu.co

³ Contacto: candreacruz@unicolmayor.edu.co

⁴ Contacto: jnavarrete@unicolmayor.edu.co

⁵ Contacto: gpinillab@unicolmayor.edu.co

⁶ Grupo de investigación Relaciones microbianas y Epidemiológicas aplicadas al Laboratorio Clínico y Molecular REMA

1. INTRODUCCIÓN

La presente revisión documental describe el fenómeno de resistencia bacteriana, como problemática mundial, que en los últimos años ha cobrado una especial relevancia, debido a la variedad de mecanismos de resistencia intrínsecos o adquiridos que los microorganismos patógenos han desarrollado frente a la mayoría de antimicrobianos actualmente en uso (Fernández y Hancock, 2012; Santajit y Indrawattana, 2016).

Bacterias del género *Staphylococcus*, son responsables de infecciones en tejidos blandos, huesos, el torrente sanguíneo y además de colonizar material implantado a través de la producción de biopelícula, mediante una respuesta adaptativa a las condiciones ambientales en el huésped que le permite proliferar, liberar toxinas y factores de virulencia involucrados en el proceso de evasión del sistema inmune del hospedero (Nair et al., 2014). Estas bacterias tienen una capacidad única para desarrollar resistencia a la mayoría de los antibióticos usados en su tratamiento, limitando las opciones terapéuticas e incrementando la relación costo beneficio, al ocasionar pérdidas económicas incalculables en los sistemas de salud.

Las bacterias Gram negativas son responsables de generar un amplio perfil de infecciones en humanos que abarca desde infecciones urinarias leves hasta bacteriemias complicadas en pacientes hospitalizados. Estas bacterias cuentan con una envoltura celular trilaminar conformada por la membrana plasmática, el espacio periplásmico y la membrana externa. Esta membrana externa es una bicapa lipídica anfipática que confiere, además de protección natural, diferentes antígenos y endotoxinas que otorgan alta capacidad infecciosa, evasión de la respuesta inmune y de generación de resistencia (Shrivastava y Chng, 2019).

Por su parte, levaduras del género *Candida* son consideradas como organismos comensales en piel y mucosas de todo el cuerpo humano. Sin embargo, un subconjunto de especies se asocia con patologías que incluyen a *Candida albicans*. La levadura *C. albicans*, es causante de una variedad de manifestaciones clínicas de la candidiasis, entre ellas, la candidiasis vulvovaginal recurrente VVCR definida así por la presentación de cuatro o más casos de candidiasis vulvovaginal al año (Whibley y Gaffen, 2015). Actualmente se registra un incremento mundial de las infecciones por hongos y de *C. albicans* resistente a los principales antimicóticos con diferentes determinantes y patrones de resistencia (Alvarez et al., 2018). Los mecanismos de resistencia que estos microorganismos desarrollan frente a los antimicrobianos son heterogéneos, y surgen por la aparición de fenómenos de transformación y adaptación pudiendo ser naturales o adquiridos (Skarżyńska et al., 2020). También pueden propagarse de forma vertical de generación en generación u horizontal a través del flujo de plásmidos u otro material genético movable como integrones y transposones entre bacterias (Abushaheen et al., 2020; Potter et al., 2016).

Un mecanismo adicional de resistencia y virulencia identificado para varias bacterias Gram negativas, similar al observado con las bacterias Gram negativas y especies del género *Candida*, es la habilidad de formar biopelículas. La biopelícula es un nicho conformado por una comunidad de microorganismos y diferentes proteínas que favorece la tolerancia al estrés microambiental y la proliferación celular (Chambless et al., 2006). Son un factor de virulencia que, facilita la adherencia a los biopolímeros para colonizar superficies, propiciando la persistencia de la infección, la evasión de la respuesta inmune y en mayor medida, la resistencia a la acción de compuestos antimicrobianos (Yarwood y Schlievert, 2003). Es por esto que se hace necesario establecer una terapia alternativa para abordar la problemática relacionada con la resistencia antibiótica y la resistencia asociada a la formación de biopelículas.

Diferentes estudios han demostrado que los PAMs tienen un amplio espectro de acción sobre microorganismos como, bacterias, hongos, virus, parásitos o incluso células cancerígenas (Zhu et al., 2017). Además de presentar capacidad inmunomoduladora estimulación de angiogénesis y activación leucocitaria, entre otras (Martin et al., 2015). Debido a su particular modo de acción, dada por su habilidad de unión a la pared y membrana celular, sin requerir de receptores específicos, se ha relacionado a una baja tasa de generación de resistencia microbiana frente a estas moléculas, apoyando la consideración de los PAMs como una nueva alternativa para combatir las infecciones bacterianas (Ageitos et al., 2017).

Las catelicidinas son una familia de PAMs catiónicos con demostrada actividad sobre microorganismos como, bacterias Gram positivas y Gram negativas, hongos, virus y parásitos (Agier et al., 2015). La catelicidina más

importante es el LL-37, péptido catiónico anfipático conformado por 37 aminoácidos, con una carga neta de +6 a pH neutro, que adopta una estructura α -helicoidal al interactuar con las membranas celulares a pH fisiológico (Vandamme et al., 2012). Se han reportado diferentes mecanismos de acción para el péptido LL-37 que logran la lisis celular, realizando ruptura de la membrana bacteriana por la creación de poros toroidales o inhibiendo la biogénesis de la pared celular, lo que causa el flujo de salida de diversas moléculas de la célula (Fabisiak et al., 2016).

Estudios han demostrado que el péptido LL-37 puede ser degradado por enzimas proteolíticas, secretadas por varios microorganismos, como las aureolisinas producidas por bacterias como *S. aureus* y *S. epidermidis*, favoreciendo la resistencia a la acción antimicrobiana de estos PAMs (Sabat et al., 2008). De otro modo, autores también han demostrado que el diseño y síntesis de péptidos análogos sintéticos derivados de la catelicidina humana superan las desventajas de los péptidos naturales protegiendo de la degradación por proteasas del hospedero. Estas modificaciones incluyen, el acortamiento de la molécula, el uso de aminoácidos en forma D y la adición de aminoácidos cargados (Sim et al., 2019).

Considerando los temas expuestos y el claro planteamiento de la problemática mundial de resistencia microbiana a los fármacos actualmente en uso, se presenta una revisión descriptiva sobre los principales microorganismos de importancia clínica, los mecanismos de resistencia a los fármacos actualmente en uso y se sugieren a los PAMs, como una terapia alternativa en respuesta al problema de resistencia bacteriana por su capacidad de inhibir el crecimiento y la formación de biopelícula, incluso en microorganismos resistentes a medicamentos.

También se describe las estrategias más efectivas para mejorar la potencia de estos PAMs, como el acortamiento y modificación de su estructura, y se presenta algunos estudios realizados por el grupo de investigación REMA de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca en Bogotá, sobre el efecto antimicrobiano de tres péptidos análogos al péptido LL-37, como candidatos terapéuticos para inhibir la formación de biopelícula por bacterias como *S. aureus* y *S. epidermidis* y hongos como *Cándida albicans*.

2. Método

Se realizó un estudio documental descriptivo, mediante la búsqueda de información, utilizando varias bases de datos electrónicas y selección de artículos. Se utilizó el operador AND para relacionar conceptos en inglés y español. En español se empleó el descriptor Decs (Descriptores de la Ciencia de la Salud) para encontrar las palabras clave. Las palabras claves empleadas fueron: Actividad antimicrobiana, Antimicrobianos, Biopelículas, Catelicidinas, LL-37, Péptidos antimicrobianos, Resistencia microbiana.

3. Resultados

3.1 Bacterias de importancia clínica y la actual problemática de resistencia

Las enfermedades infecciosas han marcado la historia de la humanidad durante siglos. Tal es el caso de infecciones bacterianas como el ántrax, la peste bubónica, la tuberculosis y la actual pandemia de COVID-19, que han cobrado la vida de millones de personas alrededor del mundo. Otras bacterias que, si bien no han ocasionado pandemias, causan infecciones mucho más frecuentes y comunes como el *Streptococcus pneumoniae* (infecciones de oído, neumonía y meningitis), *Staphylococcus aureus* (forúnculos y abscesos), y faringitis estreptocócica y fiebre reumática (*Streptococcus pyogenes*). De manera similar, otros microorganismos, como los hongos (*Aspergillus fumigatus*), los parásitos de la malaria (*Plasmodium falciparum*), y virus como el de la inmunodeficiencia humana VIH y el virus Sars Cov 2, también causan infecciones con altos porcentajes de mortalidad, constituyendo un problema global de salud pública.

A partir de mediados del siglo XX se reportaron grandes avances en el desarrollo de agentes antimicrobianos. De igual manera, se amplió la comprensión de la forma de propagación bacteriana en ambientes hospitalarios y entornos comunitarios, así como un mejor acceso al agua potable, lo que, desde entonces, ha contribuido a reducir el impacto global de las enfermedades infecciosas en la salud humana (Aminov, 2010). La aparición de antimicrobianos como la penicilina, a principios de la década de 1940, redujo

a la mitad la morbilidad y la mortalidad de enfermedades como la neumonía neumocócica y la sepsis estafilocócica (Zaman et al., 2017). Sin embargo, el éxito de los antibióticos fue transitorio, ya que a medida que el uso de agentes antimicrobianos se generalizó, las bacterias desarrollaron diferentes mecanismos de resistencia a los nuevos fármacos. Surgiendo de esta manera, un nuevo flagelo contra las infecciones asociadas a la aparición de microorganismos resistentes a los antibióticos existentes (WHE, 2019).

Las bacterias pueden adquirir resistencia a los fármacos antimicrobianos a través de diversos mecanismos. En primer lugar, pueden producir enzimas que modifican o descomponen químicamente el agente antibacteriano antes de que pueda tener efecto. En segundo lugar, las bacterias pueden utilizar una o varias bombas de eflujo para expulsar el fármaco de la célula antes de que llegue a su blanco y ejerza su efecto inhibitor. En tercer lugar, las bacterias pueden eliminar el sitio blanco de un agente antimicrobiano a través de una mutación, de modo que, el fármaco no tiene un lugar al que unirse para ejercer su efecto inhibitor. En cuarto lugar, pueden alterar la permeabilidad de sus paredes y membranas celulares de forma que limita el acceso de los agentes antimicrobianos a la célula. Por último, el organismo puede adquirir genes, formando una vía metabólica alternativa, que no sea inhibida por los agentes antimicrobianos (Calderón y Aguilar, 2016; Santajit y Indrawattana, 2016).

Por lo tanto, las bacterias presentan un proceso natural que fomenta su resistencia, lo cual se puede producir a través de mutaciones genéticas, presión selectiva o transferencia horizontal de genes. Por ejemplo, las bacterias poseen la cualidad de transferir directamente el material genético resistente entre sí mediante la transferencia por medio de plásmidos (Zaman et al., 2017). Esto se empeora con la aparición del fenómeno de la multiresistencia, el cual se registró por primera vez en las enterobacterias durante la década de 1950 (Fernández y Hancock, 2012). La situación se ve agravada, ya que diversos microorganismos, son resistentes a la mayoría de los agentes antibacterianos actualmente disponibles, se conocen popularmente como superbacterias, lo que representa un desafío terapéutico severo (Fernández y Hancock, 2012; Santajit y Indrawattana, 2016).

En las últimas décadas, se ha observado un rápido aumento en el número de aislamientos clínicos resistentes a los antibióticos, lo que podría resultar en el aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad asociadas con enfermedades infecciosas que podrían alcanzar niveles similares a los vistos antes de la era de los antibióticos. Por esta razón, la organización Mundial de la Salud OMS, la cataloga este fenómeno como un problema de salud pública, frente al cual se han generado una serie de intervenciones que buscan la retardar la aparición o disminuir la diseminación de organismos resistentes (Khabbaz et al., 2017).

En Colombia, el reporte de vigilancia de los aislamientos bacterianos por laboratorio y perfiles de resistencia antimicrobiana en 2018 señaló altos porcentajes de resistencia a cefalosporinas de tercera generación en Unidades de Cuidados Intensivos UCI de adulto, principalmente por la bacteria Gram negativa *Klebsiella pneumoniae*. De manera similar, se reportó alta resistencia a carbapenémicos en las UCI para *K. pneumoniae*, *Pseudomona aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* (INS, 2018).

Este porcentaje de infecciones bacterianas resistentes en ambientes hospitalarios es una frecuente causa de morbilidad y mortalidad, lo que demuestra la necesidad de fortalecer la capacidad de los laboratorios en la detección de mecanismos de resistencia e implementar nuevas formas de tratamiento que reemplacen a las tradicionales.

3.2 *Staphylococcus*, un género ampliamente distribuido

El género *Staphylococcus*, conformado por bacterias Gram positivas, hacen parte de la microbiota de los humanos e incluyen aproximadamente 45 especies y 24 subespecies (Balasubramanian et al., 2017). Estas bacterias son colonizadoras comunes de la piel, así como patógenos oportunistas causantes de enfermedades como la bacteremia, la endocarditis, entre otras. Algunas bacterias de este género han sido reportadas como patógenas, causando infecciones tejidos blandos, los huesos, el torrente sanguíneo y el tracto respiratorio, además de colonizar material implantado a través de la producción de biopelícula (Suresh et al., 2019). Esto ocurre, mediante una respuesta coordinada y adaptativa a las condiciones ambientales en el huésped, especialmente a nivel de su metabolismo y fluctuación de nutrientes y de esta

manera pueden proliferar, liberar toxinas y factores de virulencia involucrados en el proceso de evasión del sistema inmune del hospedero (Nair et al., 2014). El género de *Staphylococcus* spp. se clasifica en *Staphylococcus* coagulasa positiva SCP y *Staphylococcus* coagulasa negativa SCN, debido a la capacidad que presentan estas bacterias de coagular o no el plasma.

3.2.1 *Staphylococcus aureus* (*Staphylococcus coagulasa positiva SCP*)

Estas bacterias tienen una capacidad única para responder rápidamente y desarrollar resistencia a todos los antibióticos usados en su tratamiento. El aumento en la prevalencia de infecciones causadas por *S. aureus* resistentes, está limitando las opciones en su tratamiento e incrementando la relación costo beneficio, al ocasionar pérdidas económicas incalculables en los sistemas de salud, debido a las infecciones ocasionadas de esta superbacteria (Laxminarayan y Brown, 2001).

S. aureus, coagulasa positiva SCP, es responsable de una amplia gama de enfermedades como infecciones en los dispositivos médicos permanentes, de piel (forúnculos, abscesos, orzuelos, impétigo), heridas quirúrgicas, traumatismos, infecciones del tracto urinario, de las vías gastrointestinales, neumonía, osteomielitis, endocarditis, tromboflebitis, mastitis, meningitis, síndrome de shock tóxico SST y septicemia (Suresh et al., 2019). Es un agente frecuente de infecciones sanguíneas, su incidencia se encuentra alrededor de 80-190 casos/100000 habitantes por año en ciudades desarrolladas, debido a su capacidad de colonizar superficies incluyendo catéteres médicos (Bhattacharya et al., 2015). Este microorganismo es de distribución mundial y presenta factores de virulencia como cápsula, enzimas (coagulasa, lipasa, hialuronidasa y hemolisinas), proteína A, proteínas de unión a fibrinógeno y a fibronectina, toxinas (Exotoxinas secretadas-SEs, Toxina del síndrome del shock tóxico TSST- 1, Panton-Valentine Leucocidina PVL) y modulinas solubles en fenol PSM (Amato y Brynildsen, 2015).

Estos datos demuestran la importancia médica del *S. aureus* SCP, debido a su diversidad antigénica, así como su habilidad de incrementar la resistencia a los antimicrobianos y generar mecanismos de virulencia a través del tiempo mediante el proceso de infección.

Se ha identificado que la resistencia a la meticilina por *S. aureus* MRSA se encuentra en el 60%, donde la frecuencia de aislamientos en infecciones está asociada a la bacteremia en un 82% de los casos. En Colombia según lo reporta el Boletín del grupo Grebo en 2015, tras la vigilancia a la resistencia bacteriana durante el año 2014, el *S. aureus* es el tercer microorganismo aislado con mayor frecuencia, y la resistencia a meticilina se mantiene estable en 33,7% (Ekrami et al., 2015). La principal causa de resistencia por *S. aureus* en el mundo es la presencia de clones resistentes a meticilina MRSA (Chen et al., 2010) y definido así por su resistencia a los derivados de penicilina y otros agentes antimicrobianos que contiene el anillo beta-lactámico; además, se encuentran asociados con infecciones adquiridas en el hospital, sin embargo, ha emergido una alta virulencia en MRSA asociado a la comunidad CA-MRSA (Yu et al., 2012).

La patogenicidad de *S. aureus* además de la resistencia a los antimicrobianos depende de la capacidad de producir y secretar diferentes toxinas y factores de virulencia que contribuyen a la colonización, invasión y diseminación en el huésped (Hecker et al., 2018; Spaan et al., 2017); dentro de estos encontramos:

- *Leucocidina*: inhibe la respuesta del sistema inmune innato y adaptativo, produciendo daños en la membrana celular mediante la lisis de los leucocitos en el huésped, causando la pérdida de potasio, y de esta manera promueve la secreción de proteínas inflamatorias en los macrófagos, monocitos, neutrófilos, las células dendríticas, linfocitos T y natural killer NK (Spaan et al., 2017).
- *Superantígenos*: dentro de ellas encontramos las proteínas SAgS anteriormente clasificadas como toxinas enterocóccicas y se asocian con propiedades entéricas (Hecker et al., 2018).
- *Formación de biopelículas*: la capacidad de formar biopelícula, un mecanismo promovido por la comunicación célula a célula, denominada Quorum Sensing QS, da como resultado la unión de las estructuras microbianas y su acumulación, formando agregados embebidos en una matriz de polisacáridos (Kong et al., 2006). En el ámbito hospitalario, tiene la característica de adherirse a los dispositivos médicos como catéteres, mediante mecanismos físicos como carga electrostática,

hidrofobicidad, humedad, textura y mecanismos químicos como pH, fuerzas iónicas, absorción y la metabolización de nutrientes de acuerdo con las condiciones ambientales; este mecanismo de virulencia y persistencia, le permite la evasión de la respuesta inmune del hospedero y le confiere resistencia antibiótica. La mortalidad del hospedero asociada a la hospitalización se ha visto incrementada por la capacidad de formar biopelículas, lo que conllevó a una carga económica substancial en la década pasada en Estados Unidos. De forma adicional, la incidencia ha mostrado incrementos graduales desde 1957 según algunos estudios definidos en Dinamarca, en los cuales se dio un aumento de 3 a 20 personas por cada 100.000 habitantes (Laxminarayan y Brown, 2001).

3.2.2 *Staphylococcus epidermidis*, (*Staphylococcus coagulasa negativa* SCN)

Staphylococcus epidermidis (*S. epidermidis*), hace parte de la microbiota de la piel y mucosas humana y puede causar infecciones oportunistas y diseminarse en el torrente sanguíneo causando bacteremia en pacientes inmunocomprometidos u hospitalizados que requieren implantes o dispositivos médicos, los cuales favorecen la formación de biopelícula (Kong et al., 2006). Por otra parte, el tratamiento se dificulta debido a la aparición de cepas resistentes a los antibióticos, lo que representa importantes cargas médicas y económicas (Laxminarayan y Brown, 2001; Malachowa et al., 2016).

En la actualidad se ha identificado nuevas cepas de *S. epidermidis* que poseen factores de virulencia que lo llevan a ser un patógeno altamente agresivo (Otto, 2009). Los avances genéticos han permitido entender el papel de sus factores de virulencia en función de la patogenicidad ya que involucra moléculas que favorecen la colonización e infección del hospedero como proteasas, toxinas y adhesinas (Götz et al., 2015).

En *S. epidermidis*, las proteasas microbianas extracelulares, contribuyen a la patogénesis de la enfermedad, así como a diferenciar los estados en la formación de biopelícula. Una de estas es la *serin proteasas* (EsP) que degrada las proteínas ricas en ácido glutámico, evade el sistema del complemento y altera la cascada de coagulación; la *cistein proteasa* EcpA inhibe a las inmunoglobulinas IgA e IgM para favorecer la evasión al sistema inmune, genera modificaciones proteolíticas a la albumina, fibrinógeno y fibronectina, promueve la eficiente adhesión a los catéteres médicos; las *metaloproteasas* SepA participan en el desarrollo de la proteína dependientes del biopelícula como la proteína AaP que requiere proteólisis para su actividad en la acumulación intracelular (Paharik et al., 2017).

Otras proteasas son las denominadas ClpP, requieren ATP para su función proteolítica y reguladora, y le permiten a la bacteria adaptarse a múltiples cambios generados por el estrés, convirtiéndose en un factor de virulencia importante. Está implicada en la formación de las biopelículas por medio de la acción proteasa Spx, una proteína conocida en bacterias Gram positivas por su función supresora en la formación de la biopelícula (Stahlhut et al., 2017).

3.3 Bacterias Gram negativas, un grupo de microorganismos de control urgente

Las bacterias Gram negativas son responsables de generar diferentes patologías que van desde infecciones urinarias y gastrointestinales leves, hasta complicaciones más severas como enfermedades nosocomiales y bacteriemias (Lee et al., 2020). De manera especial, estas bacterias cuentan con una envoltura celular trilaminar; conformada por la membrana plasmática, el espacio periplásmico (que incluye una fina capa de peptidoglicano de 0.01 μm) y la membrana externa que contiene fosfolípidos y proteínas, que la unen al peptidoglicano. Esta membrana externa es una bicapa lipídica anfipática que contiene lipopolisacárido LPS, una endotoxina constituida por tres partes: el lípido A, el polisacárido central o core y la cadena lateral O, el cual por su variabilidad se utiliza para la clasificación serológica de las bacterias (Shrivastava y Chng, 2019).

Una de las funciones más importantes de la membrana externa es servir como barrera protectora, evitando o disminuyendo, la entrada de sales biliares, antibióticos y otras sustancias tóxicas que podrían destruir o lesionar la bacteria y prevenir la pérdida de constituyentes como las enzimas periplásmicas. La membrana externa es más permeable que la plasmática y permite el pasaje de pequeñas moléculas como glucosa y otros monosacáridos (Jan, 2017). En esta membrana también hay porinas, proteínas integrales o transmembranales, que forman canales estrechos por los cuales pasan moléculas menores de 600 a 700 Dalton (Dam et al., 2018).

Se describe que algunos de estos microorganismos presentan distintos mecanismos de resistencia a antibióticos como la expresión de Betalactamasas (BLEE y AmpC), topoisomerasas, baja permeabilidad en la membrana y formación de biopelículas (Giedraitiene et al., 2011), lo cual dificulta su tratamiento provocando importantes problemas de salud pública.

El Ministerio de salud y protección social de Colombia (Minsalud, 2018) reportó una gran incidencia y prevalencia de infecciones nosocomiales relacionadas con la colonización de distintos dispositivos médicos por diversos patógenos, siendo los más importantes *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, seguido de bacterias Gram positivas y otras Enterobacterias; con un perfil de resistencia del 26.9% en *E. coli* en cefalosporinas de tercera generación, del 10% en carbapenémicos en bacterias fermentadoras y del 30% en bacterias no fermentadoras, todo esto asociado a la facilidad que tienen estos patógenos para crear biopelículas.

Las carbapenemasas adquiridas son determinantes de resistencia emergentes en patógenos Gram negativas, incluyendo *Enterobacteriaceae*, *P. aeruginosa* y otros Gram negativos no fermentadores (Miriagou et al., 2010). Se ha identificado un número considerable de carbapenemasas adquiridas últimos años, pertenecientes a la clase molecular B (metalobactamasas) o a las clases moleculares A y D (carbapenemasas de serina), y los genes que codifican estas enzimas están asociados a elementos genéticos móviles que permiten su rápida diseminación en el entorno clínico (Miriagou et al., 2010).

Por lo tanto, la detección y la vigilancia de los organismos productores de carbapenemasas se han convertido en cuestiones de gran importancia para la selección de esquemas terapéuticos adecuados y la aplicación de medidas de control de la infección. Como la producción de carbapenemasas no puede deducirse simplemente del perfil de resistencia, deben establecerse criterios sobre qué aislados deben sospecharse y examinarse para detectar la producción de carbapenemasas, y para qué pruebas (fenotípicas y/o genotípicas) deben adoptarse para confirmar el mecanismo de resistencia. Además, deben diseñarse estrategias para la vigilancia de los productores de carbapenemasas con el fin de permitir la aplicación de programas de vigilancia eficaces.

Un mecanismo adicional de resistencia y virulencia identificado para varias bacterias Gram negativas, similar al observado con las bacterias del género *Staphylococcus*, es la habilidad de formar biopelícula. Estas biopelículas han sido descritas en mayor medida en bacterias del género *Pseudomonas* spp., *Klebsiella* spp. y *Citrobacter* spp, donde se encuentran involucrados diferentes elementos y mecanismos entre ellas, como la expresión de genes, proteínas, la utilización de moléculas específicas para activar y percibir las señales celulares, la conformación de los exopolisacáridos entre otros. Dado que no todos los géneros que hacen parte de este grupo llevan a cabo el mismo proceso para la formación de biopelícula, sin embargo, se tiene en común las consecuencias y el impacto que esta genera, contribuyendo a resistencia y persistencia bacteriana. Debido a que se conoce que las bacterias que se presentan de esta forma son mucho más resistentes que las que se encuentran en estado planctónico, se buscan nuevas terapias alternativas al uso de antibióticos, lo que ha llevado a implementar el uso de péptidos antimicrobianos (Ageitos et al., 2017)

3.4 *Candida albicans*, principal agente causal de las infecciones fúngicas

El género de levaduras *Candida* cuenta con aproximadamente 200 especies. Algunas de ellas se encuentran normalmente como organismos comensales en piel y mucosas de todo el cuerpo humano. Sin embargo, un subconjunto de especies se asocia con patologías que incluyen a *C. albicans*, *C. auris*, *C. glabrata*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *C. kefyr*, *C. guilliermondii*, *C. lusitania*, *C. haemulonii* y *C. dubliniensis*. Las infecciones mucocutáneas de *Candida* a menudo son leves o auto limitantes, como la candidiasis oral y vaginal. Sin embargo, estas infecciones superficiales pueden asociarse con una morbilidad significativa, como en las candidiasis mucocutáneas crónicas CMC y la candidiasis vaginal recurrente; además, las especies de *Candida* pueden causar daños potencialmente fatales en la infección sistémica, donde las tasas de mortalidad se informan hasta en un 80% (Whibley y Gaffen, 2015).

Aunque *C. albicans* es la especie más frecuentemente aislada, la prevalencia de especies de *Candida no albicans* NAC está en aumento. Los factores de riesgo para la candidiasis varían según la especie. Por

ejemplo, *C. glabrata* está particularmente asociada con la candidiasis bucal en ancianos y usuarios de dentaduras postizas, mientras que *C. dubliniensis* se aísla con frecuencia en individuos VIH (+) / SIDA y con muguet oral. Los neonatos, los receptores de trasplantes y los pacientes que reciben nutrición parenteral tienen un mayor riesgo de infección por *C. parapsilosis* en comparación con otras especies de *Candida*. Además, las diferencias geográficas en la prevalencia de las especies de *Candida* son evidentes. *C. albicans* y *C. glabrata* son prominentes en América del Norte y Europa, mientras que *C. tropicalis* es más frecuentemente aislada en India y América Latina (Alvarez et al., 2018).

El aumento mundial de las infecciones por hongos conlleva un incremento proporcional a la resistencia contra los medicamentos antimicóticos. De forma preocupante, se ha detectado resistencia a los fármacos antimicóticos para todas las especies de *Candida* clínicamente relevantes. Además, el patrón de resistencia a los fármacos antimicóticos difiere entre las especies de *Candida*, lo que dificulta el tratamiento eficaz con fármacos antifúngicos apropiados. *C. glabrata* presenta resistencia a las clases más comunes de drogas, azoles y equinocandinas y *Candida krusei* que presenta una resistencia intrínseca a los azoles.

Las razones que subyacen a las diferencias en la prevalencia de las especies de *Candida* y la resistencia a los medicamentos antimicóticos no están claras. Sin embargo, las especies de *Candida* son heterogéneas, por lo que la comprensión de sus diferencias filogenéticas puede ayudar a explicar, y finalmente abordar, estas disparidades (Whibley y Gaffen, 2015).

La resistencia presentada por las levaduras del género *Candida* frente a un gran número de antimicóticos, aumenta la necesidad de implementar nuevas alternativas de terapia antifúngica que permitan dar solución a esta problemática, una de estas alternativas es el uso de péptidos antimicrobianos que puedan poseer un efecto fungicida contra esta levadura de importancia clínica.

3.5 Mecanismos de resistencia antimicrobiana

La resistencia antimicrobiana se define como la capacidad de un microorganismo de multiplicarse o sobrevivir en presencia de un agente antimicrobiano (Barsoumian et al., 2015). Esta resistencia surge por la aparición de diferentes mecanismos de transformación de un microorganismo; existen dos tipos de resistencia, la natural y la adquirida (Skarżyńska et al., 2020). En la supervivencia de los microorganismos, se pueden observar diferentes mecanismos que se diseminan entre las poblaciones para su evolución, convirtiéndose en uno de los retos de la salud pública durante la última década.

La resistencia natural a los antimicrobianos, se define como una característica de selección natural a través de mecanismos al azar, propios de cada familia, donde logran proliferar los microorganismos que presentan este atributo que anula la acción del antimicrobiano (Calderón y Aguilar, 2016). Además, existe una resistencia natural o intrínseca en aquellas bacterias como el *Mycoplasma*, que carecen de pared y por lo tanto no tienen un receptor para los betalactámicos. En la resistencia natural todas las bacterias de la misma especie son resistentes a algunas familias de antibióticos y eso les permite tener ventajas competitivas con respecto a otras cepas y pueden sobrevivir en caso de que se emplee ese antibiótico. Por ejemplo, Celis et al. (2017) plantean que *la resistencia a los antimicrobianos representa un aspecto natural de evolución, por la adquisición de genes foráneos*.

La resistencia adquirida aparece por cambios puntuales en el ADN, se detecta con pruebas de sensibilidad y se pone de manifiesto en los fracasos terapéuticos, los cuales se atribuyen a cambios cromosómicos y mecanismos de transmisión de material genético extracromosómico de otros microorganismos, mediada por plásmidos, transposones o integrones, cuyo resultado es que el microorganismo deja de ser afectado por un antimicrobiano al que anteriormente era sensible (Abushaheen et al., 2020).

Los mecanismos de resistencia bacteriana pueden propagarse de forma vertical u horizontal. La transmisión vertical se refiere a la transmisión de generación en generación, mientras que la horizontal se genera a través del flujo de plásmidos u otro material genético movable como integrones y transposones entre bacterias; esto último no solo permite la transmisión a otras generaciones, sino también a otras especies bacterianas (Abushaheen et al., 2020; Potter et al., 2016). De esta forma, una bacteria puede

adquirir la resistencia a uno o varios antibióticos sin necesidad de haber estado en contacto con estos. Los principales mecanismos por los cuales los microorganismos pueden adquirir resistencia a los fármacos antimicrobianos se representan en la Figura 1:

- i) Modificación o inactivación enzimática del antimicrobiano: pueden producir enzimas que modifican o descomponen químicamente el agente antibacteriano antes de que pueda tener efecto.
- ii) Eliminación activa del antimicrobiano (bomba de eflujo): las bacterias pueden utilizar una o varias bombas de eflujo para expulsar el fármaco de la célula antes de que llegue a su blanco y ejerza su efecto inhibitor.
- iii) Alteración, protección o hiperproducción de la diana del antimicrobiano: las bacterias pueden eliminar el sitio blanco de un agente antimicrobiano a través de una mutación, de modo que el fármaco no tiene un lugar al que unirse para ejercer su efecto inhibitor.
- iv) Disminución de la entrada del antimicrobiano: pueden alterar la permeabilidad de sus paredes y membranas celulares de forma que limitan el acceso de los agentes antimicrobianos a la célula.

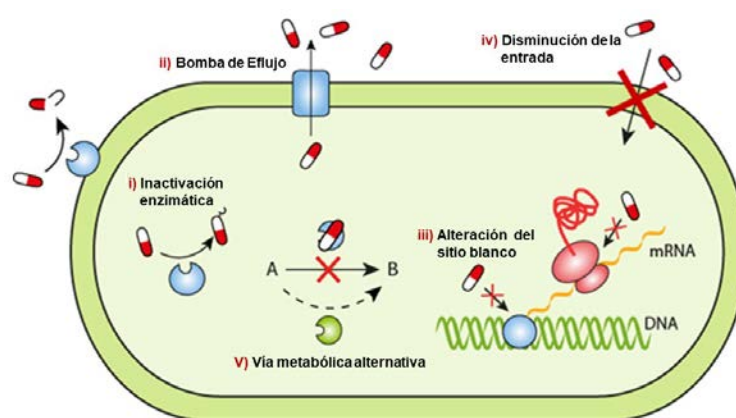


Figura 1. Mecanismos de resistencia antimicrobiana. Se representan los principales mecanismos por los cuales los microorganismos pueden adquirir resistencia a los fármacos antimicrobianos (Abushaheen et al., 2020)

Por último, el organismo puede adquirir genes, formando una vía metabólica alternativa que no sea inhibida por los agentes antimicrobianos (McEwen y Collignon, 2018). Por lo tanto, las bacterias presentan un proceso natural que fomenta su resistencia, lo cual se puede producir a través de mutaciones genéticas, presión selectiva o transferencia horizontal de genes. Por ejemplo, las bacterias poseen la cualidad de transferir directamente el material genético resistente entre sí mediante la transferencia por medio de plásmidos (Giedraitiene et al., 2011). Esto se empeora con la aparición del fenómeno de la multirresistencia, el cual se registró por primera vez en las enterobacterias durante la década de 1950. La situación se ve agravada ya que diversos microorganismos, son resistentes a la mayoría de los agentes antibacterianos actualmente disponibles, se conocen popularmente como superbacterias, lo que representa un desafío terapéutico severo (Fernández y Hancock, 2012).

3.5.1 Resistencia antimicrobiana mediada por biopelículas

Las biopelículas son el estado de crecimiento predominante de muchos microorganismos, conformado por una comunidad de células adherentes con propiedades distintas a las de las células planctónicas. Aunque las biopelículas a menudo se adhieren a las superficies sólidas, también pueden formarse en otros entornos, como por ejemplo interfaces líquido-aire. La biopelícula está conformada por una o varias especies de bacterias adheridas a una superficie, embebidas en una matriz extracelular, que les confiere persistencia a las condiciones ambientales y resistencia conllevando a infecciones causadas por microorganismos resistentes a fármacos y recidivas clínicas (Barsoumian et al., 2015; Bjarnsholt, 2013).

La biopelícula se considera como un mecanismo de virulencia para el huésped, pero a la vez de supervivencia para las bacterias, la matriz generada por este nicho ecológico permite la sobrevivencia de las bacterias que la conforman y la protección al estrés microambiental, por lo tanto, genera evolución,

diseminación y resurgimiento de las bacterias que la conforman y como resultado la prolongación de las infecciones (Chambliss et al., 2006). Las bacterias que viven en una comunidad bacteriana pueden mostrar más tolerancia a un ambiente adverso que las células que viven de manera individual, se puede incrementar la resistencia a los antibióticos hasta en 1000 veces en las células bacterianas que conforman una biopelícula (Penesyan et al., 2015), muchas explicaciones se han dado, por ejemplo, una adaptación natural, dada por procesos de transferencia horizontal de genes de resistencia (Madsen et al., 2012).

La formación de esta estructura depende de diversos factores que pueden llegar afectar el comportamiento de la bacteria, los cuales llevan a determinar la estructura, la composición de la matriz que actúa como una barrera protectora, protege a la comunidad de bacterias de la respuesta inmune del huésped y facilita la adhesión de bacterias sobre la superficie. La forma y dispersión de la biopelícula, depende de factores como pH, la temperatura, niveles de oxígeno, osmolaridad, factores hidrodinámicos, los cuales están involucrados en el transporte e intercambio de fluidos durante los estados iniciales de la colonización. Una vez que las bacterias formen la biopelícula muestran características diferentes en el crecimiento al de las células plantónicas con respecto al metabolismo, la transcripción de genes y producción de proteínas (Kumar et al., 2017), esta comunidad tiene la habilidad de cambiar las condiciones propias y del ambiente que las rodea para crear un nuevo entorno, donde se favorece su supervivencia (Balcázar et al., 2015).

Por lo anterior, además de las interacciones de físicas, químicas y biológicas del microambiente, llevan a generar una comunidad altamente heterogénea, en la cual se crea una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (EPS compuesta principalmente de ADN extracelular eADN, polisacáridos y proteínas que contribuyen a definir la estructura de la biopelícula, esto favorece la formación de canales internos, los cuales permiten el acceso de agua y oxígeno, que llegan incluso a lugares profundos, además facilita la concentración de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo, los cuales ayudan a la supervivencia de los microorganismos (Archer et al., 2011). Estos canales generan condiciones ambientales diversas que potencializan la expresión fenotípica, genética y producción de diversas proteínas, favoreciendo la generación de subpoblaciones, lo que puede causar la expresión heterogénea de genes, por ejemplo, microorganismos que crecen aeróbicamente, fermentativamente y aquellas que están metabólicamente inactivas (Archer et al., 2011; Paharik y Horswill, 2016).

Se han propuesto cuatro posibles hipótesis donde se detallan los mecanismos por los cuales la producción de biopelícula está implicada en los mecanismos de resistencia bacteriana. La primera hipótesis sugiere que la resistencia se da debido a que el antibiótico no puede penetrar completamente a la biopelícula e incluso este puede ser degradado. La segunda hipótesis sugiere que las bacterias al estar en un espacio donde deben compartir oxígeno y nutrientes entran en un estado de lentificación en el cual hay cese de división celular, lo que conlleva a que no sean susceptibles a la actividad antimicrobiana del antibiótico. Por otro lado, la tercera hipótesis sugiere cambios genéticos en las bacterias que conforman la biopelícula, como la aparición de genes específicos que potencien la resistencia bacteriana. La cuarta hipótesis plantea la formación de esporas, que permite que una subpoblación de bacterias forme una biopelícula que sea resistente a antibióticos aun cuando este recién formada (Sánchez et al., 2021).

La formación de una biopelícula es un proceso complejo que se inicia con la adherencia sobre una superficie abiótica, un tejido o en la interfaz aire-líquido (Figura 2). Ocurre como un proceso continuo, de acuerdo con sus diferentes fases de desarrollo: Acondicionamiento, Adhesión, Síntesis de matriz extracelular inducida por *quorum sensing*, Maduración y Dispersión.

Estas fases conducen a la formación de una estructura uniforme en forma de depósitos homogéneos y acumulaciones viscosas celulares rodeados de una matriz de polímeros con canales abiertos para el movimiento de agua. En general, la formación de biopelícula de cualquier organismo sigue una secuencia similar de estos sucesos y los hongos no son la excepción (Jordi, 2008).

Entendiendo así la biopelícula como un factor de virulencia que facilita la adherencia a los biopolímeros para colonizar superficies, influyendo directamente en los procesos infecciosos tanto en la persistencia de la enfermedad como en el incremento en la concentración de los antibióticos que puede ir de 50 a 1000 veces favoreciendo la evasión de la respuesta inmune e incrementando la estancia y costos hospitalarios

(Yarwood y Schlievert, 2003). por lo tanto, en los últimos años se han desarrollado péptidos antimicrobianos PAMs sintéticos, derivados de moléculas producidas naturalmente por plantas o animales, como parte de la respuesta inmune innata; cuyas características son: amplio espectro, relativa selectividad hacia membranas celulares microbianas, capacidad permeabilizante de la membrana citoplasmática y acción bacteriostática o bactericida

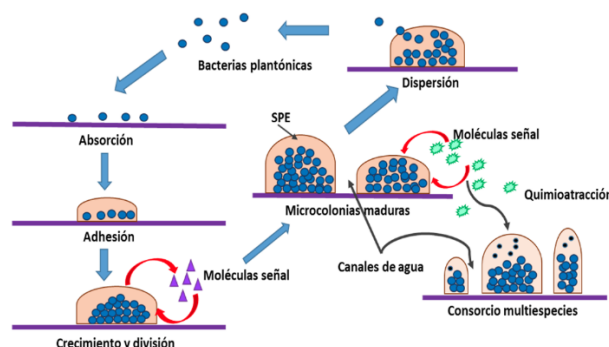


Figura 2. Fases de formación de biopelículas bacterianas *in vitro*. La morfogénesis de las biopelículas se activa cuando la bacteria entra en contacto con la superficie y la capa de las células basales. Tiene un papel importante de anclaje de la biopelícula a la superficie, siguiendo el orden: adhesión temprana, crecimiento, proliferación y maduración (Bermúdez et al., 2018)

3.6 Péptidos Antimicrobianos PAMs, como alternativa para combatir la resistencia

Los péptidos antimicrobianos PAMs, son moléculas propias del sistema inmunológico del huésped, evolutivamente conservadas, que pueden encontrarse en diferentes tipos de organismos, desde procariotas hasta seres humanos y han surgido en los últimos 25 años como una familia de sustancias con gran potencial para uso clínico, debido a sus múltiples mecanismos de acción, amplio espectro de actividad y bajo potencial de resistencia (Rossi et al., 2012; Téllez y Castaño, 2010; Cassir et al., 2014).

Los diferentes tipos de PAMs son sintetizados y secretados por varias células y tejidos, incluyendo la piel, las superficies mucosas, los neutrófilos y los epitelios, siendo estos componentes del sistema inmune innato de humanos y animales; adicionalmente también son producidos por las plantas, desempeñando, en ambos casos, un papel fundamental en el control de microorganismos potencialmente patógenos y también con una activación indirecta del sistema inmunológico (Ageitos et al., 2017).

Estos péptidos son moléculas relativamente pequeñas, constituidas entre 10 y 50 aminoácidos, generalmente cargados positivamente (+2 a +9), y contienen más del 30% de residuos hidrofóbicos. Por consiguiente, cuando se pliegan, muchos de estos péptidos exhiben estructuras helicoidales anfifílicas y pueden formar poros en las membranas microbianas, lo que causa ruptura de membrana y eventual muerte celular. Por tanto, aunque las cargas positivas de los aminoácidos básicos facilitan la interacción con las cargas negativas de los fosfolípidos de las membranas biológicas, los aminoácidos hidrófobos facilitan la inserción de éstos en la membrana, lo que conducirá eventualmente a la lisis de los microorganismos.

Los PAMs pueden clasificarse según su estructura secundaria, en péptidos lineales, de hélice alfa (cecropinas, magaininas y mellitinas), péptidos formados por láminas beta, una mezcla de las dos estructuras (alfa y beta) o ninguno de estos dos tipos de estructuras (Lakshmaiah y Chen, 2015). De acuerdo con su composición de aminoácidos, se pueden encontrar péptidos con el enriquecimiento de uno o dos aminoácidos, como ricos en cisteína o ricos en aminoácidos específicos (Tabla 1).

Los PAMs se han constituido como una terapia alternativa en respuesta al problema de resistencia bacteriana por su capacidad de inhibir el crecimiento y la formación de biopelícula, incluso en microorganismos resistentes a medicamentos (Bechinger y Gorr, 2017). Estas moléculas tienen un amplio espectro de acción sobre microorganismos como, bacterias Gram positivas y Gram negativas, hongos, virus, parásitos o incluso células cancerígenas (Zhu et al., 2017). Algunos PAMs pueden actuar sobre dianas internas, como la inhibición de ácido nucleico o síntesis de proteínas. Además, se ha demostrado su capacidad inmunomoduladora que incluye la reducción de la concentración citoquinas proinflamatorias,

modulación en la expresión de quimioquinas, estimulación de angiogenesis, activación leucocitaria, diferenciación de macrófagos y leucocitos lo que favorece su habilidad para tratar infecciones bacterianas (Martin et al., 2015). También pueden afectar la diferenciación de las células dendríticas y estimular la angiogénesis (Rossi et al., 2012).

Tabla 1. Clasificación de los péptidos antimicrobianos PAMs y algunos ejemplos

Tipos de PAMs	Ejemplo y origen
Péptidos aniónicos	Pequeños péptidos aniónicos ricos en ácido glutámico y aspártico, provenientes de ovejas, ganado y humanos.
Péptidos catiónicos lineales de hélice alfa	Cecropinas (A), andropina, moricina, ceratotoxinas y melitina de insectos. Cecropina P1 de nemátodos. Magainina, dermasepina, bombina y biferina II de anfibios. Pleurocidina de la secreción mucosa de la piel de peces. LL-37 de humanos.
Péptidos enriquecidos para aminoácidos específicos	Péptidos que contienen prolina, incluyendo abaecina de abejas. Péptidos que contienen prolina y arginina, como apidaecina, de abejas. Péptidos que contienen prolina y fenilalanina, como profenina, del cerdo. Péptidos que contienen glicina y prolina, como coleopterina y holotriptina, de escarabajos.
Péptidos aniónicos y catiónicos que contienen cisteína y firman puentes disulfuro	Péptidos con puentes disulfuro, incluyendo brevina. Péptidos con dos puentes disulfuro, protegrinas del cerdo, taquiplesinas del cangrejo. Péptidos con tres puentes disulfuro, alfa defensinas humanas, O-defensina Rhesus del mono.
Péptidos aniónicos catiónicos que son fragmentos de proteínas mayores	Lactoferricina de la lactoferrina. Casodicina 1 de la caseína humana. Dominios antimicrobianos de la alfa lactoalbúmina bovina, lisosima y ovoalbúmina.

3.7 Mecanismo de acción de los Péptidos Antimicrobianos PAMs

La actividad biológica de los PAMs está dada por su habilidad de unión a la pared y membrana celular, sin requerir de receptores específicos (Mangoni et al., 2016; Téllez y Castaño, 2010). Esta capacidad de unión a las membranas celulares está favorecida por la distribución hidrofóbica e hidrofílica de aminoácidos, lo que confiere anfipaticidad en la estructura alfa helical, proporcionando cierto grado de selectividad por los fosfolípidos de la membrana bacteriana, debido a su carácter aniónico (Mangoni et al., 2016); sin embargo, la optimización de parámetros de la molécula como carga y/o estructura, les confiere una selectividad mayor hacia células microbianas y a disminuir la citotoxicidad frente a las células del hospedero (Rossi et al., 2012). Es necesario que el PAM se encuentre a una concentración adecuada para alcanzar una fuerza iónica que oscile entre +1 y +9 (Travkova et al., 2017), para potencializar su actividad antibacteriana (Lakshmaiah y Chen, 2015).

El modo de acción de los PAMs varía de acuerdo con las características de la envoltura celular que favorecen la interacción péptido-lípido. En bacterias Gram positivas, se encuentran los ácidos lipoteicóicos y peptidoglicano y en las bacterias Gram negativas, cuya membrana citoplasmática externa está conformada por ácidos grasos y lipopolisacáridos van a interactuar con los PAMs alterando la funcionalidad de la célula, mediante la ruptura de la membrana, dando como resultado la formación de poros y/o impidiendo la biosíntesis de la pared celular (Zeth y Sancho, 2017).

Posterior a la década de los años 1960, con la marcada observación de multirresistencia de las bacterias a los antibióticos, los PAMs han sido considerados como una nueva alternativa para combatir las infecciones bacterianas (Ageitos et al., 2017). En 1980 comenzaron los primeros trabajos a los PAMs y se descubrieron las cecropinas, derivados de la hemolinfa de la polilla *Hyalophora cecropia*; seguido a esto se logró el aislamiento y caracterización de las defensinas, obtenidas de las células granulocíticas de mamíferos. Desde entonces han sido numerosos los descubrimientos de distintos PAMs, con aproximadamente 2000 péptidos informados hasta el 2016 y que se encuentran descritos en una base de datos donde puede consultarse su estructura y actividad (Mangoni et al., 2016).

3.8 Catelidinas tipo LL-37

Las catelidinas, son una familia de PAMs catiónicos, con más de 30 miembros, distribuidos ampliamente en anfibios, vertebrados y mamíferos desde pollos, conejos, cerdos hasta el humano. Tienen actividad

antimicrobiana frente a bacterias, virus y hongos; además desempeñan múltiples funciones inmuno moduladoras como, angiogénesis, regulación del cáncer al modular la apoptosis, además de actuar en los sistemas respiratorio, gastrointestinal y en la piel (Agier et al., 2015).

La catelicidina más importante es el péptido LL-37, producido por varias células epiteliales, leucocitos, células B, queratinocitos, melanocitos, neutrófilos, células de la médula ósea, mastocitos, glándulas salivales, entre otras. La expresión es constitutiva o inducida por contacto con bacterias o componentes de la pared celular bacteriana tales como LPS, alteración de la barrera de las células epiteliales, estrés del retículo endoplásmico ER, infecciones y heridas (Fabisiak et al., 2016).

Este péptido se llamó LL-37, ya que comienza con dos leucinas y tiene una secuencia de 37 aminoácidos (LLGDFFRKSKEKIGKEFKRIVQRIKDFLRNLPRTES). Es un péptido catiónico anfipático con una carga neta de +6 a pH neutro, que adopta una estructura desordenada en solución, pero adquiere una estructura α -helicoidal al interactuar con las membranas celulares a pH fisiológico (Figura 3) (Vandamme et al., 2012).

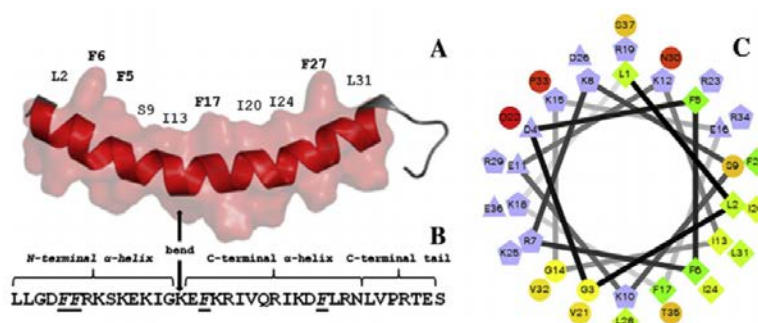


Figura 3. Estructura tridimensional del péptido LL-37. **A)** La estructura tridimensional. Indica la conformación de hélice-curva-hélice, seguida de una cola C-terminal. **B)** Secuencia de LL-37. Se subrayan las fenilalaninas. **C)** Representación de rueda helicoidal de LL-37, que ilustra la naturaleza anfipática y catiónica de LL-37. Los residuos hidrofílicos se presentan como círculos, los residuos hidrofóbicos como diamantes, potencialmente cargados negativamente como triángulos y potencialmente cargados positivamente como pentágonos. Residuos más hidrofóbicos son representados en verde, hidrofobicidad cero codificada como amarillo. Los residuos hidrofílicos se codifican en rojo, siendo el rojo puro el residuo más hidrofílico (sin carga), y la cantidad de rojo disminuye proporcionalmente a la hidrofilia (Vandamme et al., 2012)

El péptido LL-37, el único péptido derivado de las catelicidinas humanas que presenta un amplio espectro de acción antimicrobiana. Ha demostrado una gran capacidad de eliminar bacterias Gram positivas y Gram negativas, algunos hongos y virus (Fabisiak et al., 2016), además de presentar actividades relacionadas con la defensa del hospedero, incluida la migración quimiotáctica, la neutralización de endotoxinas y la cicatrización de heridas (Scott et al., 2002).

La unión del péptido LL-37 a las membranas celulares, se da por interacciones electroestáticas de los residuos cargados positivamente y las moléculas cargadas negativamente expuestas en la superficie de la célula bacteriana, a través de canales transmembranales; actúa sin receptores específicos, pero la permeabilidad de la membrana presente en las bacterias Gram negativas, permite interacciones covalentes al lípido II, o en la capa de peptidoglicano con la presencia de los ácidos teicóicos y lipoteicóicos de las bacterias en Gram positivas, en ambos casos el péptido LL-37, actúa como un bacteriostático al inhibir la síntesis de la pared celular bacteriana (Zeth y Sancho, 2017).

Se han reportado diferentes mecanismos de acción para el PAM LL-37. Tiene gran capacidad de eliminar bacterias Gram negativas y Gram positivas, realizando ruptura de la membrana bacteriana por la creación de poros toroidales o inhibiendo la biogénesis de la pared celular, lo que causa el flujo de salida de diversas moléculas de la célula (Fabisiak et al., 2016). Además, puede actuar directamente sobre el DNA, al unirse a los grupos fosfato de éste por uniones electrostáticas para posteriormente insertarse en la cadena de nucleótidos del DNA (Bechinger y Gorr, 2017). Adicionalmente, se ha demostrado la capacidad de LL-37 para prevenir la formación de biopelículas (*biofilm*) bacterianas, al inhibir la fase inicial de adherencia, disminuyendo la formación de biomasa, la altura y causando disrupción de la biopelícula preformada a las

24 horas en concentraciones por debajo de su MIC (Ageitos et al., 2017); por lo que se ha propuesto como una ayuda en el tratamiento de heridas infectadas en pacientes hospitalizados.

Estudios han demostrado que el péptido LL-37 puede ser degradado por enzimas proteolíticas, secretadas por varios microorganismos. Algunas metaloproteasas producidas por bacterias como *S. aureus* y *S. epidermidis*, conocidas como aureolisinas codificadas por el gen *aur*, han demostrado favorecer la resistencia a la acción antimicrobiana de estos PAMs (Sabat et al., 2008). El clivaje del péptido LL-37 por las aureolisinas se correlaciona con la pérdida de la actividad biológica en las uniones localizadas en el C-terminal y en los aminoácidos Arginina19-Isoleucina20, Arginina23-Isoleucina2 y Leucina31-Valina32. Estudios mencionan 9 clivajes dentro los 20 residuos del C-terminal, lo que va a permitir la supervivencia de la bacteria (Strömstedt et al., 2009).

Los péptidos análogos sintéticos derivados de la catelicidina humana superan las desventajas de los péptidos actuales y los problemas de los fármacos disponibles. Hacer uso de modificaciones para el diseño de nuevos péptidos es una alternativa valiosa para mejorar la actividad antimicrobiana y la estabilidad fisiológica. Dentro de estas modificaciones, se han estudiado el acortamiento de la molécula, el uso de aminoácidos en forma D (Sim et al., 2019) y la adición de aminoácidos cargados.

3.8.1 Derivados sintéticos del péptido LL-37

En general las proteínas naturales y los péptidos sintéticos están compuestos de L-aminoácidos, usualmente proveen sitios de unión que con frecuencia reconocen regiones específicas sobre un ligando, presentan una disminución en la absorción en el sitio de actividad fisiológica y una alta susceptibilidad a la degradación proteolítica *in vivo*, por lo tanto es importante modificar las cadenas laterales y la cadena principal del polímero con el fin de incrementar la resistencia a la proteólisis (Zhu et al., 2017).

El uso de D-aminoácidos en el diseño de PAMs ha demostrado superar los obstáculos que se presentan en descubrimiento de nuevos péptidos sintéticos, al incrementar la estabilidad enzimática, prolongar la vida media plasmática, mejorar la biodisponibilidad oral y aumentar la actividad de unión y la especificidad con las proteínas receptoras o diana, en comparación con el péptido L correspondiente. Por lo tanto, se considera que los péptidos D tienen potencial como moléculas de reconocimiento y agentes terapéuticos. (Von Borowski et al., 2018).

Estas modificaciones logran incrementar la resistencia a la degradación proteolítica debido a una barrera energética extremadamente alta dada por una incompatibilidad estérica y al estado de transición del complejo enzima-sustrato, siendo menos inmunogénica debido a la pobre eficiencia en la presentación del antígeno. Igualmente, la modificación de los extremos N-terminales y C-terminales mediante la acetilación intensifican la estabilidad de la acción proteolítica (Liu et al., 2016). En 1992 Milton y colaboradores mostraron que los D-enantiómeros de la enzima proteasa del virus del HIV-1 forman un activo complejo y presentan muchas ventajas sobre los péptidos L, especialmente en la resistencia a la acción de las proteasas, la cual puede incrementar su vida media, adicionalmente los D-péptidos pueden ser absorbidos sistemáticamente después de la administración oral (Milton et al., 1992).

El péptido LL-37 ha demostrado que, con pequeños cambios en su estructura pueden ser potencializados sus efectos. Por esta razón se han derivado péptidos de su estructura original, observándose una mejora en sus actividades antimicrobianas, por ejemplo, con la generación de enantiómeros, por la sustitución de D-aminoácidos. Estas modificaciones han evidenciado una alta resistencia a las proteasas, disminución en la citotoxicidad en las células humanas, mayor actividad inmunomoduladora estimulando la producción de IL 8 y la movilización de fibroblastos, regulación negativa de genes y estimulación en la motilidad bacteriana lo que inhibe su colonización en un espacio determinado evitando así la formación de biopelícula (Strömstedt et al., 2009).

Resultados previos del grupo de investigación REMA de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, en Bogotá, han demostrado que modificaciones como péptidos enantiómeros, posiblemente tiene una mayor actividad biológica haciéndolo un mejor candidato como antimicrobianos y de esta manera contribuiría a la

contención de la resistencia bacteriana. Lo anterior se responde por el postulado que, los ribosomas de la bacteria no incorporan directamente este tipo de aminoácidos en la cadena peptídica y los residuos D, dan mayor estabilidad al péptido ocasionando afectación de la cinética de crecimiento bacteriano o un incremento en la potencia del péptido. Adicionalmente este péptido posee una mayor estabilidad frente a las enzimas proteolíticas como las aureolisinas en consecuencia a los cambios farmacocinéticos que se generan (Sieprawska et al., 2004).

3.8.2 Actividad del péptido LL-37 y sus derivados sobre las biopelículas

La formación de biopelícula es uno de los mecanismos más utilizados por microorganismos patógenos, como bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos del género *Cándida*, para la persistencia y colonización de diferentes superficies, debido a que le confiere a la bacteria una mayor resistencia a los antibióticos en comparación a su estado planctónico y se fomenta la expresión de diferentes proteínas de adhesión y moléculas de señalización, lo cual en el ámbito clínico es de gran importancia dado que la invasión a dispositivos médicos y las fallas terapéuticas, son las principales consecuencias de este factor de virulencia y patogenicidad. Por lo tanto, el efecto anti-biopelícula de estos PAMs es una de sus actividades más importantes por lo cual es necesario conocer sus efectos y capacidad de inhibición.

El efecto inhibitorio del péptido LL-37 sobre la formación de biopelícula de *P. aeruginosa*, ha sido evaluado por diferentes autores. Dean et al. (2011) realizaron experimentos para determinar la capacidad del péptido LL-37 en su forma normal y de enantiómero D-LL37 de inhibir el crecimiento y formación de biopelícula de *P. aeruginosa*; Los resultados mostraron que el péptido LL-37 en sus dos formas es efectivo, tanto en la inhibición del crecimiento de *P. aeruginosa*, como en la formación de las biopelículas. Sin embargo el enantiómero D-LL37, demostró mayor actividad en la disminución de biopelícula preformada, asimismo disminución en la expresión de los genes *rhIA* y *rhIB*, relacionados con la formación de biopelícula (Dean et al., 2011). En esta investigación también se realizó un ensayo *in vivo*, utilizando larvas de la polilla *Galleria mellonella* e infectándolas con *P. aeruginosa* para observar el efecto protector de estos péptidos, de los cuales LL-37 y D-LL37 demostraron ser efectivos. De manera similar se ha demostrado que, este péptido afecta dos de los principales sistemas del *Quorum Sensing* de *P. aeruginosa*, los sistemas *Las* y *Rhl*, ocasionando que se genere una regulación baja de ciertos genes esenciales para este proceso de comunicación de la bacteria (Hell et al., 2010).

Otros autores han logrado determinar el efecto inhibitorio del péptido LL-37 sobre *S. epidermidis*, evidenciando que a todas las concentraciones evaluadas del péptido había una inhibición en la formación de biopelícula. Se demostró que a una concentración de 1.0 mg/L del péptido la masa de la biopelícula fue menor al 60%, mientras que a una concentración de 16 mg/L el efecto de inhibición de la biopelícula alcanzaba un 85%. En este estudio también se investigó si el péptido LL-37 inhibía el crecimiento planctónico de la bacteria, sin embargo, no se observaron cambios significativos comparando el control con los cultivos tratados (Hell et al., 2010).

Spencer et al. (2018) evaluaron el efecto del péptido LL-37 en siete aislamientos clínicos de *A. baumannii* donde se determinó acción inhibitoria en el crecimiento de algunas cepas e inhibición de la formación de biopelícula en la totalidad de los aislamientos por parte del péptido LL-37, sin embargo este no tuvo ningún efecto en biopelículas ya maduras o se requirieron concentraciones considerablemente más altas en comparación con el péptido WAM-1 (Spencer et al., 2018).

Estos estudios demuestran que, los péptidos análogos sintéticos derivados de la catelicidina humana superan las desventajas de los péptidos naturales, presentando una interesante alternativa de investigación, para postulación de proyectos de modificaciones estructurales y evaluación antimicrobiana y anti-biopelícula con aislamientos clínicos resistentes.

4. Análisis de resultados

Los principales microorganismos implicados en enfermedades infecciosas en pacientes ambulatorios y hospitalizados desarrollan diferentes mecanismos de resistencia microbiana, como formación de

biopelículas, lo que se traduce en un alto porcentaje de resistencia a los fármacos actualmente en uso ocasionando un grave problema de salud pública.

Como una interesante alternativa a este problema, surge el uso de los péptidos antimicrobianos PAMs, considerando su reconocida efectividad y baja generación de resistencia. Sin embargo, Estudios han demostrado que los PAMs pueden ser degradado por enzimas proteolíticas y metaloproteasas de diferentes microorganismos disminuyendo su actividad biológica.

Los péptidos análogos sintéticos derivados de la catelicidina humana superan las desventajas de los péptidos actuales y los problemas de los fármacos disponibles. Hacer uso de modificaciones para el diseño de nuevos péptidos es una alternativa valiosa para mejorar la actividad antimicrobiana y la estabilidad fisiológica. Dentro de estas modificaciones, se han estudiado el acortamiento de la molécula, el uso de aminoácidos en forma D y la adición de aminoácidos cargados.

De acuerdo con estas investigaciones, dentro del grupo de investigación REMA se ha postulado la evaluación de tres péptidos análogos al LL-37 (AC-1, AC-2 y DL-37) como candidatos terapéuticos para inhibir la formación de biopelícula por bacterias como *S. aureus* y *S. epidermidis* y hongos como *Cándida albicans*.

Estructuralmente, el péptido AC-1 posee una longitud de 23 aminoácidos y presenta en el amino terminal una acetilación, y amidación en el carboxilo-terminal. El péptido AC-2 con una longitud de 24 aminoácidos iniciando con el aminoácido glicina, en el amino terminal hay acetilación, y amidación en el carboxilo-terminal. Y el péptido DL-37 que posee una longitud de 25 aminoácidos y una modificación en la posición amino terminal que lo convierte en un enantiómero D.

Como resultados preliminares de estas evaluaciones antimicrobianas mediante curvas de letalidad, se ha logrado identificar que los péptidos LL-37 y DL-37 presentan actividad antimicrobiana y anti-biopelícula a una concentración de 5 μ M (Pinilla y Navarrete, 2020). Adicionalmente, se observaron cambios en la expresión de las enzimas de adhesión identificadas ClfA, ClfB, FnbA en *S. aureus* y SdrE, SdrF en *S. epidermidis* de manera diferencial en cada aislamiento. Respecto al efecto antifúngico frente a *Candida albicans*, de manera similar, se ha logrado observar efecto antimicótico y anti-biopelícula del péptido LL-31 y el derivado AC-1 a concentraciones de 5 y 10 μ M.

5. CONCLUSIONES

La problemática mundial generada por la resistencia microbiana a los antibióticos actualmente en uso y la aparición de bacterias resistentes a prácticamente todos los fármacos tradicionales, han despertado una alarma a nivel mundial en la búsqueda de nuevas moléculas que permitan combatir las infecciones microbianas de manera efectiva.

Los Péptidos antimicrobianos PAMs, han surgido como una terapia alternativa en respuesta a esta problemática de resistencia bacteriana, por su capacidad de inhibir el crecimiento y la formación de biopelícula, incluso en microorganismos resistentes. Estos PAMs ofrecen como ventaja, un particular modo de acción, que ha permitido demostrar baja tasa de generación de resistencia microbiana, identificándolos como una nueva alternativa para combatir las infecciones bacterianas.

Variaciones de la síntesis química de estos PAMs, en especial sobre los péptidos derivados de la catelicidina LL-37, reflejan una posible alternativa, para incrementar actividad microbicida favoreciendo los avances en el diseño racional de nuevos péptidos para uso permitido en humanos.

En este sentido, desde del grupo de investigación REMA de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca en Bogotá, se han diseñado y sintetizado tres péptidos análogos al LL-37 (AC-1, AC-2 y DL-37) como candidatos terapéuticos para inhibir la formación de biopelículas por bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis* y hongos como *Cándida albicans*. Los resultados preliminares obtenidos, han permitido identificar un efecto antimicrobiano importante de estos péptidos análogos frente a bacterias de importancia clínica e incluso bacterias resistentes formadoras de biopelículas.

La anterior revisión documental descriptiva y los resultados encontrados permiten sugerir que, una estrategia que incluya modificaciones para el diseño de nuevos péptidos análogos al LL-37, son una alternativa valiosa para mejorar la actividad antimicrobiana y la estabilidad fisiológica de los PAMs, en este sentido, se busca contribuir a las soluciones conjuntas que mejoren los tratamientos actuales de enfermedades infecciosas causadas por microorganismos resistentes.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por la Convocatoria Interna de Investigaciones de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, acuerdo 081 de 2020, y por la Convocatoria 874 de 2020 de Minciencias.

REFERENCIAS

- Abushaheen, M. A., Muzaheed, A. J., Alosaimi, M. et al. (2020). Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance. *Disease-a-Month* 66(6).
- Ageitos, J. M., Sánchez-Pérez, A., Calo-Mata, P. y Villa, T. G. (2017). Antimicrobial peptides (AMPs): Ancient compounds that represent novel weapons in the fight against bacteria. *Biochemical Pharmacology* 133, 117–138.
- Agier, J., Efenberger, M. y Brzezińska-Blaszczyk, E. (2015). Cathelicidin impact on inflammatory cells. *Central European Journal of Immunology* 40(2), 225–235.
- Alvarez-Moreno, C. A., Cortes, J. A. y Denning, D. W. (2018). Burden of fungal infections in Colombia. *Journal of Fungi* 4(2), 1–13.
- Amato, S. M. y Brynildsen, M. P. (2015). Persister heterogeneity arising from a single metabolic stress. *Current Biology* 25(16), 2090–2098.
- Aminov, R. I. (2010). A brief history of the antibiotic era: Lessons learned and challenges for the future. *Frontiers in Microbiology* 1, 134.
- Archer, N. K., Mazaitis, M. J., William Costerton, J. et al. (2011). Staphylococcus aureus biofilms: Properties, regulation and roles in human disease. *Virulence* 2(5), 445–459.
- Balasubramanian, D., Harper, L., Shopsin, B. y Torres, V. J. (2017). Staphylococcus aureus pathogenesis in diverse host environments. *Pathogens and Disease* 75(1), 54–67.
- Balcázar, J. L., Subirats, J. y Borrego, C. M. (2015). The role of biofilms as environmental reservoirs of antibiotic resistance. In *Frontiers in Microbiology* 6, 1–9.
- Barsoumian, A. E., Mende, K., Sanchez, C. J. et al. (2015). Clinical infectious outcomes associated with biofilm-related bacterial infections: A retrospective chart review. *BMC Infectious Diseases* 15(1), 24–34.
- Bechinger, B. y Gorr, S. U. (2017). Antimicrobial Peptides: Mechanisms of Action and Resistance. *Journal of Dental Research* 96(3), 254–260.
- Bermúdez, P., Muñoz, E., Ospina, N. et al. (2018). Herramientas para el análisis de mecanismos de resistencia de Candida albicans. In *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 38(3), 78–89.
- Bhattacharya, M., Wozniak, D. J., Stoodley, P. y Hall-Stoodley, L. (2015). Prevention and treatment of Staphylococcus aureus biofilms. *Expert Review of Anti-Infective Therapy* 13(12), 1499–1516.
- Bjarnsholt, T. (2013). The role of bacterial biofilms in chronic infections. *APMIS. Supplementum* 121(136), 1–51.
- Calderón Rojas, G. y Aguilar Ulate, L. (2016). Resistencia antimicrobiana: microorganismos más resistentes y antibióticos con menor actividad. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica* 73(621), 757–763.
- Cassir, N., Rolain, J.-M., Brouqui, P. et al. (2014). A new strategy to fight antimicrobial resistance: the revival of old antibiotics. *Tuberculosis* 14(1), 178–182.
- Celis Bustos, Y. A., Vanesa Rubio, V. y Camacho Navarro, M. M. (2017). Perspectiva histórica del origen evolutivo de la resistencia a antibióticos. *Revista Colombiana de Biotecnología* 19(2), 105–117.
- Chambless, J. D., Hunt, S. M. y Stewart, P. S. (2006). A three-dimensional computer model of four hypothetical mechanisms protecting biofilms from antimicrobials. *Applied and Environmental Microbiology* 72(3), 2005–2013.
- Chen, H., Liu, Y., Jiang, X., Chen, M. y Wang, H. (2010). Rapid change of methicillin-resistant staphylococcus aureus clones in a Chinese Tertiary Care Hospital over a 15-year period. *Antimi. Agents and Chemotherapy* 54(5), 1842–1847.
- Dam, S., Pagès, J. M. y Masi, M. (2018). Stress responses, outer membrane permeability control and antimicrobial resistance in enterobacteriaceae. *Microbiology (United Kingdom)* 164(3), 260–267.
- Dean, S. N., Bishop, B. M. y Van Hoek, M. L. (2011). Susceptibility of Pseudomonas aeruginosa biofilm to alpha-helical peptides: D-enantiomer of LL-37. *Frontiers in Microbiology* 2, 134–145.
- Ekrami, A., Montazeri, E. A., Kaydani, G. A. y Shokoohzadeh, L. (2015). Methicillin resistant staphylococci: Prevalence and susceptibility patterns in a burn center in Ahvaz from 2013–2014. *Iranian Journal of Microbiology* 7(4), 208–213.
- Fabisiak, A., Murawska, N. y Fichna, J. (2016). LL-37: Cathelicidin-related antimicrobial peptide with pleiotropic activity. *Pharmacological Reports* 68(4), 802–808.
- Fernández, L. y Hancock, R. E. W. (2012). Adaptive and mutational resistance: Role of porins and efflux pumps in drug resistance. *Clinical Microbiology Reviews* 25(4), 661–681.

- Pinilla, G. y Navarrete, L. (2020). Evaluación del efecto inhibitorio de péptidos de defensa innata derivados de LL-37 en biopelícula de *Staphylococcus* spp. provenientes de aislamientos clínicos de Hospitales de la Ciudad de Bogotá, Colombia. *Infectio* 24(3), 14–15.
- Giedraitiene, A., Vitkauskienė, A., Naginiene, R. y Pavilonis, A. (2011). Antibiotic resistance mechanisms of clinically important bacteria. *Medicina* 47(3), 137–146.
- Götz, F., Yu, W., Dube, L., Prax, M. y Ebner, P. (2015). Excretion of cytosolic proteins (ECP) in bacteria. *International Journal of Medical Microbiology* 305(2), 230–237.
- Hecker, M., Mäder, U. y Völker, U. (2018). From the genome sequence via the proteome to cell physiology – Pathoproteomics and pathophysiology of *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Medical Microbiology* 308(6), 545–557.
- Hell, É., Giske, C. G., Nelson, A., Römling, U. y Marchini, G. (2010). Human cathelicidin peptide LL37 inhibits both attachment capability and biofilm formation of *Staphylococcus epidermidis*. *Lett. in Applied Microb.* 50(2), 211–215.
- INS. (2018). *Infecciones asociadas a dispositivos en Colombia*. Instituto Nacional de Salud.
- Jan, A. T. (2017). Outer Membrane Vesicles (OMVs) of gram-negative bacteria: A perspective update. *Frontiers in Microbiology* 8, 56–67.
- Jordi Vila, A. S. y J. M. (2008). Molecular basis of microbial adherence to prosthetic materials. Role of biolayers in prosthesis-associated infection. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* 26(1), 48–55.
- Khabbaz, R., Cars, O., Kumar, S. et al. (2017). Implementation of the global action plan on antimicrobial resistance. *WHO GAP AMR Newsletter* 32, 1–4.
- Kong, K. F., Vuong, C. y Otto, M. (2006). *Staphylococcus* quorum sensing in biofilm formation and infection. *International Journal of Medical Microbiology* 296(2–3), 133–139.
- Kumar, A., Alam, A., Rani, M., Ehtesham, N. Z. y Hasnain, S. E. (2017). Biofilms: Survival and defense strategy for pathogens. *International Journal of Medical Microbiology* 307(8), 481–489.
- Lakshmaiah Narayana, J. y Chen, J. Y. (2015). Antimicrobial peptides: Possible anti-infective agents. *Peptides* 72, 88–94.
- Laxminarayan, R. y Brown, G. M. (2001). Economics of antibiotic resistance: A theory of optimal use. *Journal of Environmental Economics and Management* 42(2), 183–206.
- Lee, Y., Cho, Y. S., Sohn, Y. J. et al. (2020). Clinical characteristics and causative pathogens of infective arthritis and risk factors for gram-negative bacterial infections. *Infection and Chemotherapy* 52(4), 503–515.
- Liu, M., Li, X., Xie, Z. et al. (2016). D-Peptides as Recognition Molecules and Therapeutic Agents. In *Chemical record (New York, N.Y.)* 16(4), 1772–1786.
- Madsen, J. S., Burmølle, M., Hansen, L. H. y Sørensen, S. J. (2012). The interconnection between biofilm formation and horizontal gene transfer. In *FEMS Immunology and Medical Microbiology* 65(2), 183–195.
- Malachowa, N., Kobayashi, S. D., Porter, A. R. et al. (2016). Contribution of *Staphylococcus aureus* coagulases and clumping factor a to abscess formation in a rabbit model of skin and soft tissue infection. *PLoS ONE* 11(6), 23–32.
- Mangoni, M. L., McDermott, A. M. y Zasloff, M. (2016). Antimicrobial peptides and wound healing: Biological and therapeutic considerations. *Experimental Dermatology* 25(3), 167–173.
- Martin, L., van Meegern, A., Doemming, S. y Schuerholz, T. (2015). Antimicrobial peptides in human sepsis. *Frontiers in Immunology* 6, 70–81.
- McEwen, S. A. y Collignon, P. J. (2018). Antimicrobial Resistance: a One Health Perspective. *Microbiology Spectrum* 6(2), 56–67.
- Milton, R. C. D. L., Milton, S. C. F. y Kent, S. B. H. (1992). Total chemical synthesis of a D-enzyme: The enantiomers of HIV-1 protease show demonstration of reciprocal chiral substrate specificity. *Science* 256(5062), 1445–1448.
- Minsalud. (2018). *Programa de Prevención, Vigilancia y Control de Infecciones Asociadas a la Atención en Salud-IAAS y la resistencia antimicrobiana*. Ministerio de Salud y Protección Social.
- Miriagou, V., Cornaglia, G., Edelstein, M. et al. (2010). *Acquired carbapenemases in Gram-negative bacterial pathogens: detection and surveillance issues*. Elsevier.
- Nair, N., Biswas, R., Götz, F. y Biswas, L. (2014). Impact of *Staphylococcus aureus* on pathogenesis in polymicrobial infections. In *Infection and Immunity* 82(6), 88–100.
- Otto, M. (2009). *Staphylococcus epidermidis* - The “accidental” pathogen. *Nature Reviews Microbiology* 7(8), 555–567.
- Paharik, A. E. y Horswill, A. R. (2016). The *Staphylococcal* Biofilm: Adhesins, Regulation, and Host Response. *Microbiology Spectrum* 4(2), 20–30.
- Paharik, A. E., Kotasinska, M., Both, A. et al. (2017). The metalloprotease SepA governs processing of accumulation-associated protein and shapes intercellular adhesive surface properties in *Staphylococcus epidermidis*. *Molecular Microbiology* 103(5), 860–874.
- Penesyan, A., Gillings, M. y Paulsen, I. T. (2015). Antibiotic discovery: Combatting bacterial resistance in cells and in biofilm communities. In *Molecules* 20(4), 5286–5298.
- Potter, R. F., D’Souza, A. W. y Dantas, G. (2016). The rapid spread of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae. *Drug Resistance Updates* 29, 30–46.
- Rossi, D. C., Munoz, J. E., Carvalho, D. D. et al. (2012). Therapeutic use of a cationic antimicrobial peptide from the spider *Acanthoscurria gomesiana* in the control of experimental candidiasis. *BMC Microbiology* 12(1), 28–37.

- Sabat, A. J., Wladyka, B., Kosowska-Shick, K. et al. (2008). Polymorphism, genetic exchange and intragenic recombination of the aureolysin gene among *Staphylococcus aureus* strains. *BMC Microbiology* 8, 26-36.
- Sánchez, L., Rodríguez, C., Cruz, G. y Pinilla, S. A. (2021). Revisión del efecto del quórum sensing bacteriano de patógenos orales en la formación de biopelículas y su implicación en la respuesta inmune del huésped. *Biociencias* 3(1), 217-229.
- Santajit, S. y Indrawattana, N. (2016). Mechanisms of Antimicrobial Resistance in ESKAPE Pathogens. *BioMed Research International* 2016:2475067.
- Scott, M. G., Davidson, D. J., Gold, M. R., Bowdish, D. y Hancock, R. E. W. (2002). The Human Antimicrobial Peptide LL-37 Is a Multifunctional Modulator of Innate Immune Responses. *The Journal of Immunology* 169(7), 3883-3891.
- Shrivastava, R. y Chng, S. S. (2019). Lipid trafficking across the Gram-negative cell envelope. *Journal of Biological Chemistry* 294(39), 14175-14184.
- Sieprawska-Lupa, M., Mydel, P., Krawczyk, K. et al. (2004). Degradation of human antimicrobial peptide LL-37 by *Staphylococcus aureus*-derived proteinases. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 48(12), 4673-4679.
- Sim, J. Y., Kim, S., Lee, J., Lim, H. et al. (2019). A significantly enhanced antibacterial spectrum of D-enantiomeric lipopeptide bactenecin. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 514(2), 497-502.
- Skarżyńska, M., Zając, M. y Wasyl, D. (2020). Antibiotics and Bacteria: Mechanisms of Action and Resistance Strategies. *Postępy Mikrobiologii - Advancements of Microbiology* 59(1), 49-62.
- Spaan, A. N., Van Strijp, J. A. G. y Torres, V. J. (2017). Leukocidins: Staphylococcal bi-component pore-forming toxins find their receptors. In *Nature Reviews Microbiology* 15(7), 435-447.
- Spencer, J. J., Pitts, R. E., Pearson, R. A. y King, L. B. (2018). The effects of antimicrobial peptides WAM-1 and LL-37 on multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Pathogens and Disease* 76(2), 34-45.
- Stahlhut, S. G., Alqarzaee, A. A., Jensen, C. et al. (2017). The ClpXP protease is dispensable for degradation of unfolded proteins in *Staphylococcus aureus*. *Scientific Reports* 7(1), 56-67.
- Strömstedt, A. A., Pasupuleti, M., Schmidtchen, A. y Malmsten, M. (2009). Evaluation of strategies for improving proteolytic resistance of antimicrobial peptides by using variants of EFK17, an internal segment of LL-37. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 53(2), 593-602.
- Suresh, M. K., Biswas, R. y Biswas, L. (2019). An update on recent developments in the prevention and treatment of *Staphylococcus aureus* biofilms. In *International Journal of Medical Microbiology* 309(1), 1-12.
- Téllez, G. A. y Castaño, J. C. (2010). Péptidos antimicrobianos. *Infectio* 14(1), 55-67.
- Travkova, O. G., Moehwald, H. y Brezesinski, G. (2017). The interaction of antimicrobial peptides with membranes. *Advances in Colloid and Interface Science* 247, 521-532.
- Vandamme, D., Landuyt, B., Luyten, W. y Schoofs, L. (2012). A comprehensive summary of LL-37, the lactoferrin human cathelicidin peptide. In *Cellular Immunology* 280(1), 22-35.
- Von Borowski, R. G., Macedo, A. J. y Gnoatto, S. C. B. (2018). Peptides as a strategy against biofilm-forming microorganisms: Structure-activity relationship perspectives. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 114, 114-137.
- Whibley, N. y Gaffen, S. L. (2015). Beyond *Candida albicans*: Mechanisms of immunity to non-*albicans* *Candida* species. *Cytokine* 76(1), 42-52.
- WHE. (2019). *2019 Antibacterial agents in clinical development: an analysis of the antibacterial clinical development pipeline*. World Health Organization.
- Yarwood, J. M. y Schlievert, P. M. (2003). Quorum sensing in *Staphylococcus* infections. In *Journal of Clinical Investigation* 112(11), 1620-1625.
- Yu, F., Li, T., Huang, X. et al. (2012). Virulence gene profiling and molecular characterization of hospital-acquired *Staphylococcus aureus* isolates associated with bloodstream infection. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* 74(4), 363-368.
- Zaman, S. Bin, Hussain, M. A. et al. (2017). A Review on Antibiotic Resistance: Alarm Bells are Ringing. *Cureus* 9(6), e1403.
- Zeth, K. y Sancho-Vaello, E. (2017). The human antimicrobial peptides dermcidin and LL-37 show novel distinct pathways in membrane interactions. In *Frontiers in Chemistry* 5, 56-66.
- Zhu, M., Liu, P. y Niu, Z. W. (2017). A perspective on general direction and challenges facing antimicrobial peptides. *Chinese Chemical Letters* 28(4), 703-708.

Validez predictiva del porcentaje de grasa corporal estimado por equipo de bioimpedancia Tanita comparado con dilución de óxido de deuterio en escolares costarricenses

Juan Diego Zamora Salas¹

Adriana Laclé Murray²

Universidad de Costa Rica

Costa Rica

El objetivo de este estudio fue determinar la validez del porcentaje de grasa corporal (% GC) estimado por el equipo de bioimpedancia Tanita en escolares costarricenses. Participaron 40 niños (7.4 ± 0.9 años) y 39 niñas (7.9 ± 1.0 años). La dilución de óxido de deuterio D_2O fue el método de referencia para determinar la masa grasa MG expresada como % GC. Se utilizó un análisis de regresión lineal y una prueba t para determinar la asociación y las diferencias entre el % GC por D_2O y Tanita. La concordancia entre métodos se determinó por el coeficiente de correlación de concordancia (CCC) de Lin. La medición de acuerdo entre los métodos se analizó mediante el procedimiento de Bland-Altman. El % GC entre métodos fue significativamente diferente en niños ($25.2 \pm 7.5\%$ D_2O vs $19.2 \pm 9.9\%$ Tanita) y niñas ($33.0 \pm 5.2\%$ D_2O vs $29.5 \pm 7.5\%$ Tanita). La asociación entre métodos no fue significativa en niños ($R^2 = 0.69$, $p < 0.0001$) ni en las niñas ($R^2 = 0.43$, $p < 0.0001$). Los gráficos de Bland-Altman mostraron que el Tanita subestimó el % GC en 6.0% en niños y 3.5% en niñas, en comparación con D_2O . El CCC de Lin identificó una fuerza de concordancia pobre entre métodos, niños $\rho_c = 0.78$ y niñas $\rho_c = 0.81$. Con los resultados se concluye que el equipo Tanita registró baja concordancia del % GC en comparación con el D_2O en escolares costarricenses de 6 a 9 años³.

¹ Magíster en Nutrición Humana, Profesor e Investigador en el Instituto de Investigaciones en Salud, Escuela de Educación Física y Deportes.

Contacto: juan.zamorasalas@ucr.ac.cr

² Médico Internista y Doctora en Ciencias Médicas. Investigadora en el Instituto de Investigaciones en Salud.

Contacto: a_lacle@hotmail.com

³ Este estudio fue financiado por la Organización Internacional de Energía Atómica OIEA.

1. INTRODUCCIÓN

Los modernos estilos de vida cada vez más sedentarios entre los niños (Pereira et al., 2010; Piringçi, 2010) han generado la atención pública, debido al aumento de la obesidad infantil (Katzmarzyk et al., 2008). La obesidad infantil está en aumento indistintamente de la edad y de los niveles socioeconómicos y educativos (Ball et al., 2009), atribuible no solo a los países industrializados sino también a países subdesarrollados (Aballay et al., 2013). Esta condición ha incrementado el riesgo de la morbilidad junto al impacto negativo a nivel de la salud física y mental en los niños; con el agravante de convertirse en adultos obesos (Askie et al., 2010; Lee et al., 2009).

Se ha calculado que un niño obeso tiene 12.6% más probabilidad de tener diabetes mellitus y 9% de ser hipertenso que niños no obesos (Ramírez et al., 2012). Se ha reportado que el incremento del sobrepeso por tejido adiposo ocurre a partir de los seis años (Kain et al., 2009; Ogden et al., 2006) lo que también ha sido identificado en escolares costarricenses con una prevalencia del 34% (Ministerio de Educación, 2016).

Por lo anterior ha surgido un creciente interés en la medición de la composición corporal especialmente para conocer si el aumento de peso corporal se debe a la masa libre de grasa MLG o a la masa grasa MG expresada como porcentaje de grasa corporal % GC (Eissa et al., 2009; Mihanoupulos et al., 2010) y a las consecuencias adversas que representa el exceso del % GC para la salud (Madeira et al., 2013).

Se considera que el estudio de la composición corporal se aborda mejor mediante la aplicación de un modelo de múltiples componentes, en el que las mediciones de diferentes propiedades del cuerpo se combinan, sin embargo; éste método tiene un alto costo económico y por lo tanto no es adecuado a nivel de campo (de Beer et al., 2011). La técnica de dilución de óxido de deuterio D_2O es considerada como técnica de referencia para evaluar la composición corporal, la cual es inocua, no invasiva, sencilla, reproducible y puede ser utilizada directamente en trabajos de campo (Davis y Wells, 1994; Salazar et al., 1994).

Por otra parte, el Análisis de Impedancia Bioeléctrica BIA es un método relativamente barato (la inversión inicial está en la adquisición del equipo), portátil, sencillo, rápido, fácil de utilizar y no invasivo (Barbosa et al., 2005). BIA es considerado un método potencialmente más adecuado para la valoración de la composición corporal a nivel de campo no solo en adultos sino también en niños de edad preescolar y escolar (de Beer et al., 2011).

BIA se ha utilizado desde hace más de una década para el análisis de la composición corporal, sin embargo; no mide directamente la composición corporal, sino que lo hace mediante la medición de dos parámetros: la resistencia corporal y la reactancia (Barbosa et al., 2005).

BIA funciona mediante el envío de un bajo nivel de corriente eléctrica indetectable para el sujeto a través del cuerpo midiendo la impedancia Z en la conducción de los tejidos. Asume que el cuerpo es un cilindro conductor con una longitud proporcional a la altura del sujeto T y que T^2/Z es proporcional al agua corporal total ACT (Schoeller, 2000).

BIA se fundamenta en el hecho de que el tejido magro contiene un alto nivel de agua y electrolitos por lo que actúa como un conductor eléctrico y la grasa como aislante (Wells y Fewtrell, 2006), asumiendo que el ACT es una proporción fija de la MLG (73%). Una vez que se ha obtenido el valor de la MLG, la MG se calcula a partir de la diferencia con el peso corporal total (Aguado y Gómez, 2005).

Debido a la necesidad de realizar intervenciones oportunas en la prevención del sobrepeso y la obesidad en la población infantil, es necesario poseer métodos indirectos simples, de alta calidad y bajo costo que permita estimar de forma precisa la composición corporal en niños (de Beer et al., 2011).

El objetivo del presente estudio fue verificar la validez predictiva del % GC estimado por el equipo de impedancia bioeléctrica Tanita en una muestra de escolares costarricenses de 6 a 9 años, utilizando D_2O como método de referencia en el estudio de la composición corporal.

2. MÉTODO

2.1 Población

En el estudio participaron 79 escolares (40 niños y 39 niñas), provenientes de familias de estratos socioeconómicos medios con edades comprendidas entre los 6 a 9 años (7.7 ± 1.1 años) pertenecientes a tres escuelas del Área Metropolitana de la provincia de San José, Costa Rica. Entre los criterios de inclusión para la participación de los escolares en el estudio se estableció que no podían padecer alguna enfermedad crónica o alguna enfermedad aguda en el momento del estudio.

Tampoco podían participar aquellos escolares que en el momento del estudio estuvieran tomando medicamentos que podían afectar los resultados. El protocolo de estudio fue redactado siguiendo los postulados de la Declaración de Helsinki (World Medical Assembly, 2013) y aceptado por el Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica. El consentimiento informado fue firmado por todos los padres o tutores de los escolares.

2.2 Diseño y procedimientos

Estudio descriptivo transversal, cuyos participantes fueron medidos en un solo momento. Todas las mediciones fueron realizadas posterior a 12 horas de ayuno. Las mediciones se realizaron con el mínimo de ropa, siguiendo el mismo protocolo. Para la selección de medidas antropométricas, técnica e instrumental de medición se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría ISAK en su manual (Marfell et al., 2006).

El peso fue medido con una balanza electrónica portátil SECA (Hamburgo, Alemania) con capacidad de 150 kg y precisión de 0.01 kg. La talla, se midió con un estadiómetro portátil Holtain Ltd. (Dyfed, Reino Unido), con capacidad de 200 cm y precisión de 0.1 cm. Las mediciones se realizaron por duplicado y se tomó el promedio de las mediciones como el valor final a considerar. El error de medición para la talla y el peso fueron de 0.2 mm y 0.01 kg respectivamente. Con las mediciones de peso y talla se calculó el índice de masa corporal (IMC) por medio de la ecuación: $\text{peso (kg)}/\text{talla}^2 \text{ (m)}$.

2.3 Técnica de dilución de óxido de deuterio

El análisis de la composición corporal se realizó por medio de la técnica isotópica de D_2O . La técnica de D_2O permite calcular el agua corporal total ACT. El ACT permite posteriormente determinar la MLG y la MG. El ACT se midió mediante la determinación de la concentración de D_2O , de acuerdo al protocolo de Plateau, el cual considera dos puntos de medición: una muestra biológica basal previa a la ingestión del isótopo y otra muestra post dosis al final del tiempo de equilibrio del isótopo en los fluidos corporales (3.0 h) (Salazar et al., 1994). Para efectos del estudio se utilizó la saliva (2ml) como muestra biológica.

Para la recolección de la muestra basal y administración de D_2O los escolares estuvieron en ayuno de doce horas, período en el cual no realizaron actividad física vigorosa. Antes de suministrar el D_2O los escolares realizaron una micción para garantizar que la vejiga estuviera vacía. Después de la recolección de la muestra basal, se administró una dosis de 12 g de D_2O al 99% de átomo. Posteriormente a los recipientes se les agregó 20 ml de agua estéril para que los escolares la bebieran y garantizar la ingesta total de la dosis.

Durante el tiempo de equilibrio los escolares no ingirieron alimentos o bebidas. Tampoco realizaron actividad física o micción. Las muestras de saliva se recogieron utilizando torundas de algodón absorbente estéril que se introdujeron en la boca de los escolares para que se impregnaran de saliva. Posteriormente el algodón se colocó en jeringas de 10 ml y se presionaron con el émbolo para recolectar el fluido en tubos de plástico limpios con tapa de rosca. Las muestras se almacenaron a -70°C para su posterior análisis. A partir del ACT, se calculó la MLG, asumiendo los coeficientes de hidratación para niños propuestos por Fomon et al. (1998). La MG fue calculada como la diferencia entre la MLG y el peso corporal. Las muestras de saliva se analizaron usando un espectrómetro de masas de relación de isótopos HYDRA (Europe Scientific, Crewe, UK).

2.4 Porcentaje de grasa corporal estimado por impedancia bioeléctrica

Fue evaluado por medio del equipo de impedancia bioeléctrica Tanita TBF-105 NC (Tanita Corp., Tokio, Japón). Las mediciones se realizaron siguiendo las recomendaciones del fabricante. La altura, el sexo y la edad se ingresaron manualmente, mientras que el peso se registró automáticamente en el equipo. Los escolares se colocaron de pie sobre las planchas de metal del Tanita. Las mediciones se tomaron en un mismo período de tiempo cada día después del ayuno de 12 horas y sin actividad física rigurosa con el fin de reducir el error de medición. Las muestras de suciedad en las plantas de los pies de los escolares se eliminaron con toallas antisépticas húmedas. Las mediciones del % GC se calcularon mediante las ecuaciones de predicción del instrumento. Todas las mediciones proporcionadas por el equipo Tanita se tomaron en un rango de temperatura de 24° C a 34° C, rango en el cual el valor de la resistencia no se ve afectado (Garby et al., 1990).

2.5 Análisis estadístico

Se calculó la estadística descriptiva para las mediciones edad, peso, talla, IMC, % GC por D₂O y % GC por Tanita, expresadas como valores promedio \pm desviación estándar. Las diferencias entre promedios de las variables obtenidas de los niños y niñas se analizaron mediante la prueba *t* para muestras independientes. La relación entre el % GC por Tanita y el D₂O fue analizada mediante la prueba *t* para muestras relacionadas.

El sesgo entre las mediciones del % GC por Tanita y D₂O se evaluó mediante el procedimiento de Bland y Altman (1986). Para este fin, se calcularon los límites de concordancia al 95% y su precisión se evaluó con los intervalos de confianza al 95%. La exactitud individual entre Tanita y D₂O se evaluó por medio del análisis de regresión y la precisión con el valor R². El D₂O correspondió a la variable dependiente o criterio (*Y*) y Tanita fue la variable independiente o predictora (*X*).

También se calculó el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (1989) con el fin evaluar la reproducibilidad y concordancia entre Tanita y D₂O. La fuerza de concordancia de Lin (1989) fue considerada como pobre (<0.90), moderada (0.90-0.95), substancial (0.95-0.99) y casi perfecta (>0.99).

Para comparar los resultados de éste estudio con otros publicados, se calculó el error total de medición (ETM) como medida de exactitud (Lohman, 1981). La ecuación (1) utilizada para el ETM describe a *Y* el valor medido, *Y_i* el valor estimado y *n* el número de sujetos en la muestra.

$$E = \sqrt{\sum \frac{(Y - Y_i)^2}{N}} \quad (1)$$

Los datos fueron analizados utilizando los programas de estadística MedCalc versión 11.5.1 (Mariakerke, Belgium) y SPSS para Windows versión 21.0 (IBM Corporation, New York, USA). Se consideró como nivel de significancia *P* < 0.05.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra la edad, características corporales y el % GC de los escolares costarricenses, en la que los valores *P* se muestran para las comparaciones entre sexos. La prueba *t* para muestras independientes identificó diferencias estadísticamente significativas (*p*<0.05) entre los promedios de las variables edad, talla y % GC obtenido por D₂O y por Tanita en ambos sexos.

Tabla 1. Características de escolares costarricenses de 6 a 9 años.

Variable	Total (N=79) $\bar{x} \pm DS$	Niños (n = 40) $\bar{x} \pm DS$	Niñas (n=39) $\bar{x} \pm DS$	<i>P</i> ≤ 0.05
Edad (años)	7.7 \pm 1.0	7.4 \pm 0.9	7.9 \pm 1.0	0.019
Peso (kg)	29.5 \pm 7.1	28.1 \pm 7.4	30.8 \pm 6.7	0.539
Talla (cm)	126.0 \pm 6.7	124.1 \pm 5.8	127.6 \pm 7.5	0.022
IMC (kg/m ²)	18.4 \pm 2.9	18.1 \pm 3.3	18.7 \pm 2.5	0.279
% GC (D ₂ O, %)	29.0 \pm 7.6	25.2 \pm 7.5	33.0 \pm 5.2	0.001
% GC (Tanita, %)	24.3 \pm 10.2	19.2 \pm 9.9	29.5 \pm 7.5	0.001

Los resultados de los análisis estadísticos respectivos se presentan por sexo para una mejor comprensión. En los niños, el promedio (\pm DS) del % GC por D₂O fue de 25.2 ± 7.5 , en comparación con 19.2 ± 9.9 obtenido por Tanita. Las mediciones del % GC fueron significativamente diferentes mediante la prueba t.

El sesgo de Tanita fue de 6.0 ± 5.6 % GC (IC 95% = 4.2 a 7.7%), lo que indica que Tanita subestimó el % GC en comparación con D₂O. El ETM como medida de precisión fue 8.1% del % GC. El gráfico de las diferencias entre D₂O y Tanita mostradas por el procedimiento de Bland y Altman (1986) se presentan en la Figura 1.

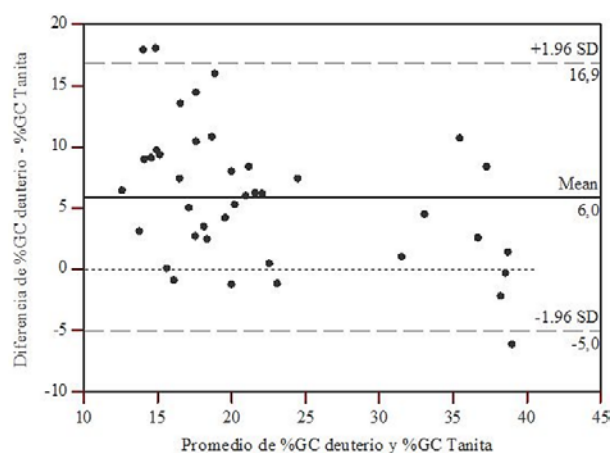


Figura 1. Límites de concordancia de Bland-Altman entre el % GC medido por óxido de deuterio y el estimado por Tanita en niños

El análisis de regresión lineal mostró que la intersección y la pendiente fueron diferentes con respecto a la línea de identidad. La precisión evaluada con el valor R^2 mostró que el % GC calculado por Tanita explicaba el 69% de la variabilidad en el % GC medido por D₂O ($R = 0.83$, $R^2 = 0.69$, $p < 0.0001$). El coeficiente de correlación de la concordancia de Lin (1989) identificó la poca fuerza del acuerdo ($\rho_c = 0.78$). En las niñas, el promedio (\pm DS) para % GC obtenido por D₂O fue 33.0 ± 5.2 , en comparación con 29.5 ± 7.5 obtenido por Tanita. Las mediciones del % GC fueron significativamente diferentes mediante la prueba t.

El sesgo de Tanita fue de 3.5 ± 5.6 % GC (IC 95% = 1.7% a 5.3%), lo que indica que Tanita subestimó el % GC en comparación con el D₂O. El ETM como medida de precisión fue de un 6.6% del % GC. El gráfico de las diferencias entre D₂O y Tanita mostradas por el procedimiento de Bland y Altman (1986) se presenta en la Figura 2.

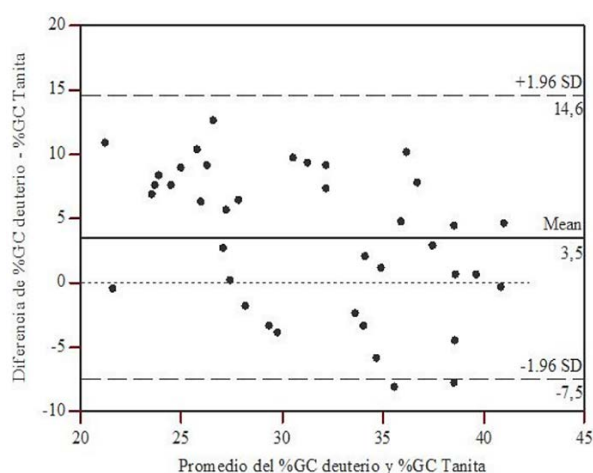


Figura 2. Límites de concordancia de Bland-Altman entre el % GC medido por óxido de deuterio y el estimado por Tanita en niñas

El análisis de regresión lineal mostró que la intersección y la pendiente fueron diferentes con respecto a la línea de identidad. La precisión evaluada con el valor R^2 mostró que el % GC calculado por Tanita explicaba el 43% de la variabilidad en el % GC medido por D₂O ($R = 0.66$, $R^2 = 0.43$, $p < 0.0001$). El coeficiente de correlación de la concordancia de Lin (1989) identificó la poca fuerza del acuerdo ($\rho_c = 0.81$).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la última década, BIA ha sido considerado un método conveniente para la medición del % GC a gran escala por ser un método útil, práctico y más preciso que el método de pliegues cutáneos (Knechtle et al., 2011; Ricciardi et al., 2007).

El presente estudio, determinó la validez predictiva del sistema Tanita TBF-105 NC para estimar el % GC en escolares costarricenses de 6 a 9 años mediante el uso del D₂O como método de referencia. En general, el Tanita subestimó el % GC en comparación al método del D₂O.

Con respecto a los límites de concordancia, éstos presentaron una amplia variabilidad en la estimación del % GC, mientras que los intervalos de confianza mostraron amplias diferencias. Ambos resultados indican que las estimaciones del % GC por medio del equipo Tanita en una muestra independiente no sería tan confiable.

Al evaluar la exactitud por medio del análisis de regresión, los valores de % GC obtenidos por Tanita no fueron exactos ni precisos, ya que el intercepto y la pendiente por Tanita y D₂O fueron diferentes de la línea de identidad.

Los valores de ETM obtenidos fueron mayores al 2% (niños 8.1% y niñas 6.6%), lo que se considera que representa una medición de exactitud individual no adecuada para % GC por sexo. Se ha considerado como adecuado porcentaje de error en la estimación del % GC a valores entre 1.5% a 2% si el método o equipo utilizado fue comparado con algún método de referencia como el D₂O (Sala et al., 2007), método utilizado en el presente estudio.

De acuerdo al ETM obtenido, el equipo Tanita no es un equipo apropiado para el cálculo del % GC en escolares costarricenses.

Tanita también mostró una pobre concordancia, precisión y exactitud al evaluarse con el coeficiente de concordancia de Lin (1989) y el método de Bland y Altman (1986). Resultados de una correlación simple (por ejemplo, Pearson) son insuficientes para apoyar la utilidad de un método ya que la concordancia entre métodos requiere otras técnicas analíticas (Carpio et al., 2016; Silva et al., 2013). Por ejemplo, la correlación del coeficiente de concordancia de Lin (1989) es una técnica necesaria para estimar la asociación entre dos métodos de medición. Esta técnica combina la precisión y exactitud para determinar en qué medida los datos observados de ambos métodos se desvían de un acuerdo perfecto, así como su reproducibilidad (Bergman et al., 2011; Carpio et al., 2016; Silva et al., 2013). Por otra parte, el método de Bland-Altman también proporciona información sobre el acuerdo o desacuerdo entre los diferentes métodos de medición (Bergman et al., 2011; Bland y Altman, 1986; Zhang et al., 2014). Técnicas analíticas que se incluyeron en este estudio.

Aunque en el presente estudio se controlaron diversos aspectos, los cuales se consideran fortalezas metodológicas tales como:

1. Utilizar una mayor muestra de niños que en la de otros estudios de validación (de Beer et al., 2011; Prins et al., 2008; Resende et al., 2011).
2. Rango de edad homogéneo lo que ha sido recomendado anteriormente (de Beer et al., 2011; Prins et al., 2008), ya que rangos amplios de edad o muestras heterogéneas podrían involucrar presumiblemente un variado estado de pubertad, período en que se producen cambios en la longitud de miembros y el patrón de MG afectando los resultados de validación.
3. Mediciones de BIA tomadas en un rango de temperatura de 24°C a 34°C, en el cual el valor de resistencia no es afectado (Garby, 1990).
4. No permitir a los niños realizar actividad física durante el estudio ya que provocaría el aumento del cociente respiratorio y salida de vapor de agua total (respiratoria y sudor) que en teoría induce una sobreestimación del ACT.

5. Registrar la excreción de orina producida por algún escolar durante el período de equilibrio, ya que la pérdida del trazador durante el período de equilibrio por la excreción de orina causaría una inadecuada medición del ACT; los resultados mostraron que el Tanita como método es poco confiable para ofrecer estimaciones de grasa corporal.

Se ha identificado que los equipos BIA pie-pie son menos precisos que los equipos BIA mano-pie, ya que subestiman el % GC, como lo identificado en el presente estudio, resultados que mostraron coherencia con estudios previos en niños (Haroun et al., 2009; Lazzer et al., 2008).

Una posible explicación de la falta de validez predictiva del Tanita es que la ecuación de predicción incorporada en el sistema Tanita se basa en poblaciones caucásicas, que pueden diferir en la composición corporal en comparación con la población en estudio.

Además, las ecuaciones incorporadas en el sistema Tanita utilizan factores de hidratación con base a valores de adultos al convertir el ACT en MLG. Este valor de 73,5% para los adultos se ha demostrado que es más bajo que el observado en niños y esto produciría una subestimación del % GC en la población infantil (Lohman, 1981).

5. CONCLUSIONES

La estimación del % GC por el equipo BIA Tanita comparado con los resultados obtenidos por el método del D₂O no fue precisa ni exacta en escolares costarricenses de 6 a 9 años. Además, se recomienda tener precaución al usar equipos BIA o cualquier otro método indirecto para estimar el % GC, ya que puede subestimar o sobreestimar el % GC en escolares.

Respecto a los resultados del estudio es importante señalar que éstos pueden generalizarse a niños con las mismas características, pero se requieren de otros trabajos que soporten la validez del Tanita en escolares de otras edades. En el presente estudio solo se incluyó niños a partir de los 6 años debido a la limitación de la versión del software del equipo para estimar de forma confiable el % GC en niños de menor edad.

Se recomienda que se realicen procesos de validación de equipos BIA en la población pediátrica costarricense para establecer su exactitud mientras continúen surgiendo nuevos modelos.

REFERENCIAS

- Aballay, L., Eynard, A.R., Díaz, M.P. et al. (2013). Overweight and Obesity: The Relationship to metabolic syndrome, cardiovascular disease, and cancer in South America. *Nutrition Reviews* 71 (3), 168-179.
- Aguado, S. y Gómez, L. (2005). Body composition: Evaluation methods. *European Journal of Anatomy*, 9 (2), 117-124.
- Askie, L., Baur, L., Campbell, K. et al. (2010) The early prevention of obesity in children (Epoch) collaboration an individual patient data prospective meta-analysis. *BMC Public Health* 10, 728-736.
- Ball, K., Cleland, V., Timperio, A., Salmon, J. y Crawford, D. (2009). Socioeconomic position and children's physical activity and sedentary behaviors: longitudinal findings from the CLAN study. *Journal of Physical Activity and Health* 6(3), 289-298.
- Barbosa-Silva, M., Barros, A., Wang, J., Heymsfield, S. y Pierson, R. (2005). Bioelectrical impedance analysis: Population reference values for phase angle by age and sex. *American Journal of Clinical Nutrition* 82, 49-52.
- Bergman, R.N., Stefanovski, D., Buchanan, T.A. et al. (2011). A better index of body adiposity. *Obesity* 19, 1083-1089.
- Bland, J.M. y Altman, D.G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307-310.
- Carpio, E., Hernández, J., Salicetti, A., Solera, A. y Moncada, J. (2016). Predictive validity of the body adiposity index in Costa Rican students. *American Journal of Human Biology*, 28(3), 394-397.
- Davis, P. y Wells, J. (1994). Calculation of total body water in infancy. *American Journal of Clinical Nutrition* 48, 490-495.
- de Beer, M., Timmersa, T., Weijds, P. y Gemke, R. (2011). Validation of total body water analysis by bioelectrical impedance analysis with deuterium dilution in (pre)school children. *European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism* 6, 223-226.
- Eissa, M., Dai, S., Mihalopoulos, N. et al. (2009). Trajectories of Fat mass Index, Fat Free-Mass Index, and Waist Circumference in Children Project HeartBeat! *American Journal of Preventive Medicine* 37, 43-49.
- Fomon, S., Haschke, F., Ziegler, E.E. y Nelson, S.E. (1998). Body composition of reference children from birth to age 10 years. *American Journal of Clinical Nutrition* 35, 1169-1175.

- Garby, L., Lammert, O. y Nielsen, E. (1990). Negligible effects of previous moderate physical activity and changes in environmental temperature on whole body electrical impedance. *European Journal of Clinical Nutrition* 44, 545-556.
- Haroun, D., Taylor, S., Viner, R. et al. (2010). Validation of Bioelectrical Impedance Analysis in Adolescents Across Different Ethnic Groups. *Obesity* 18, 1252-1259.
- Kain, J., Corvalán, C., Lera, L., Galván, M. y Uauy, R. (2009). Accelerated growth in early life and obesity in preschool Chilean children. *Obesity* 17, 1603-1608.
- Katzmarzyk, P.T., Baur, L.A., Blair, S.N. et al. (2008). Summary statement and recommendations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 33, 371-388.
- Knechtle, B., Wirth, A., Knechtle, P., Rosemann, T., Rust, C. y Bescos, R. (2011). A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutrición Hospitalaria* 26(6), 1420-1427.
- Lizzer, S., Bedogni, G., Agosti, F., De Col, A., Mornati, D. y Sartorio, A. (2008). Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in severely obese Caucasian children and adolescents. *British J. of Nutrition* 100, 918-924.
- Lee, O. y McCargar, L. (2009). Prevention of overweight and obesity in children under the age of 6 years. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 34, 551-570.
- Lin, L. (1985). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45, 255-268.
- Lohman, T. (1981). Skinfolds and body density and their relation to body fatness: A review. *Human Biology* 53, 181-225.
- Madeira, F.B., Silva, A.A., Veloso, H.F. et al. (2013). Normal weight obesity is associated with metabolic syndrome and insulin resistance in young adults from a middle-income country. *PloS One* 8(3), 660-673.
- Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A. y Carter, L. (2006). *International standards for anthropometric assessment*. Potchefstroom.
- Mihanoupolos, N., Holubkova, R., Young, P., Dai, S. y Labarthe, D. (2010). Expected Changes in Clinical Measures of Adiposity during Puberty. *Journal of Adolescent Health* 47, 360-366.
- Ministerio de Educación Pública. (2016). Informe Ejecutivo Censo Peso/Talla. Recuperado: <http://www.mep.go.cr/sites/default/files/page/adjuntos/informe-ejecutivo-censo-escolar-peso-cortofinal.pdf>
- Ogden, C.L., Carroll, M.D., Curtin, L.R. et al. (2006). Prevalence of Overweight and Obesity in the United States, 1999-2004. *JAMA* 295, 1549-1555.
- Pereira, A.P., Seabra, T.A., Silva, G.R. et al. (2010). Prevalence of Overweight, Obesity and Physical Activity Levels in Children from Azores Islands. *Annals of Human Biology* 37(5), 682-691.
- Pirinçci, E., Durmus, B., Gündoğdu, C. y Açı, Y. (2010). Prevalence and Risk factors of Overweight and Obesity among Urban School Children in Elazığ City (Eastern Turkey, 2007). *Annals of Human Biology* 37(1), 44-56.
- Prins, M., Hawkesworth, S., Wright, A., Fulford, A. et al. (2008). Use of bioelectrical impedance analysis to assess body composition in rural Gambian children. *European Journal of Clinical Nutrition* 62, 1065-1074.
- Ramírez, E., Valencia, M., Bourges, H., Espinoza, T. et al. (2012). Body composition prediction equations based on deuterium oxide dilution method in Mexican children: a national study. *European Journal of Clinical Nutrition* 66, 1099-1103.
- Resende, C.M., Camelo, J.S., Vieira, M.N. et al. (2011). Body composition measures of obese adolescents by the deuterium oxide dilution method and by bioelectrical impedance. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 44(11), 1164-1170.
- Ricciardi, R. y Talbot, L. (2007). Use of bioelectrical impedance analysis in the evaluation, treatment, and prevention of overweight and obesity. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners* 19 (5), 235-241.
- Sala, A., Webber, C.E., Morrison, J., Beaumont, L.F. y Barr, R.D. (2007). Whole-Body Bone Mineral content, Lean Body Mass, and Fat mass Measured by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in a Population of Normal Canadian Children and Adolescents. *Canadian Association of Radiologists Journal* 58, 46-52.
- Salazar, G., Infante, C. y Vio, F. (1994). Deuterium equilibration time in infant's body water. *European Journal of Clinical Nutrition* 48, 475-481.
- Schoeller, D. (2000). Bioelectrical impedance analysis. What does it measure? *Annals of the New York Academy of Sciences* 904, 159-162.
- Silva, M.I., Vale, B.S., Lemos, C.C., Torres, M.R. y Bregman, R. (2013). Body adiposity index assess body fat with high accuracy in nondialyzed chronic kidney disease patients. *Obesity* 21, 546-552.
- Wells, J. y Fewtrell, M. (2006). Measuring body composition. *Archives of Disease in Childhood* 91, 612-617.
- World Medical Assembly. (2013). *Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research on Human Beings*. 64th General Assembly.
- Zhang, Z.Q., Liu, Y.H., Xu, Y. et al. (2014). The validity of the body adiposity index in predicting percentage body fat and cardiovascular risk factors among Chinese. *Clinical Endocrinology* 81, 356-362.

Estabilidad a pH y temperatura de proteasas producidas por bacterias aisladas de sedimento marino

Nélida Milly Otiniano García¹

Santiago Benites Castillo²

Jessica Vicuña Villacorta³

Helí Miranda Chávez⁴

Heber Robles Castillo⁵

¹⁻³ Universidad César Vallejo

⁴ Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

⁵ Universidad Nacional de Trujillo
Perú

Se evaluó la estabilidad frente a pH y temperatura de proteasas producidas por tres cepas del género *Bacillus* aisladas de sedimento marino del balneario de Huanchaco, Trujillo, Perú. La selección primaria de bacterias productoras de proteasas se realizó por siembra en placas con agar Caseína Almidón y agar leche al 1%, seleccionándose tres cepas con halo de hidrólisis mayor o igual a 3 mm. Las bacterias fueron identificadas como *Bacillus* spp, usando el sistema API 50 CHB y VITEK 2. La producción de proteasas se realizó en medio líquido suplementado con caseína, en un biorreactor de tanque aireado y agitado. Las enzimas se extrajeron por filtración y centrifugación a 10 000 rpm a 4°C durante 15 minutos. El filtrado se precipitó con sulfato de amonio y se centrifugó a 10 000 rpm durante 15 min., el pellet se disolvió en 0,1 M de fosfato tampón, pH 7 y se dializó durante 16 horas. Para evaluar la estabilidad al pH, se emplearon tampones de citrato (pH 5), fosfato 0,1 M (pH 7), y Tris 0,1 M (pH 9). La actividad de la proteasa se midió por espectrofotometría a 440 nm., utilizando caseína 1% como sustrato. Las proteínas residuales se determinaron por la técnica de Biuret, y se calculó la cantidad de proteína hidrolizada en mg/mL. Se siguió el mismo procedimiento para evaluar la estabilidad de las proteasas a la temperatura, incubando la mezcla enzima sustrato en el rango de temperaturas de 20 a 60°C. Para el análisis de datos, se aplicó la prueba de ANOVA y comparaciones múltiples HSD Turkey para alfa = 0,05. Se observó que la proteasa producida por la cepa de *Bacillus* spp M1B-PB, es estable a pH 5, 7 y 9 y en el rango de temperatura de 30 a 60°C. Las proteasas producidas por la cepa M1A-PA son estables a pH 7 y 9 y en el rango de temperatura de 40 a 60°C. Las proteasas producidas por la cepa M1B-PA no son estables a los cambios de pH, pero presentan estabilidad en el rango de temperatura de 40 a 60°C.

¹ Contacto: notiniano@ucv.edu.pe

² Contacto: sbenites@ucv.edu.pe

³ Contacto: jvicuna@ucv.edu.pe

⁴ Contacto: amiranda@uct.edu.pe

⁵ Contacto: hrobles@unitru.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Se proyecta que el mercado mundial de enzimas crecerá de \$ 5.01 mil millones en 2016 a \$ 6.32 mil millones en 2021 (Chapman et al., 2018). El mercado de enzimas industriales se valoró en más de USD 6300 millones en 2020 y se proyecta que el mercado registre una tasa compuesta anual de más del 6% durante el período de pronóstico (2021-2026). Además, el procesamiento de alimentos domina el mercado de las enzimas industriales con una participación total de más del 35%. Este es el segmento de aplicaciones de más rápido crecimiento, apoyado principalmente por la población mundial en constante crecimiento y su creciente poder adquisitivo. La conciencia sobre la salud también es un factor para la creciente demanda de calidad alimentaria, procesamiento productivo más seguro y valor nutricional mejorado (Mordor intelligence, 2020).

Las proteasas constituyen uno de los grupos más grandes de enzimas hidrolíticas y representan aproximadamente el 65% de las enzimas industriales más vendidas a nivel mundial (Ibrahim et al., 2015; Jisha et al., 2013), estas enzimas catalizan la hidrólisis de proteínas por ruptura de los enlaces peptídicos entre los residuos de aminoácidos de otras proteínas (Ibrahim et al., 2015). Entre todas las enzimas, las proteasas ocupan un lugar muy importante, pues fueron las primeras en ser producidas a granel (Cui et al., 2015). Las fuentes de proteasas son diversas, éstas son producidas por plantas, animales y microorganismos, siendo las proteasas bacterianas las que han sido más explotadas con fines comerciales (Haddar et al., 2010; Wang et al., 2012).

Las proteasas microbianas constituyen aproximadamente el 40% de la producción mundial de enzimas (Ibrahim et al., 2015). Se prefiere la producción de proteasas microbianas debido a su naturaleza extracelular (Hakim et al., 2018), bajo costo de producción, y a que son relativamente más estables y activas que las proteasas animales y vegetales (Bhandari et al., 2021; Cui et al., 2015). En el mercado de las enzimas, se han reportado más de 3000 enzimas microbianas extracelulares diferentes (Cui et al., 2015). Dependiendo de la especie o de la cepa, los microorganismos producen una variedad de proteasas, entre las que se encuentran las proteasas neutras y alcalinas, que tienen un potencial de aplicación excelente en la industria de detergentes y curtido de cuero (Jisha et al., 2013). Las enzimas microbianas son biocatalizadores que pueden ser utilizados como una alternativa en los procesos químicos industriales (Sirvas et al., 2021), ya que en la actualidad existe una tendencia a desarrollar tecnologías limpias para proteger el ambiente.

En función de la posición de escisión de los enlaces peptídicos, las proteasas se clasifican en exopeptidasas (aminopeptidasas y carboxipeptidasas) y endopeptidasas (serina, cisteína, aspártica, metalo, treonina, endopeptidasas glutámicas y péptido liasas de asparagina). De acuerdo al pH, las proteasas pueden ser alcalinas, neutras y ácidas. Entre ellas, las proteasas alcalinas son muy importantes en la industrias ya que tienen la capacidad de soportar condiciones de pH más altas (Saggu y Mishra, 2017).

Las serín proteasas alcalinas constituyen el grupo más dominante de enzimas producidas por bacterias, mohos y levaduras (Jisha et al., 2013). Las proteasas alcalinas con alta actividad y estabilidad en un amplio rango alcalino, tienen varias aplicaciones en biotecnología y bioingeniería. Sin embargo, su aplicación principal está en la industria de detergentes, lo que representa aproximadamente el 30% del total de la producción de enzimas. Además, tienen otras aplicaciones entre las que se incluyen en la industria del cuero, farmacéutica (Saggu y Mishra, 2017), procesamiento de proteínas, alimentos como quesos, bebidas y panadería, reactivos de diagnóstico, síntesis de péptidos, recuperación de plata de las placas de radiografías (Coker, 2016; Ibrahim et al., 2015) y en varios procesos de biorremediación (Bhandari et al., 2021; Cui et al., 2015; Hakim et al., 2018; Jisha et al., 2013).

Estas enzimas también pueden utilizarse para resolver problemas ambientales reduciendo el impacto causado por los residuos generados en algunas actividades de la industria acuícola como la producción de camarones, que si bien es cierto provee de una proteína muy rica para el consumo humano, las granjas camaroneras también generan una gran cantidad de residuos de caparazón, que pueden representar hasta el 48 – 56% del peso crudo del camarón, que si no se dispone correctamente podría generar un problema de contaminación. El empleo de enzimas microbianas específicas para manejar este problema podría ser un interesante logro muy amigable para el ambiente (Sirvas et al., 2021).

Existe una amplia gama de microorganismos productores de proteasas entre los que se incluyen bacterias, mohos y levaduras; sin embargo, se prefiere trabajar con bacterias porque presentan una extensa diversidad bioquímica, crecen rápidamente, necesitan menos espacio, los cultivos pueden mantenerse fácilmente y son más accesibles a manipulaciones genéticas. Las especies de bacterias importantes para la producción de proteasas son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Halomonas*, *Arthrobacter* y *Serratia*. Entre todas las especies bacterianas, los *Bacillus spp.* desempeñan un papel preponderante debido a su capacidad de secretar un alto nivel de proteasa alcalina y a sus características químico organotróficas (Cui et al., 2015), por lo que son los microbios mayoritariamente explotados comercialmente para la producción de proteasas (Razzaq et al., 2019).

En la actualidad, se está prestando mucha atención a los microorganismos marinos, ya que se ha visto que producen una amplia gama de enzimas que son relativamente más estables y activas que las enzimas derivadas de plantas o animales y tendrían más ventajas que las enzimas tradicionales, así, mientras las serín proteasas alcalinas de otras fuentes son activas en un amplio rango de temperatura (de 35 – 80°C) y pH (de 7 – 12), las proteasas producidas por bacterias marinas tienen actividad y estabilidad significativas a pH y temperaturas altos (Cui et al., 2015).

El estudio de las proteasas termoestables es importante para los sectores biotecnológico e industrial debido a su estabilidad frente a agentes desnaturizante y químicos. Casi el 65% de las proteasas industriales se aíslan de fuentes microbianas marinas y pueden resistir una amplia gama de disolventes orgánicos a altas temperaturas. El rasgo más importante de los organismos marinos es su adaptabilidad, lo que les permite crecer de manera óptima en entornos hostiles como el alto contenido de sal, altas temperaturas y presiones, características de las aguas termales, de aguas profundas y los sedimentos geotérmicos (Barzkar et al., 2018).

Muchos investigadores se han interesado por estudiar la producción de proteasas termoestables, así Ahmad et al. (2020) trataron de optimizar las condiciones para lograr un alto nivel de producción de proteasa de *Geobacillus* SBS-4S, y encontraron que al suplementar el medio de cultivo con 2% de extracto de levadura o 5% de salvado de trigo, se aumentó la producción de proteasa de 10.6 a 24.4 U / mL o 34.5 U / mL respectivamente. Así mismo, observaron que en condiciones óptimas podrían producir 46,2 U / mL de proteasa. La actividad máxima de la enzima se logró a 60°C y pH 9,0. Los estudios de termoestabilidad demostraron que la proteína era estable con un 50% de actividad residual después de una incubación de 2 horas y 25 min a 60°C en presencia de Mn^{2+} + 1 mM. Los estudios cinéticos demostraron los valores de K_m y V_{max} de 16,67 mg / mL y 143 U / m., respectivamente. Concluyeron que la estabilidad de la proteasa se logra en un amplio rango de pH y temperatura lo que hace que esta enzima sea adecuada para su utilización en la industria de alimentos para aves y detergentes.

Si et al. (2018), purificaron y caracterizaron una proteasa microbiana producida extracelularmente por *Bacillus subtilis* FBL-1. Para la purificación, realizaron la precipitación del caldo de fermentación con sulfato de amonio. Observaron que aunque la proteasa purificada mostró la actividad más alta a 45°C y pH 9,0, la actividad permaneció estable en el rango de temperatura de 30 a 50°C y el rango de pH de 7,0 a 9,0. La proteasa fue activada por iones metálicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} y K^{+} , pero Fe^{3+} 10 mM inhibió significativamente la actividad enzimática (53%). La actividad proteasa fue inhibida por EDTA 2 mM como inhibidor de metaloproteasas, pero mostró buena estabilidad frente a tensioactivos y disolventes orgánicos.

Hou et al. (2017), purificaron y caracterizaron una proteasa alcalina secretada por *Micrococcus* NH₅4PCO₂ aislada del Mar de China Meridional. La proteasa se purificó con 3 pasos que incluían precipitación con sulfato de amonio, cromatografía de intercambio iónico y cromatografía hidrófoba con un aumento de 8,22 veces en la actividad específica y un aumento del 23,68% en la recuperación. La masa molecular de la proteasa se estimó en 25 kDa mediante análisis SDS-PAGE. La temperatura y el pH óptimos para la actividad de la proteasa fueron 50°C y pH 10,0, respectivamente. La proteasa mostró una fuerte estabilidad en una amplia gama de valores de pH que oscilaban entre 6,0 y 11,0 y mantuvo una actividad enzimática del 90% en un entorno alcalino fuerte con un pH de 11,0.

Por otro lado, Salem et al. (2016), evaluaron a *Bacillus licheniformis* RBS 5 termofílico, aislado de una fuente termal Tunecina, que produce alfa amilasa y proteasa alcalina termoestables. La alfa amilasa fue estable en el rango de 45 a 70°C después de 30 minutos de incubación y en el rango de pH de 8 a 10 y mostró una actividad de α -amilasa óptima a aproximadamente 65°C y en un amplio intervalo de pH que oscilaba entre 4 a 9. La actividad de la proteasa fue estable hasta los 60°C en un rango de pH de 10 a 12, y alcanzó su actividad óptima a 80°C, pH 12. Así mismo, observaron que el EDTA a una concentración de 5 mM reduce ligeramente ambas actividades y, que los iones catiónicos (Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mg^{2+}) tienen un efecto de inhibición sobre la α -amilasa. Sin embargo, la actividad proteasa fue potenciada por Ca^{2+} , Cu^{2+} y Mg^{2+} ; los otros cationes reducen ligeramente la actividad proteolítica. SDS y H_2O_2 actuaron como inhibidores de ambas actividades, mientras que Triton X-100 y el perfume no tuvieron ningún efecto. Estas características hacen que la actividad de la proteasa de *B. licheniformis* RBS 5 sea muy eficiente para su uso en la industria de detergentes.

EL-Eskafy et al. (2016), aislaron una bacteria marina de la región del Mar Rojo en Egipto que fue capaz de producir proteasas termoestables, esta bacteria fue identificada morfológica, bioquímica y molecularmente por secuenciación de ARNr 16S con un 98% de similitud con *Bacillus amyloliquefaciens*. Las enzimas presentaron una actividad óptima de 363,4 U / mL a 65°C y pH 7 durante diez minutos. Se observó que tanto el sulfato de amonio como los métodos de purificación con Sephadex G-100 redujeron la actividad específica a 256,4 y 153,4 U / mL. Sin embargo, la actividad aumentó 3.8 veces cuando se usó Tween-80 como tensioactivo. Se analizaron los antecedentes genéticos de los genes de proteasa en *Bacillus amyloliquefaciens* utilizando una base de datos bioinformática y se determinó que *Bacillus amyloliquefaciens* tiene cinco diferentes genes de proteasa que codifican varios grupos de familias de peptidasas, esta variación en la familia de las peptidasas proporciona a las proteasas muchas características que las hacen capaces de permanecer activas bajo diversas condiciones ambientales. La enzima producida mostró una buena actividad entre 65°C y 85°C. Mientras que la adición de metal iones inhibieron la actividad enzimática.

El rasgo más importante de los organismos marinos es su adaptabilidad, lo que les permite crecer de manera óptima en entornos hostiles como el alto contenido de sal, temperaturas y presión, casi el 65% de las proteasas industriales se aíslan de fuentes microbianas marinas y se ha observado que éstas pueden resistir significativamente una amplia gama de disolventes orgánicos a altas temperaturas, lo que las hace muy importantes en los sectores biotecnológico e industrial (Barzkar et al., 2018).

La importancia económica de las enzimas microbianas radica en que pueden aplicarse en diversas tecnologías que emplean procesos ecológicos. Los microorganismos son fáciles de cultivar en biorreactores bajo condiciones de crecimiento controlables, tales como, pH, temperatura, aireación, composición del medio y otros parámetros, lo que conduce y asegura una alta reproducibilidad. Lo que no ocurre con las enzimas aisladas a partir de plantas y animales, las cuales presentan una serie de limitaciones como la composición del suelo, la incidencia de luz, la homogeneidad de las semillas, el control de patógenos y otros problemas que dificultan la reproducibilidad de estos procesos, y los hacen más costosos.

Teniendo en cuenta los antecedentes favorables sobre la estabilidad de las enzimas producidas por microorganismos marinos, y su potencial de aplicación en múltiples procesos industriales, es que se plantea esta investigación con la finalidad de obtener enzimas proteolíticas estables a pH y temperatura que más adelante puedan ser utilizadas en diversas industrias. Por ello, la presente investigación se realizó con el principal objetivo de evaluar la estabilidad a pH y temperatura de proteasas producidas por bacterias aisladas de sedimento marino del balneario de Huanchaco, Trujillo, Perú.

2. MÉTODO

2.1 Tipo de estudio y diseño de investigación

Se realizó un estudio cuantitativo, pre experimental y se trabajó con sedimento marino obtenido a 5 metros de profundidad de la costa de Huanchaco, Trujillo, La Libertad, Perú. Ubicado a una latitud de -8.08, Longitud: -79.1206 8° 4' 48" Sur, 79° 7' 14" al oeste. Latitud S8°0' 2.92.

2.2 Colección de muestras marinas

Se colectaron cinco muestras de sedimento a cinco metros de profundidad, en bolsas de polipropileno de primer uso, las muestras recogidas se rotularon teniendo en cuenta los siguientes datos: Temperatura, lugar, hora, fecha, ubicación con GPS. Luego se empacaron en cadena de frío y se trasladaron al laboratorio del Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad César Vallejo, para su procesamiento.

2.3 Aislamiento de microorganismos marinos

Las muestras recolectadas fueron diluidas en series decimales en agua de mar natural estéril, hasta 10^{-5} . A partir de las diluciones se extrajo una alícuota de 0,1 mL de suspensión y se sembró por superficie en placas de agar caseína de almidón (SCA) que contiene: 10g de almidón soluble, 0,3 g de caseína libre caseína de vitaminas, 2 g de KNO_3 , 2 g de NaCl , 2 g de K_2HPO_4 , 0,05g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,02 de CaCO_3 , 0.01 de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 g de agar en 1L de agua de mar natural estéril a $\text{pH } 7.0 \pm 0.2$. Además, se agregó cicloheximida a concentración de 50 $\mu\text{g/mL}$ para minimizar la contaminación. Luego, las placas fueron incubadas a temperatura ambiental ($20 \pm 2^\circ\text{C}$).

Las bacterias aisladas se subcultivaron en SCA para determinar su pureza, y características como tamaño, forma y crecimiento, pigmentación y producción de exopolisacáridos (EPS), durante 3-5 días para lograr una buena esporulación.

2.4 Selección primaria de producción de proteasas

Todas las bacterias aisladas fueron seleccionadas para la producción de proteasas utilizando agar con 2% de leche, las placas se incubaron a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$). Después de 48 horas, las placas fueron examinadas para ver zonas claras de lisis alrededor de las colonias. Los microorganismos que presentaban halo de hidrólisis de 3 mm alrededor de las colonias fueron seleccionados para proceder a su identificación.

2.5 Identificación de microorganismos:

Los microorganismos se identificaron de acuerdo a sus características morfológicas, tintoriales y pruebas bioquímicas según el manual de Bergey (Garrrity et al., 2010), y utilizando el sistema API 50 CHB y el sistema VITEK 2 Biomeriux para identificación de bacterias gran positivas.

2.6 Producción de proteasas en medio líquido

Para estimular la producción de proteasas por los cultivos, se prepararon dos medios diferentes: el caldo de producción de proteasas (PPB) que contiene: (g / L) peptona 10g, sacarosa 10g, K_2HPO_4 0,5g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,5g, NaCl 0,5g, CaCl_2 0,5g a $\text{pH } 7$ y el caldo malta extracto de levadura (MYEB) que contiene: (g / L) maltosa 10g, extracto de levadura 2g, extracto de carne 1g, a $\text{pH } 7$ (Ramesh et al., 2009). Los medios fueron agregados a biorreactores de tanque aireado y agitado a 120 RPM, se inocularon con los cultivos aislados y se incubaron a T° ambiental ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) durante 24-48 horas.

2.6.1 Preparación de los cultivos

Después del crecimiento en el medio líquido respectivo por el tiempo requerido, los cultivos fueron sembrados en tubos con Agar leche 2% para el ensayo cualitativo de la actividad proteolítica.

2.6.2 Ensayo cualitativo de las proteasas y selección primaria

Se prepararon placas Petri con agar leche al 2%, luego, se sembró cada cultivo aislado por puntura y se incubó a temperatura ambiental ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) durante 24 a 48 horas, después de este tiempo, se visualizó la actividad de la enzima por la presencia de zonas claras alrededor de las colonias de bacterias, producidas por la hidrólisis de la caseína de la leche, luego se procedió a medir el diámetro de la zona de hidrólisis con una regla Bernier.

2.6.3 Producción y separación de la proteasa a partir del medio de cultivo

Se sembró cada uno de los cultivos en medio líquido suplementado con caseína, y se colocaron en biorreactor de tanque aireado y agitado durante 48 horas, luego para separar las células bacterianas, primero se filtró a través del papel de filtro Whatman N° 1 y el líquido filtrado se centrifugó a 10 000 rpm a 4°C durante 15 min. Al filtrado se le agregó sulfato de amonio hasta un 85% de saturación con agitación intermitente en agitador orbital, y posteriormente se mantuvo con agitación suave durante 8 horas utilizando un agitador magnético (Ramesh et al., 2009).

2.6.4 Purificación parcial de la enzima

Para separar la proteína del medio de cultivo, se centrifugó a 10 000 rpm durante 20 min y el pellet obtenido se disolvió en 0,1 M de fosfato tampón pH 7, luego se dializó en el mismo tampón durante 16 horas. Esta enzima parcialmente purificada fue reservada a -20°C para los ensayos de estabilidad. Todo el procedimiento de purificación se realizó a 4°C para evitar la desnaturalización de la enzima (Mathew y Gunathilaka, 2015; Ramesh et al., 2009).

2.7 Evaluación de la estabilidad de la enzima frente al pH

En tubos de ensayo rotulados con los diferentes pH, se colocó 50 uL de la enzima parcialmente purificada se llevó a 0,5 mL con diferentes tampones de pH y se agregaron 0,5 mL de caseína al 1%. Los tampones utilizados para diferentes pH fueron: 0,1 M de tampón de citrato (pH 5), tampón de fosfato 0,1 M (pH 7) y Tris 0,1 M tampón (pH 9) (Ramesh et al., 2009). Las mezclas de enzima y sustrato se incubaron a temperatura ambiente durante 60 minutos, luego, la reacción se paralizó añadiendo 1 mL de TCA al 10%. La actividad de la proteasa se midió por espectrofotometría a 440 nm. Para la determinación de proteínas residuales se empleó la técnica de Biuret, luego por diferencia con la concentración inicial de caseína, se calculó la cantidad de proteína hidrolizada en mg/mL.

2.8 Evaluación de la estabilidad de la enzima frente a la temperatura

Se colocaron varias alícuotas de 50 uL de la enzima parcialmente purificada en tubos de ensayo debidamente rotulados y se llevaron hasta un volumen de 0,5 mL con agua destilada estéril, luego se agregó 0,5 mL de caseína al 1%. La enzima y las mezclas de sustrato se incubaron a diferentes temperaturas (20-60°C). Después de 60 minutos, la reacción se terminó agregando 1 mL de TCA.10%, luego, se ensayó la actividad de la proteasa como se describió anteriormente para determinar la estabilidad al pH (Ramesh et al., 2009).

2.9 Métodos de análisis de datos

De cada uno de los cultivos evaluados, se calcularon los promedios de proteína hidrolizada en mg/mL obtenida a diferentes valores de temperatura, luego se realizaron pruebas de normalidad y posteriormente se aplicó la prueba de ANOVA para comparar los promedios de proteína hidrolizada obtenida en las diferentes temperaturas, se siguió el mismo procedimiento para los ensayos de estabilidad al pH. También se realizaron pruebas de comparaciones múltiples HSD Tukey para determinar los subconjuntos homogéneos para alfa = 0.05.

3. RESULTADOS

3.1 Selección primaria de microorganismos productores de proteasas

Se aislaron doce cepas de microorganismos con capacidad proteolítica, de allí se procedió a la medición de los halos de hidrólisis (Figura 1), y seleccionaron las tres cepas que presentaron el mayor halo de hidrólisis de proteínas, que se presentan en la Tabla 1, en donde se puede observar que la cepa de *Bacillus* spp M1B-PA es la que presenta el halo de hidrólisis mayor.

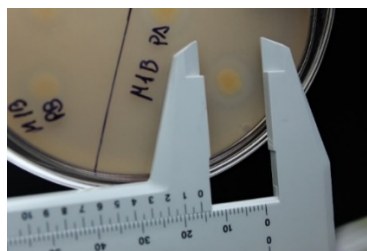


Figura 1. Medida de los halos de degradación de proteínas por *Bacillus* spp aislados de sedimento marino del balneario de Huanchaco

Tabla 1. Diámetro promedio del halo de degradación de proteínas por tres cepas de *Bacillus* spp. aislados de sedimento marino del balneario de Huanchaco

Código	Género	24 horas		48 horas	
		Diámetro colonia (mm)	Diámetro del halo (mm)	Diámetro colonia (mm)	Diámetro del halo (mm)
M1A-PA	<i>Bacillus</i>	1	3	2	5
M1B-PA	<i>Bacillus</i>	2	7	6	12
M1B-PB	<i>Bacillus</i>	2	6	5	8

En la coloración Gram se observó bacilos gran positivos esporulados (Figura 2), con características morfológicas y bioquímicas acordes al género *Bacillus*. No se pudo determinar la especie, pues al parecer, como se trata de bacterias marinas aún no están tipificadas en los estándares de las pruebas utilizadas de API 50 CHB y VITEK 2.

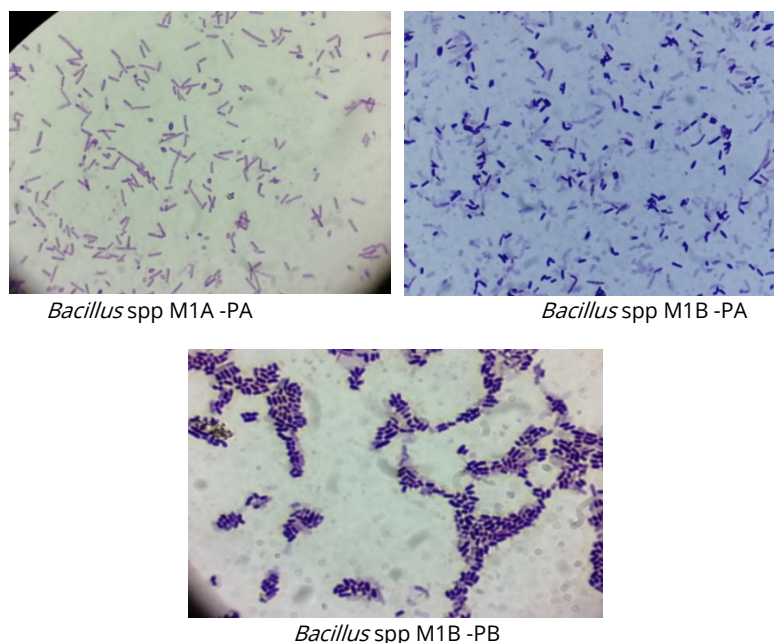


Figura 2. Bacterias del género *Bacillus* productoras de proteasas, aisladas de sedimento marino del balneario de Huanchaco. Trujillo. Observación con tinción Gram y a 1000x

3.2 Evaluación de la estabilidad de las proteasas frente al pH y temperatura

En la Tabla 2 se presentan los promedios de proteína hidrolizada por las proteasas producidas por las tres cepas de *Bacillus* spp, los cuales fueron comparados mediante la prueba de ANOVA, y se obtuvo una significancia igual a 0.00, lo que indica que existe diferencia en por lo menos uno de los promedios de proteína hidrolizada obtenidos al evaluar la actividad hidrolítica frente a diferentes valores de pH.

En la Tabla 3, la prueba de comparaciones múltiples HSD Tukey, muestra los subconjuntos homogéneos, de los promedios de proteína hidrolizada obtenidos en los ensayos con diferentes valores de pH, que no presentan diferencia significativa entre ellos ($p > 0.05$), lo que indicaría que la actividad enzimática no varía con los cambios de pH, como ocurre con la cepa M1A-PA a PH 7 y 9 y la cepa M1B-PB a pH 5, 7 y 9, lo que sería un indicador que la actividad de la enzima es estable en esas condiciones.

Tabla 2. Promedios de proteína hidrolizada obtenidos al evaluar la estabilidad frente al pH de las proteasas producidas por microorganismos aislados de sedimento marino del balneario de Huanchaco

pH	<i>Bacillus spp.</i> M1A-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PB	
	Proteína hidrolizada (mg/mL)		Proteína hidrolizada (mg/mL)		Proteína hidrolizada (mg/mL)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
5	2,48	0,030	2,18	0,025	4,05	0,048
7	5,67	0,026	2,09	0,048	3,92	0,434
9	5,69	0,021	1,66	0,029	3,99	0,042
Significancia (ANOVA)	0,000		0,000		0,818	

Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiples HSD Tukey Subconjuntos homogéneos para alfa = 0.05

pH	<i>Bacillus spp.</i> M1A-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PA			<i>Bacillus spp.</i> M1B-PB	
	1	2	1	2	3	1	2
5	2,483157		2,184393			4,054537	
7	5,672277		2,091607			4,054537	
9	5,687747		1,658910			3,992713	
Significancia	1,000	0,754	1,000	1,000	1,000	0,803	

En la Tabla 4, se pueden observar los promedios de proteína hidrolizada por las proteasas producidas por las tres cepas de *Bacillus* spp, a diferentes temperaturas, los cuales fueron comparados mediante la prueba de ANOVA, y se obtuvo una significancia igual a 0.00, que indica que existe diferencia en por lo menos uno de los promedios de proteína hidrolizada obtenidos al evaluar la actividad hidrolítica en condiciones diferentes de temperatura.

Tabla 4. Promedios de proteína hidrolizada obtenidos al evaluar la estabilidad frente a la temperatura de las proteasas producidas por microorganismos aislados de sedimento marino del balneario de Huanchaco.

Temperatura°C	<i>Bacillus spp.</i> M1A-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PB	
	Proteína hidrolizada (mg/mL)		Proteína hidrolizada (mg/mL)		Proteína hidrolizada (mg/mL)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
20	4,76	0,090	4,47	0,016	5,06	0,052
30	4,64	0,075	4,30	0,044	4,85	0,014
40	4,35	0,056	4,09	0,064	4,85	0,069
50	4,33	0,056	4,14	0,017	4,85	0,032
60	4,27	0,090	4,21	0,071	4,74	0,053
Significancia (ANOVA)	0,000		0,000		0,000	

En la Tabla 5, la prueba de comparaciones múltiples HSD Tukey, muestra los subconjuntos homogéneos, de los promedios de proteína hidrolizada obtenidos en los ensayos en diferentes condiciones de temperatura, que no presentan diferencia significativa entre ellos ($p > 0.05$), lo que indicaría que la actividad enzimática no varía con los cambios de temperatura, como ocurre con la cepa M1A-PA y M1B-PA a temperaturas de 40, 50 y 60°C, y la cepa M1B-PB en el rango de temperaturas de 30 a 60°C, lo que sería un indicador que la actividad de la enzima se mantiene estable a esas temperaturas.

Tabla 5. Prueba de comparaciones múltiples HSD Tukey Subconjuntos homogéneos para alfa = 0.05

Temperatura	<i>Bacillus spp.</i> M1A-PA		<i>Bacillus spp.</i> M1B-PA			<i>Bacillus spp.</i> M1B-PB	
	1	2	1	2	3	1	2
40°C	4,34933		4,09433			4,84967	
50°C	4,33400		4,13767			4,84967	
60°C	4,26667		4,20800			4,74000	
30°C	4,64467		4,30433			4,84967	
20°C	4,76000		4,47267			5,06000	
Significancia	0,666	0,383	0,092	0,178	1,000	0,084	1,000

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la estabilidad a pH y temperatura de las proteasas producidas por bacterias aisladas de sedimento marino del balneario de Huanchaco, Trujillo, Perú. Se aislaron doce cepas de microorganismos con capacidad proteolítica; de éstas se seleccionaron las

tres cepas que presentaron el mayor halo de hidrólisis de proteínas (Figura 1), las cuales de acuerdo a sus características tintoriales, morfológicas y bioquímicas se identificaron como bacterias del género *Bacillus*. Como se puede apreciar en la Figura 2. Los halos de hidrólisis de proteínas observados, se explican porque las especies del género *Bacillus*, sintetizan y excretan enzimas proteolíticas extracelulares durante sus fases de crecimiento y esporulación (Zaragoza, 2011).

Las bacterias del género *Bacillus*, se caracterizan por su amplia resistencia a los factores ambientales extremos, lo que les permite vivir en diversos ambientes entre los que se encuentran los sedimentos marinos, que son en su mayoría alcalinos. Entre los microorganismos alcalófilos seleccionados y usados en varios procesos industriales, los miembros del género *Bacillus* constituyen una fuente predominante de proteasas alcalinas (Mathew y Gunathilaka, 2015; Sharmila et al., 2012), debido a sus características quimioorganotróficas, a su alta velocidad de crecimiento, a la secreción de enzimas extracelulares en los medios de cultivo y porque son seguras de manipular (Saggu y Mishra, 2017).

La actividad proteolítica de las tres cepas seleccionadas se muestra en la Tabla 1, en donde se puede apreciar que la cepa M1B-PA, es la que presenta el mayor halo de hidrólisis (12 mm), seguida de las cepas M1B-PB (8 mm) y M1A-PA (5 mm). Estos resultados son similares a otros reportados en los que se aislaron 22 cepas de *Bacillus* con actividad proteolítica con un halo de hidrólisis entre 1 a 8 mm; en este caso, estos halos son de menor tamaño que los hallados en la presente investigación en la que se observaron diámetros en el rango de 5 a 12 mm. En todos los casos, el tamaño del halo de hidrólisis depende de la actividad y estabilidad de la enzima.

Al respecto, Bhunia et al. (2013) sostienen que la estabilidad de una enzima se juzga por la actividad residual, mientras la actividad catalítica se define como la capacidad de una enzima para catalizar un proceso. La estabilidad y la actividad se ven afectadas por ciertos parámetros, que pueden ser físicos (temperatura y pH) o químicos (la presencia de inhibidores o activadores, etc.). En la presente investigación, se evaluó la estabilidad de las proteasas estudiadas frente a la temperatura y pH.

En la Tabla 2, se presentan los resultados de la evaluación de la estabilidad de las enzimas frente a los cambios de pH y se observa que de acuerdo al análisis de ANOVA existe diferencia en la actividad de hidrólisis de proteínas en por lo menos uno de los promedios ($p = 0.00$), lo que se corroboró en la prueba de comparaciones múltiples (Tabla 3), en donde se observa que para la cepa *Bacillus sp.* M1A-PA, no hay diferencia significativa entre la cantidad de proteína hidrolizada a pH 7 y 9 ($P = 0.754$), y que se presenta una hidrólisis mayor que a pH 5. Por otro lado, la cepa *Bacillus sp.* M1B-PA, no muestra estabilidad enzimática, pues la cantidad de proteína hidrolizada disminuye a medida que aumenta el pH, en este caso no hay subconjuntos homogéneos. La cepa *Bacillus* M1B-PB produce la proteasa más estable, pues no hay diferencia significativa entre las cantidades de proteína hidrolizada en los tres valores de pH ($p = 0.803$), por lo que esta bacteria sería una buena candidata para optimizar la producción de enzimas a nivel industrial.

En la Tabla 4, se presentan los resultados de la evaluación de la estabilidad de las enzimas frente a los cambios de temperatura, y se observa que de acuerdo al análisis de ANOVA existe diferencia en la actividad de hidrólisis de proteínas en por lo menos uno de los promedios ($p = 0.00$), lo que se corroboró en la prueba de comparaciones múltiples (Tabla 5), en donde se observa que para las cepas M1A-PA y M1B-PA no hay diferencia significativa entre la cantidad de proteína hidrolizada en el rango de temperatura que va de 40 a 60°C ($p = 0.666$ y 0.092 respectivamente), lo que indicaría que las enzimas producidas son estables a esas temperaturas; mientras que las de la cepa M1B-PB, tienen estabilidad en el rango de 30 a 60°C ($p = 0.084$). También se observa que no hay diferencia con la cantidad de proteína hidrolizada a 20 y 30°C por la proteasa de *Bacillus sp.* M1A-PA ($p = 0.383$); a 60, 30°C por la proteasa de *Bacillus sp.* M1B-PA ($p = 0.178$). Así mismo, aun cuando a temperaturas menores, la cantidad de proteína hidrolizada es ligeramente menor, lo importante es que las enzimas proteolíticas mantienen su capacidad de hidrólisis a temperaturas mayores. En este caso, la proteasa de la cepa M1B-PB es la que presenta estabilidad a mayor rango de temperatura.

Los resultados obtenidos con la proteasa de *Bacillus* M1B-PB, son similares a los obtenidos por Hammami et al. (2017), quienes evaluaron el perfil de actividad de pH de las proteasas de *B. invictae* a pH entre 6,0 y 13,0, y observaron que la enzima cruda fue altamente activa entre pH 8,0 y 12,0 con un óptimo entre pH 9,0

y 11,0. Las actividades relativas a pH 8,0 y 12,0 fueron aproximadamente 77,73%, and 84,12%, respectivamente. Los perfiles de estabilidad térmica mostraron que la enzima cruda era muy estable a 30 y 40°C (100%), mientras que a 50°C la preparación enzimática retuvo 94%, 92% y 89% de su actividad original después de la incubación durante 60, 120 y 180 min, respectivamente. Después de 6 h de incubación a 30, 40 y 50°C, se observó una ligera inhibición y las actividades enzimáticas restantes fueron $98,29 \pm 1,93\%$, $98,69 \pm 0,28\%$ y $82,02 \pm 3,37\%$ de la inicial, respectivamente. Así mismo, Salem et al. (2016) reportaron que las proteasas de *B. licheniformis* RBS 5 conservaron su actividad inicial completa a 60°C durante 30 minutos de incubación.

Esto puede deberse a que los microorganismos que viven en un ambiente alcalino (agua de mar) poseen una gran capacidad de adaptabilidad, lo que les permite crecer de manera óptima en entornos hostiles como altos niveles de sal, temperatura y presión (Barzkar et al., 2018). Por otro lado, Si et al. (2018) purificaron y caracterizaron una proteasa microbiana producida extracelularmente a partir de *Bacillus subtilis* FBL- 1, y observaron que la proteasa purificada mostró la actividad más alta a 45°C y pH 9,0, y que la actividad permaneció estable en el rango de temperatura de 30 a 50°C y el rango de pH de 7,0 a 9,0.

Los resultados obtenidos son comparables con los reportados por Zaragoza (2011), quien encontró que a pH 8, la enzima proteolítica presenta una mayor actividad a 40 y 60°C. Algo similar reportaron Mathew y Gunathilaka, (2015), quienes al evaluar una serin proteasa termoestable de *Bacillus licheniformis*, NMS-1, observaron que esta enzima desarrollaba su actividad hidrolítica de manera óptima a pH 9 y temperatura de 60°C. Por otro lado, Ghorbel et al. (2003) estudiaron una proteasa de *Bacillus cereus*, reportando que en presencia de 2 nM de Ca^{2+} , la actividad de la proteasa aumenta en un 500% y haciéndola resistente al aumento de temperatura.

Los resultados obtenidos en esta investigación, corroboran lo establecido por Ramesh et al. (2009), quienes indican que la mayoría de las enzimas microbianas extracelulares, son altamente estables a cambios químicos y físicos en el medio, y por esa razón son insumos potenciales para ser empleados a nivel industrial en la elaboración de detergentes, acondicionamiento de cueros, en la industria alimentaria y farmacéutica, así como en la recuperación y solubilización de proteínas orgánicas.

5. CONCLUSIONES

En este estudio, se aislaron tres cepas de bacterias productoras de proteasas a partir de sedimento marino del balneario de Huanchaco, Trujillo, Perú, codificadas como M1A-PA, M1B-PA y M1B-PB, las cuales fueron identificadas como pertenecientes al género *Bacillus* mediante caracterizaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas. Sin embargo, no se pudo identificar la especie por lo que fueron denominados como *Bacillus* spp.

Para el ensayo cualitativo de producción de proteasas, estas tres cepas de bacterias se sembraron en agar leche 2%, en donde, *Bacillus* spp M1B-PA fue el que presentó el mayor halo de degradación de proteína (12 mm), seguido de *Bacillus* spp M1B-PB con un halo de 8 mm.

Las proteasas producidas por la cepa de *Bacillus* spp M1B-PB fueron las que presentaron mayor estabilidad, pues conservaron su actividad proteolítica a pH 5, 7, y 9 y en el rango de temperatura de 30 a 60°C. Las proteasas producidas por la cepa *Bacillus* spp M1A-PA son estables a pH 7 y 9 y en el rango de temperatura que va de 40 a 60°C. Las características de estas enzimas, indican que éstas podrían ser adecuadas para utilizarse en la industria de detergentes.

Las proteasas producidas por la cepa *Bacillus* spp M1B-PA no son estables a los cambios de pH, su mayor actividad hidrolítica se da a pH 5, sin embargo, presentan estabilidad a temperaturas que van de 40 a 60°C. Por lo que podrían seguir evaluándose para determinar su potencial uso en la industria.

Es necesario seguir investigando para optimizar la producción de estas enzimas y evaluar su estabilidad frente a otros factores como solventes orgánicos, iones metálicos.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad César Vallejo, que financió el estudio a través del fondo concursable de investigación y al Microbiólogo Luis Cabanillas Chirinos, del Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad César Vallejo por el apoyo brindado durante la ejecución de la investigación.

REFERENCIAS

- Ahmad, W., Tayyab, M., Aftab, M. N., Hashmi, A. S., Ahmad, M. D., Firyal, S., Wasim, M. y Awan, A. R. (2020). Optimization of Conditions for the Higher Level Production of Protease: Characterization of Protease from *Geobacillus* SBS-4S. *Waste and Biomass Valorization* 11(12), 6613–6623.
- Barzkar, N., Homaei, A., Hemmati, R. y Patel, S. (2018). Thermostable marine microbial proteases for industrial applications: scopes and risks. *Extremophiles* 22(3), 335–346.
- Bhandari, S., Poudel, D. K., Marahatha, R. et al. (2021). Microbial Enzymes Used in Bioremediation. *Journal of Chemistry*, 2021, 1–17.
- Bhunia, B., Basak, B., Mandal, T., Bhattacharya, P. y Dey, A. (2013). Effect of pH and temperature on stability and kinetics of novel extracellular serine alkaline protease (70kDa). *Intern. Journal of Biological Macromolecules* 54(1), 1–8.
- Chapman, J., Ismail, A. E. y Dinu, C. Z. (2018). Industrial applications of enzymes: Recent advances, techniques, and outlooks. *Catalysts* 8(6), 20–29.
- Coker, J. A. (2016). Extremophiles and biotechnology: Current uses and prospects. *F1000Research* 5, 1–8.
- Cui, H., Yang, M., Wang, L. y Xian, C. J. (2015). Identification of a new marine bacterial strain SD8 and optimization of its culture conditions for producing alkaline protease. *PLoS ONE* 10(12), 1–13.
- EL-Eskafy, H., Abdel-Hamid, M., Abbas, R., Hamza, H. y El- Zanaty, A. (2016). Production of Thermostable Protease From "*Bacillus amyloliquefaciens*": An Egyptian Marine Isolate. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology* 7(8), 227–234.
- Ghorbel, B., Sellami-Kamoun, A. y Nasri, M. (2003). Stability studies of protease from *Bacillus cereus* BG1. *Enzyme and Microbial Technology* 32(5), 513–518.
- Haddar, A., Sellami-Kamoun, A., Fakhfakh-Zouari, N., Hmidet, N. y Nasri, M. (2010). Characterization of detergent stable and feather degrading serine proteases from *Bacillus mojavensis* A21. *Biochemical Engineering Journal* 51(1–2), 53–63.
- Hakim, A., Bhuiyan, F., Iqbal, A., Emon, T., Ahmed, J. y Azad, A. (2018). Production and partial characterization of dehairing alkaline protease from *Bacillus subtilis* AKAL7 and *Exiguobacterium indicum* AKAL11 by using organic municipal solid wastes. *Heliyon* 4(6), e00646.
- Hammami, A., Hamdi, M., Abdelhedi, O., Jridi, M., Nasri, M. y Bayoudh, A. (2017). Surfactant- and oxidant-stable alkaline proteases from *Bacillus invictae*: Characterization and potential applications in chitin extraction and as a detergent additive. *International Journal of Biological Macromolecules* 96, 272–281.
- Hou, E., Xia, T., Zhang, Z. y Mao, X. (2017). Purification and characterization of an alkaline protease from *Micrococcus* sp. isolated from the South China Sea. *Journal of Ocean University of China* 16(2), 319–325.
- Ibrahim, A. S. S., Al-Salamah, A. A., Elbadawi, Y. B., El-Tayeb, M. A. y Shebl Ibrahim, S. S. (2015). Production of extracellular alkaline protease by new halotolerant alkaliphilic *Bacillus* sp. NPST-AK15 isolated from hyper saline soda lakes. *Electronic Journal of Biotechnology* 18(3), 236–243.
- Jisha, V., B. Smitha, R., Pradeep, S., Sreedevi, S., N. Unni, K., Sajith, S., Priji, P., Sarath Josh, M. y Benjamin, S. (2013). Versatility of microbial proteases. *Advances in Enzyme Research* 01(03), 39–51.
- Mathew, C.D. y Gunathilaka, M. . (2015). Production, purification and characterization of a thermostable alkaline serine protease from *Bacillus licheniformis* NMS-1. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research* 6(3), 19–27.
- Mordor intelligence. (2020). Industrial enzymes market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 - 2026). Recuperado: <https://mordorintelligence.com/industry-reports/industrial-enzymes-market>
- Ramesh, S., Rajesh, M. y Mathivanan, N. (2009). Characterization of a thermostable alkaline protease produced by marine *Streptomyces fungicidicus* MML1614. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 32(6), 791–800.
- Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A. y Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7(6), 1–20.
- Saggu, S. K. y Mishra, P. C. (2017). Characterization of thermostable alkaline proteases from *Bacillus infantis* SKS1 isolated from garden soil. *PLoS ONE* 12(11), 1–18.
- Salem, R. Ben, Abbassi, M. S., Cayol, J.-L., Bourouis, A., Mahrouki, S., Fardeau, M.-L. y Belhadj, O. (2016). Thermophilic *Bacillus licheniformis* RBS 5 isolated from hot tunisian spring co-producing alkaline and thermostable alpha-amylase and protease enzymes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 05(06), 557–562.
- Sharmila, S., Jeyanthi Rebecca, L., Susithra, G., y Dhanalakshmi, V. (2012). Partial Purification of Protease from Seaweed. *International Journal of Applied Biotechnology and Biochemistry* 2(1), 2248–9886.

- Si, J. B., Jang, E. J., Charalampopoulos, D. y Wee, Y. J. (2018). Purification and Characterization of Microbial Protease Produced Extracellularly from *Bacillus subtilis* FBL-1. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 23(2), 176–182.
- Sirvas, S., Buleje, V., Salvatierra, L. y Jaramillo, M. L. (2021). Isolation and identification of proteolytic, amylolytic, lipolytic, and chitinolytic bacteria from shrimp waste. *Revista Peruana de Biología* 28(1), 1–10.
- Wang, S., Lin, X., Huang, X., Zheng, L. y Zilda, D. S. (2012). Screening and characterization of the alkaline protease isolated from PLI-1, a strain of *Brevibacillus* sp. collected from Indonesia's hot springs. *Journal of Ocean University of China* 11(2), 213–218.
- Zaragoza, J. (2011). Aislamiento de cepas de *Bacillus* productoras de proteasas con potencial uso industrial. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de Nuevo León.

CIENCIAS SOCIALES

Rasgos de la personalidad, habilidades y competencias que las personas poseen y ejecutan en los procesos de negociación: Una revisión de la literatura

Gabriel Jaime Saldarriaga Ruiz¹

Andrés Felipe Londoño Vélez²

Carlos Alberto Ramírez Cárcamo³

Caterin Bibiana Giraldo Giraldo⁴

^{1,2} *Fundación Universitaria María Cano*

³ *Grupo Humano Consultores*

⁴ *Universidad de Antioquia*

Colombia

Se presenta una revisión sobre los rasgos de personalidad, las habilidades y las competencias que las personas poseen y ejecutan en los procesos de negociación en los que participan. Se focaliza en los elementos individuales involucrados en estos procesos, en particular de las competencias y habilidades de un negociador efectivo. El método empleado comenzó por establecer los temas a consultar, para luego hacer una investigación documental de ellos en las bases de datos Scopus, JSTOR, Science Direct, Scielo y Dialnet. La búsqueda se basó en palabras clave del tema de la negociación y se recuperaron y analizaron en su contexto las diferentes definiciones de estrategias, estilos y competencias asociadas. Los resultados se clasificaron por tema y, finalmente, se elaboró el marco teórico que los integra. No se encontró un modelo unificado que integre la personalidad, los estilos y las competencias en un solo perfil personal de negociación, por lo que se propone una agrupación y delimitación en dimensiones y sub-dimensiones de los rasgos y competencias personales positivas para la negociación, como parte de un constructo conceptual que pueda, posteriormente, ser medible por medio de pruebas psicotécnicas. Los resultados contribuyen al mejoramiento de los procesos de calidad y planeación en los campos de la administración y la gestión humana⁵.

¹ Psicólogo y Magíster en Sociología. Contacto: gabrieljaimesaldarriagaruiz@fumc.edu.co

² Psicólogo, Especialista en Alta Gerencia, Magíster en Administración de Empresas y Magíster en Educación. Contacto: andres.londono@fumc.edu.co

³ Economista. Es investigador de la empresa Grupo Humano Consultores, Colombia. Contacto: carlos.ramirez@grupohumano.co

⁴ Investigadora de la Universidad de Antioquia. Contacto: bibiana.giraldo1@udea.edu.co

⁵ Este capítulo es resultado preliminar de la investigación: *Construcción de un instrumento psicométrico para la caracterización del perfil negociador (PENEG)*, inscrita en el Centro de investigaciones de la Facultad Ciencias de la Salud de la Fundación Universitaria María Cano mediante acta No. 015011022-2019-311 de 2020. Es financiada por la universidad y la empresa Grupo Humano.

1. INTRODUCCIÓN

Se está inmerso en un proceso de negociación cada vez que no pueden lograr los objetivos personales sin la cooperación de otros (Thompson et al., 2010). La negociación es una actividad social en la cual la mayoría de las personas participa y se desarrolla en escenarios tan variados como la adquisición de un bien, la solicitud de un aumento salarial, los procesos de resolución de conflictos, o incluso el mantenimiento de las relaciones personales (Paz, 2004). Las relaciones de negociación son por lo tanto procesos que implican la interacción con otros con el objetivo de obtener un resultado conforme con aquello que se desea, en lo posible a través de un acuerdo (Ury, 2015). Muchas de estas interacciones son complejas e implican la puesta en práctica de competencias personales y sociales específicas que permitan un desarrollo exitoso.

Desde los años 80 los procesos de negociación fueron ganando interés y reconocimiento como campo de estudio, su abordaje ha sido influenciado por distintos enfoques y disciplinas académicas, como la sociología, las ciencias políticas, la economía, las matemáticas, la comunicación, la psicología y las ciencias del comportamiento. Este interés ha generado un cuerpo teórico y empírico profundo y diverso, donde cada perspectiva ha aportado un punto de vista distinto y complementario. En los ochenta fueron preponderantes las perspectivas comportamentales y la teoría del juego y de toma de decisiones. De esta perspectiva emergió el interés por investigar los modelos de negociación óptimos, o normativos, es decir aquellos que prescribían que debía hacer un sujeto racional en condiciones neutrales donde se tiene a la mano y de manera transparente toda la información posible. En los noventa desde la psicología social se orientó la investigación y los análisis.

A principios de siglo XXI ha sido la psicología cognitiva la que ha asumido el liderazgo en la investigación de los procesos de investigación. La investigación desde la perspectiva social y cognitiva busca el desarrollo de modelos más descriptivos, ya no de modelos normativos, se reconoce que los negociadores no siempre se comportan de una manera óptima y predictiva, por el contrario que en los procesos reales se alejan de estos modelos económicos y normativos. (Thompson et al., 2010). Con el fin de describir las habilidades y competencias personales involucradas en los procesos de negociación, los análisis de la literatura se enfocarán en esta segunda perspectiva.

Aunque la identificación de los elementos que intervienen en el complejo fenómeno de la negociación y especialmente de las competencias y habilidades personales involucradas han sido objeto de estudio de varias disciplinas, no obstante, la definición de los términos y conceptos no ha logrado precisarse del todo, lo que ha impedido el planteamiento de un constructo mejor delimitado y generalizable. Por ejemplo, Saorín-Iborra (2008) evidenció que en ocasiones en la literatura se agrupaban conceptos que buscaban definir posiciones subjetivas frente a la negociación en diadas que se intercambiaban como como sinónimos, pero que tenían sentidos distintos y no permitían ninguna delimitación. El autor señala como ejemplos: Estrategia/enfoque (Campbell et al., 1988); Estrategia/orientación (Putman, 1990; Serrano y Rodríguez, 1993; Graham et al., 1994, Roure, 1997), Estrategia/Enfoque/Orientación (Lax y Sebenius, 1986; Adler et al., 1992; Thomas, 1992), Estrategia/Estilo (Thomas, 1992; Dupont, 1996; Paik y Tung, 1999; Nauta y Saunders, 2000). Aunque estas divergencias terminológicas pueden parecer superficiales y se asume que las competencias de negociación son habilidades que se pueden enseñar, entrenar y evaluar, la cuestión de cómo describirlas y evaluarlas de manera objetiva y sistemática permanece sin respuesta.

Por otro lado, si hay algo que une estas aproximaciones a la negociación como proceso y a los negociadores como sujetos participantes, es la valoración de lo que sería una negociación exitosa y un negociador efectivo. La negociación exitosa ideal sería aquella donde las partes ganan algo y se sienten satisfechas, y el negociador efectivo quien lo hace posible. Para lograr estos escenarios exitosos aparece como fundamental que el buen negociador identifique que la negociación se hace con personas con quienes se tiene una relación de interdependencia; que este es un proceso en el cual se trata de influir en el otro; y que busca que este tome una decisión específica que sea mutuamente conveniente. Para lograr esto, es importante analizar las situaciones que ayuden a que el otro tome tal decisión, así como las que la obstaculizan; se debe tener en mente tanto la ganancia mutua como las de largo plazo (Tobón, 1997). Así, la negociación constituye un proceso interactivo y complejo en el cual se activan las competencias personales de cada negociador, las cuales son elementos fundamentales para el logro de los objetivos personales y comunes.

Debido a la complejidad del proceso, y a las variables involucradas en la interacción, es importante que las personas participantes en los procesos de negociación conozcan su perfil negociador. Aquel negociador que reconoce sus propias competencias será más efectivo y podrá iniciar procesos de perfeccionamiento que eleven su desempeño, por lo tanto, tendrá mayores probabilidades de éxito en cada proceso de negociación (Marrero et al., 2018). La caracterización de las estrategias, perfiles y competencias para la negociación no son nuevas, especialmente en los últimos años se han desarrollado una variedad de instrumentos que permiten hacer esta caracterización de los estilos del negociador, tanto a nivel personal, como el NSP de Glaser y Glaser (2009), como a nivel intercultural, el NSP-12 de Yu-Te Tu (2014) que deriva de una versión de la prueba de Casse (1981).

Cada una de estas pruebas se focalizan en un aspecto específico del proceso de negociación, buscando delimitar lo más posible el fenómeno, sin embargo, precisamente por este motivo se abre la posibilidad de revisar y proponer un constructo que aborde de manera alternativa y contextualizada algunas de las dimensiones que se han identificado. Este estudio cobra sentido debido al poco consenso respecto a la delimitación de los conceptos y a la falta de instrumentos validados psicométricamente para la población colombiana. Por consiguiente, se realizó una revisión para identificar los estilos, las estrategias y las competencias del negociador, que permitan describir claramente las dimensiones personales y las competencias de negociación, para proponer una prueba de medición psicométrica de estas.

Lograr comprender y desarrollar un constructo medible de competencias para la negociación, sería un aporte desde el área de la medición de competencias al campo de los recursos humanos y a la psicología organizacional. El constructo propuesto ayudaría a los y profesionales de estas áreas a diseñar procesos de selección y cursos de capacitación más efectivos. A los académicos ofrece la oportunidad de mejorar la pedagogía de la negociación y formar mejores negociadores en una sociedad cada vez más compleja.

2. MÉTODO

Este estudio se ampara en el enfoque cualitativo de tipo documental, el cual es un procedimiento formal y estructurado cuyo objetivo es la localización y recuperación de información relevante (Amezcuza y Gálvez, 2002). En la presente revisión se analizó y sintetizó la evidencia encontrada sobre las competencias, conductas y estilos del negociador. El corpus de esta investigación se definió a partir de la búsqueda de artículos científicos empíricos, entre marzo y julio de 2020, en las bases de datos: Dialnet, Science Direct, Scopus, Springer Link, así como de una consulta con especialistas en procesos de negociación. La elección de estas bases de datos se justifica gracias al amplio número de fuentes secundarias y datos que registran, y por qué han sido utilizadas en previas revisiones sistemáticas de los procesos de negociación (Parrado, Rodríguez y Saray, 2018).

Se recolectaron y analizaron 63 materiales bibliográficos, entre artículos, libros y capítulos, relacionadas con el comportamiento negociador, los estilos, características y competencias negociadoras. Los materiales se analizaron bajo tres dimensiones: 1) características bibliométricas de la investigación: autores, revistas, lugar de investigación, sector en el que se encaja el estudio y la fecha de publicación del trabajo; 2) aspectos metodológicos: enfoque, naturaleza, recorte temporal, tipo de datos, método, muestreo, técnica de recolección de datos, instrumento de recolección de datos y técnica de análisis de datos; y 3) aspectos individuales involucrados en los procesos de negociación.

3. RESULTADOS

3.1 La negociación desde la perspectiva de las posturas y los intereses

Históricamente se han desarrollado varias perspectivas para entender y abordar el fenómeno de la negociación, las cuales se pueden agrupar en dos: una centrada en la posición que asume el negociador frente a su antagonista mientras participa del proceso de negociación; y otra centrada en el método de negociación. En la primera perspectiva se piensa que, en el momento de la negociación, los individuos privilegian su posición asumiendo que esta es la postura ganadora, en consecuencia, se descuidan los intereses propios y los del otro. En este caso, el centro de la negociación gira entorno a poner en

conocimiento los argumentos o puntos de vista para ganar, pero se descuidan las propuestas ajenas, y se construye al otro como un oponente al que hay que vencer a toda costa. Quien asume esta perspectiva generalmente sigue el siguiente proceso: se asume una posición personal acerca de alguno de los asuntos en discusión; la cual defienden con intensidad y fervor, se ataca a la contraparte, entrando así en una lucha personal de ideas y, por último, se derrota al otro y se salva el ego. Aquí el riesgo es no sólo que no se gane, sino que todos pierdan; de tal manera que se llega a la pérdida mutua tanto del objeto de la negociación como de la relación misma, por tanto, son negociaciones ineficaces (Tobón, 1997).

Al tratarse de posturas, estas se pueden caracterizar en dos posiciones extremas y dicotómicas, una dura y otra suave. En la línea dura se ve al otro como el adversario, se busca la victoria a cualquier costo y se considera que golpear al otro es la clave para lograrla, así que la relación de negociación se realiza en un ambiente competitivo; contraria a la postura suave, que trata de ver al otro como un amigo y por quien el negociador estaría dispuesto a sacrificarse si esto fuera preciso, y en efecto, la negociación sería cooperativa entre las partes (Tobón, 1997).

En la perspectiva basada en intereses o principios se busca superar la visión limitada de enfocarse sólo en la propia posición, y diverge de la concepción de la negociación como un evento competitivo, en el cual se ocuyen los intereses ajenos por los propios. Bajo esta perspectiva, la negociación debe darse en un ambiente neutral, sin involucrar aspectos afectivos y mucho menos adoptarse como un sacrificio personal. Según esta perspectiva, el éxito en la negociación no dependerá de si se ganó o perdió, sino del logro de esos tres criterios: el acuerdo fue inteligente, eficiente y si mejora o al menos, no deteriora la relación entre las partes (Fisher y Ury, 1991).

3.2 Los modelos para entender el proceso de negociación

Además de estos dos enfoques, se pueden caracterizar tres modelos a partir de los cuales se puede ejecutar el proceso de negociación. El modelo competitivo, el modelo cooperativo y el derivado del equipo de trabajo de la Universidad de Harvard, conocido como el modelo Harvard.

El modelo de negociación de tipo competitivo pretende que una de las partes obtenga un objetivo sin importar el de la otra parte, por lo tanto, se ejecutan varias estrategias que faciliten la obtención de esos beneficios propios como pueden ser las tácticas emocionales, o bien considerar las concesiones del oponente como debilidades y mezquindad en las propias concesiones (Cohen, 1992). Así que, en el momento de la negociación, la información que se aporta es de manera sesgada y los negociadores plantean opciones condicionadas. Igualmente, adoptar comportamientos competitivos en la negociación conlleva a establecer la comunicación enfatizando en las consecuencias negativas que tendrían ciertas decisiones (penalizaciones) (Saorín-Iborra e Iborra, 2008).

El modelo cooperativo se caracteriza por la búsqueda de objetivos compartidos y de acuerdos beneficioso para las partes. La máxima en este modelo es el respeto por el beneficio mutuo; por tanto, la meta es que todos ganen (López, 2007; Parra et al., 2010). Para algunos autores, el estilo cooperativo es el estilo de negociación más interesante que se puede utilizar, pues este se basa en que no se hallan perdedores, si no en llegar a encontrar por medio de esa negociación beneficios para ambas partes (Sepúlveda, 2012; Curseri, 2017; Marrero et al., 2018). Para ellos es *preferible la negociación cooperativa a la competitiva, en la práctica ninguno de los dos extremos es lo ideal, puesto que la correcta elección del planteamiento negociador dependerá de la naturaleza de la negociación de que se trate*, pues como su nombre lo indica, el estilo competitivo ha de basarse en obtener el mejor acuerdo en donde el beneficio solo será para alguno de los dos lados (Sepúlveda, 2012).

El tercer modelo, conocido como modelo Harvard o de negociación por principios, intereses, o méritos (Tobón, 1997; Guillén et al., 2011) es el que ha tenido mayor relevancia en el ámbito académico e intenta superar los anteriores. Este modelo diverge de la concepción del proceso de negociación como eventos competitivos; y se basa en cuatro principios: el primero es separar a las personas de los problemas; es decir, procurar no involucrar las fobias y los sentimientos al momento de negociar. El segundo es enfocarse en los intereses, esto significa que en el proceso de negociación se tenga un objetivo o meta clara y supone la

defensa de estos. El tercero es centrarse en los intereses, que están presentes al momento de manifestar lo que se pretende negociar, y para ello se necesita preparación. Y, por último, utilizar estándares objetivos que puedan dar buen resultado en una negociación; pudiendo ser el precio de mercado, el costo, la tradición (salarial) y tener en cuenta la reciprocidad (Guillén et al., 2011) desde este modelo se procura una estrategia ganar-ganar, además no implica que todas las partes obtengan todo lo que se desea, sino que obtengan más de lo que podrían conseguir a través de otro modo que pudieran elegir para la resolución de su disputa.

En este modelo la negociación debe darse en un ambiente neutral, sin involucrar aspectos afectivos. Bajo este modelo se tendría éxito en la negociación pues en caso de lograrse un acuerdo, esta puede ser juzgada con base en tres criterios: este sea inteligente; sea eficiente y que mejore o al menos no deteriore la relación entre las partes (Fisher y Ury, 1991). Este modelo involucra además otros siete elementos que son importantes mencionar: los intereses; la legitimidad; la relación; alternativas; opciones; compromisos y la comunicación. Las *necesidades*, *los deseos* y las *motivaciones* básicas se denominan comúnmente intereses y es el elemento principal en una negociación, pues las personas negocian con la finalidad de obtener algo: un aumento salarial, resolver un conflicto, obtener el mejor precio de un producto, entre otros; estos pueden ser compartidos, divergentes o encontrados. Otro elemento es la legitimidad o la justicia, que consiste en establecer factores objetivos medibles y demostrables, sin basarse en criterios subjetivos (Patton, 2005).

La relación incluye las relaciones del negociador con los que están del otro lado de la mesa y con toda otra persona que pueda incidir en la negociación o ser afectada por la reputación del negociador a raíz de la negociación (Patton, 2005). Lo anterior supone la presencia de dos aspectos: uno explícito y otro implícito (con siglo mismo); respectivamente: cuando en el proceso de negociación hay otras partes involucradas y cuando confluyen aspectos cognitivos como la confianza, la reputación o la disonancia cognitiva, que son *decisivos* en la *elección* final, pues estas repercuten en la resolución de las diferencias. Por otro lado, una alternativa se puede implementar sin el consentimiento del otro negociador o de los otros negociadores y se usan cuando no se está logrando un acuerdo; a diferencia de las opciones, las cuales son ideas que se comparten y se comunican desde el principio de la negociación. El compromiso en el ámbito de la negociación es entendido como un acuerdo, demanda, oferta o promesa de una o más partes, y cualquier formalización de ese acuerdo y, por último, la comunicación se presenta como un aspecto transversal, en el cual se espera que sea de forma bilateral, asertiva y eficaz. Ambos elementos son transversales al proceso de la negociación, en la Tabla 1 se presenta una síntesis de los modelos de negociación.

Tabla 1. Comparación de las concepciones de los modelos de negociación clásicas (a partir de Fisher y Ury, 1991)

Criterio	Modelo de negociación cooperativa	Modelo de negociación competitiva	Modelo Harvard
Participantes	Amigos	Adversarios	Solucionadores
Meta	Acuerdo	Victoria	Buen acuerdo
Relación	Cultivan	Condicionan	Cultivan
Concesiones	Hacen	Demandan	Hacen/demandan
Con el problema	Suaves	Duros	Duros
Con la gente	Suaves	Duros	Suaves
Con los otros	Confían	Desconfían	Neutrales
Posición	Muy flexibles	Muy rígidos	Intereses
Avance	Hacen ofertas	Hacen amenazas	Exploran intereses
Límites	Los muestran	Los esconden	Evitan tenerlos
Unilateralidad	Aceptan pérdidas	Demandan ganancias	Mutua ganancia

3.3 De los modelos a las estrategias de la negociación

Las perspectivas y modelos enmarcan el proceso de negociación, los cuales pueden ser consecutivas o sincrónicas y comprenden *la evaluación, la gestión y la resolución de conflictos* (Budjac, 2011). Para algunos autores, este proceso se subdivide en cuatro sub-fases: la preparación de la negociación, el desarrollo entre las partes, los acuerdos y las conclusiones y finalmente la evaluación. En la primera se establecen las definiciones de metas, los objetivos, las estrategias, tácticas, búsqueda de información y preparación de las

ofertas; en la segunda, se realizan las conversaciones y deliberaciones; en la tercera, se definen los aspectos acordados y el cierre del proceso; la última consiste en la evaluación de los resultados (Ortiz-Torres, 2010). Estas fases, sub-fases y actividades correspondientes, están comprendidas tanto en las perspectivas desde donde se ubica el sujeto que negocia como en los modelos desde donde parte cada negociación. A estos dos aspectos se suman los elementos de planificación del desarrollo de esta, dicha planificación se puede entender como la estrategia escogida para el desarrollo del proceso.

Desde los trabajos clásicos de Walton y McKersie (1965) al analizar los procesos de negociación en términos de estrategia se han identificado dos tipos de estrategias de negociación: negociación integrativa y negociación distributiva. Estas tradicionalmente se han caracterizado dos estrategias: la ganar-ganar, caracterizada por conductas colaborativas, y la perder-ganar, por conductas distributivas; en la primera se toma una postura empática y se proyecta a futuras negociaciones, en vista que procura el mantenimiento de las relaciones y la ganancia de ambas partes (Fisher y Ury, 1991; Tinsley et al., 2002), esta transcurre en un clima de confianza, se defienden los intereses propios teniendo en cuenta los del oponente, ampliando el área de colaboración en la que ambas partes realizan concesiones (Marrero et al., 2018); a esta forma de negociación se le denomina también negociación integrativa, principista o cooperativa.

La segunda, también llamada *tradicional, posicional o competitiva* y que, generalmente suma cero, se centra en repartir mediante un proceso de regateo (Tinsley et al. 2002), *en esta estrategia se trata de alcanzar el máximo beneficio sin preocuparle la situación del oponente* (Marrero et al., 2018) es decir, busca la obtención de los mejores resultados para él (Machado, 2013) que lo llevará a adoptar una postura competitiva en las siguientes negociaciones, compartiendo menos información específica, hablando más del procedimiento y de asuntos superficiales (pequeñas charlas) (Tinsley et al., 2002), además es más proclive a la ruptura de las relaciones porque frecuentemente gana a costa de que la otra pierda (Parra et al., 2010).

3.4 Los estilos de negociación

Al considerar los estilos de negociación hay que tomar en cuenta la presencia de variables externas y variables internas. Sobre las variables extrínsecas, se consideran que están asociadas a determinantes culturales y son aquellas las que moldean al individuo. El estudio de estas variables se puede llevar a cabo a través de los determinantes culturales, enfocándose en la propia cultura de la persona, a partir de los determinantes interculturales que se estudian mediante cruces culturales entre distintos países o continentes, o a partir de los determinantes intraculturales, que incluyen análisis comparativos entre las distintas regiones de un mismo país. De ahí que se pregunten, por ejemplo, ¿cómo negocian los mexicanos? (Camacho, 2013), los costarricenses (Cubillo y Saorín-Iborra, 2008), los franceses (Ogliastri et al., 2017), los asiáticos y mexicanos (González y Pantoja, 2015), los estadounidenses y taiwaneses (Yu-Te, 2013), los mexicanos e italianos (Camacho, 2013), los estadounidenses y japoneses (Brett y Okumura, 1998) y los latinos (Ogliastri, 2000).

Desde esta perspectiva, la negociación se trata de un comportamiento aprendido, principalmente de las costumbres y acciones que son consideradas *normales* en una región. En este sentido, el buen desempeño o una negociación eficaz no depende sólo de un perfil, sino que éste se permea por el contexto en el que se desarrollan (Camacho, 2014; Cubillo y Saorín-Iborra, 2008; Caputo et al., 2019; Ogliastri, 2000).

Dentro de las variables internas que determinan el estilo de negociación de una persona, se encuentran los aspectos personales, al parecer intangibles, que se van a constituir en la base del comportamiento de negociación (Saorín-Iborra, 2008), como lo son ciertas características de la personalidad de los involucrados (Budjac, 2011). Algunos autores asocian los estilos como sinónimo de las intenciones (Thomas, 1992; Saorín-Iborra, 2008) o como causantes de los comportamientos *los comportamientos en la negociación se manifiestan a través de actitudes, acciones y estilos* (Dupont, 1996).

De los modelos mencionados se desprenden varios estilos: la suave para el colaborativo, la dura para la postura competitiva y la objetiva para la postura de los intereses. Desde la perspectiva de la postura, en el estilo duro se ve al otro como un adversario, siempre tiende a la victoria a cualquier costo y considera que

golpear al otro es la clave para lograr sus objetivos, por ende, la relación se da en términos de suma cero, es decir, ganar o perder. Mientras la suave, trata de ver al otro como un amigo y por quien el negociador estaría dispuesto a sacrificarse si esto fuera preciso, también se registra cuando una de las personas se siente lo suficientemente débil comparativamente con el otro, y piensa que lo mejor es ceder (Tobón, 1997), pues este se basa en que no se hallan perdedores, si no en llegar a encontrar por medio de esa negociación, beneficios para ambas partes (Sepúlveda, 2012).

En ambos casos, se trata de estilos opuestos y extremos, pero poco viables debido a que en el primero no se tienen en cuenta los intereses del otro; y en la segunda, se prefiere renunciar a los objetivos por complacer o ceder en la negociación; además, estar en el extremo de una negociación de estilo cooperativa/colaborativa o en una negociación de estilo competitivo no es tan eficaz, y por eso crean un estilo de negociación que visibiliza la mediación, una desprendida de la postura de los intereses, un estilo objetivo (Fisher y Ury, 1991).

Sea ya por vía de las variables externas o por las internas, es claro que cada individuo adquiere y fortalece unas competencias que sirven para los contextos de negociación. Desde esta perspectiva, es claro que las habilidades para la negociación pueden ser adquiridas y desarrolladas y en efecto, perfeccionadas, siempre y cuando se sea consciente del propio estilo negociador y se tenga una disposición para el despliegue de esas competencias. Para ello, lo fundamental es lograr un análisis maduro de las fortalezas y debilidades del propio estilo, así como estudiar sus propios éxitos y fracasos con suficiente rigor (Marrero et al., 2018).

3.5 Las dimensiones del negociador

A partir de este análisis documental, se han descrito las competencias del negociador, las cuales se han integrado dentro de la concepción de las perspectivas, las estrategias y los estilos y elementos que lo caracterizan. Se evidencia que las competencias del negociador emergen desde las primeras interacciones y operan para obtener algo a cambio, lo que supone de manera imprescindible, la presencia de otros que se involucren de modo activo en el proceso y que faciliten la obtención de un beneficio propio o conjunto.

Del análisis de los trabajos desarrollados por distintos investigadores, se han caracterizado tres dimensiones interrelacionadas de las personas que participan en los procesos de negociación: los rasgos de personalidad, las habilidades y competencias, y finalmente las actitudes y comportamientos, que se describen en la Figura 1.



Figura 1. Dimensiones del negociador

3.6 La personalidad del negociador

La personalidad es *constante concebirla como un elemento estable, duradero en el tiempo, que proporciona un sentimiento de unidad* (Lopera et al. 2010) que se integra por otros elementos, como el temperamento y el carácter. El primero corresponde a las características biológicas o constitutivas (Millon y Everly, 1994), mientras que el carácter, alude a *la adherencia de la persona a los valores y las costumbres de la sociedad en la que vive* (Millon y Everly, 1994).

Este fenómeno psicológico se ha estudiado tanto desde el modelo de los rasgos que la concibe como una perspectiva estable, estudiado por ejemplo desde los modelos factoriales, uno de ellos el pentafactorial de

Costa y McCrae, o Big Five (Los cinco grandes), o también desde el modelo biológico de los temperamentos (Kagan, 2011) y, por el contrario, desde una visión situacional se encuentra la perspectiva conductual (Mishel, 2015; Zimbardo, 2007). Actualmente, no hay una convergencia, superación o integración de los modelos mencionados. Para efectos del presente trabajo, se focalizó en el modelo pentafactorial de Costa y McCrae (1989).

El postulado pentafactorial de Costa y McCrae (1992) establece 5 factores, con 6 facetas comprendidas para cada factor: neuroticismo (ansiedad, hostilidad, depresión, ansiedad social, impulsividad y vulnerabilidad), extraversión (cordialidad, gregarismo, asertividad, actividad, búsqueda de emociones y emociones positivas), apertura (fantasía, estética, sentimientos, acciones, ideas y valores), responsabilidad (competencia, orden, sentido del deber, necesidad de logro, autodisciplina y deliberación) y amabilidad (confianza, franqueza, altruismo, actitud conciliadora, modestia, sensibilidad hacia los demás). Cabe señalar que este modelo no está diseñado para el uso clínico, sino para describir a las personas.

El factor neuroticismo (N) consiste en la estabilidad emocional en el núcleo de este factor se encuentran los sentimientos negativos; tales como: miedo, melancolía, vergüenza, ira, culpabilidad y repugnancia. El factor extraversión (E) se vincula con la sociabilidad, la vinculación con la gente y la preferencia por grupos y reuniones; el asertividad, activo y la estimulación y habladores; les gusta la excitación, y la estimulación y tienden a ser de carácter alegre. Suelen ser animosos, enérgicos y optimista. Por su parte, el factor apertura (O) consiste en la disposición para la experiencia, desean poner en consideración nuevas ideas y valores no convencionales y experimentan tanto las emociones positivas como las negativas de manera profunda. La amabilidad (A) se relaciona con las tendencias interpersonales, siendo fundamentalmente altruista, simpatiza con los demás, está dispuesta a ayudarles y cree que los otros se sienten igualmente satisfechos en hacer esto mismo. La responsabilidad (C) es voluntarioso, porfiado y decidido, altos puntajes en este factor indican que es escrupulosos, puntuales y fiables.

3.7 Los comportamientos y actitudes del negociador

Los comportamientos en la negociación se manifiestan a través de los estilos, las actitudes y acciones y (Dupont, 1996; Saorín-Iborra, 2008). Y de acuerdo con Saorín-Iborra (2008) su forma de entenderla se puede organizar en dos grupos: uno que considera los aspectos tácitos e intangibles, y otro que sólo comprende los aspectos visibles y tangibles. En el primer grupo se incluyen *los procesos cognitivos como la percepción, el procesamiento de la información y la valoración* (Weiss, 1993), mientras que el segundo grupo, en concreto, el comportamiento negociador, *es caracterizado como el conjunto de tácticas o acciones comunicativas que dirige cada negociador hacia el resto de las partes que intervienen en el proceso* (Adler et al., 1992; Serrano y Rodríguez, 1993; Tiessen, 2000; Rao y Schmidt, 1998; Saorín-Iborra, 2008).

Una convergencia entre ambos grupos se evidencia en Thomas (1992), el cual plantea un ciclo que desencadena el comportamiento negociador, como se presenta en la Figura 2.

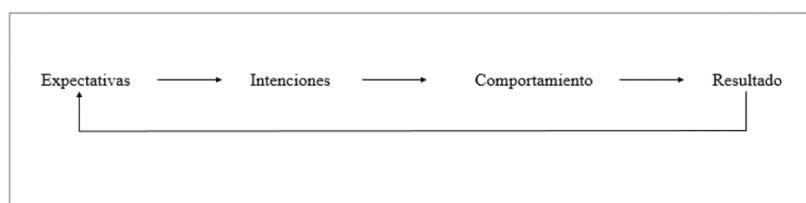


Figura 2. Ciclo que desencadena el comportamiento negociador (Thomas, 1992)

Recientes estudios han optado por superar la visión dicotómica de las conductas; por ejemplo, competitivas (distributivas) -integrativas (colaborativas) y han girado a la idea de un *continuum*, que refiere a una serie de conductas flexibles que transcurren mientras se negocia y, por ende, dependen más de una situación particular, que de una característica constante o permanente. En una revisión de Saorín-Iborra (2007), se opta por las posiciones intermedias de comportamiento negociador y su carácter tangible, siendo: la colaboración, el compromiso, la competición atenuada y la competición los comportamientos que integran ese continuum (Figura 3). La competición es aquel comportamiento basado en una orientación altamente

distributiva o intención de elevada competición. Y respecto a los comportamientos intermedios, mientras que el compromiso supone adoptar un enfoque integrativo, pero no tan extremo como en la colaboración, la competición atenuada implica una orientación competitiva menor a la competición (Saorín-Iborra, 2007).

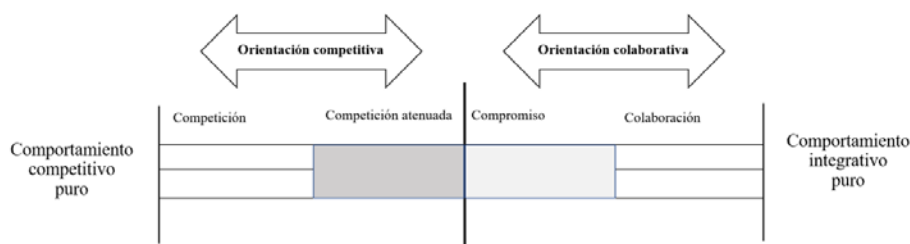


Figura 3. Continuum del comportamiento negociador (Saorín-Iborra, 2008)

Según esta misma autora, desde un comportamiento colaborativo se comparte información de forma abierta, clara, honesta y completa, y se efectúa una comunicación eficaz. Por su parte, en la competición el negociador suele ocultar el máximo de información. Por tanto, con éste, la comunicación que se establece es inefectiva. Entre ambos tipos de comportamientos se encuentran el compromiso y la competición atenuada. El compromiso es similar al comportamiento de colaboración, pero la eficacia comunicativa y el mutuo conocimiento alcanzado entre las partes son menores que en el caso de esta última. La información se comparte abiertamente y de forma bastante clara y honesta. En cambio, la competición atenuada, desde su conceptualización de comportamiento distributivo o competitivo intermedio, implica establecer una comunicación bastante inefectiva. En concreto, conlleva la ocultación de información con parcialidad de aspectos básicos (Saorín-Iborra, 2007).

3.8 Las competencias y habilidades del negociador

Las competencias son una combinación dinámica de conocimientos, habilidades, capacidades y valores (González y Wagenaar, 2006; López-Gómez, 2016) que aluden a la capacidad para responder a las exigencias individuales o sociales para realizar una actividad o una tarea (OCDE, 2003; López-Gómez, 2016). Las competencias son observables, medibles (Betancur, 2013; OCDE, 2003) y transferibles, puesto que, se pueden enseñar y desarrollar de forma gradual (Betancur, 2013). Por eso es posible establecer varios tipos o niveles de competencias: gerenciales, cognoscitivos, emocionales, que permiten un desenvolvimiento eficaz (OCDE, 2003; López-Gómez, 2016). Es recurrente que este término se asocie con el desenvolvimiento para un cargo particular, dando a entender que estas están enmarcadas dentro de unas demandas sociales o laborales, a las cuales, los individuos se ven precisados a alcanzar, pero esta investigación pretende superar esta visión y centrarlo en la persona, no en el cargo.

En el proceso de negociación, el negociador es el principal implicado y actúa conforme a sus habilidades interpersonales (Budjac, 2011), a unas competencias, las cuales se pueden agrupar por el influjo de unas variables implicadas, ya sea intrínsecas o extrínsecas. Respecto a las primeras, se trata de una competencia innata que está permeada por características como la personalidad (Marrero et al., 2010; Budjac, 2011), las emociones (Weisinger, 1998) y la inteligencia emocional (Goleman, 2001), y se ha estudiado por la psicología desde dos orientaciones: desde la teoría de la decisión y los juegos, que aborda el comportamiento humano, grupal y racional (Ott et al., 2016), y por otra parte, desde la teoría de las competencias o habilidades; de ahí a considerar que en la negociación intervienen algunas competencias personales, dentro de los cuales es fundamental la capacidad de comunicarse efectivamente con los demás.

En la revisión de Betancur (2013) sobre las competencias del negociador, se menciona que estas se han orientado desde tres enfoques teóricos distintos; a saber: el conductista, el funcional y el holístico o también denominado multifuncional. El primero consiste en aquellas características de la personalidad asociadas con un desempeño superior y una alta motivación (White, 1959). Las funcionales, por su parte, son repertorios de comportamiento que algunas personas dominan mejor que otras, lo que las hace eficaces en una situación determinada (Levy-Leboyer, 1997). El holístico es una postura más centrada en la persona, en este confluyen los conocimientos -saberes y competencias técnicas-, las funcionales o experiencia -saber hacer y competencias prácticas- y las competencias comportamentales manifiestas con mayor frecuencia

en las relaciones sociales (Betancur, 2013). Desde este último, se permitió una articulación distinta a los enfoques sobre las competencias, ya no centrado en la búsqueda para un puesto o cargo en particular en el que sólo se consideran los conocimientos, sino también los intereses de las personas. De ahí a considerar los aspectos internos como las motivaciones y los rasgos y, en la parte visible los conocimientos y destrezas como se puede visualizar en las Figuras 4 y 5.



Figura 4. Modelo iceberg de competencias (Spencer y Spencer, 1993)

Como se aprecia en la Figura 4, en la parte visible se localizan los conocimientos, entendidos como la información que una persona posee sobre áreas y temas específicos y, las destrezas como la capacidad de desempeñar cierta tarea mental o física. En la parte invisible se localiza el auto-conocimiento, las actitudes, los valores o imagen de una persona; los rasgos son las características duraderas que las personas reflejan mediante conductas consistentes y habituales a situaciones o determinada información. Los motivos son los intereses que una persona considera o desea consistentemente, estos dirigen, conllevan y seleccionan el comportamiento hacia ciertas acciones u objetivos (Betancur, 2013; Spencer y Spencer, 1993).

De esta forma, los hechos y las circunstancias, así como las limitantes de tiempo, afectan las opciones y los resultados de las negociaciones. Sin embargo, nuestra interacción humana se ve en mayor medida afectada por quiénes somos y con quién interactuamos (Budjac, 2011). Es por esta razón que es de suma relevancia conocer el estilo y competencias del negociador (Figura 5), para desplegarlas y lograr resultados eficaces que beneficien a ambas partes.



Figura 5. Competencias del negociador (Betancur, 2013)

Como se mencionó antes, en un proceso de negociación se pretende llegar a un compromiso o acuerdo para la mayor satisfacción posible de ambos. Dicho proceso implica el examen de los hechos de una situación, que afecten tanto a los intereses comunes como a los contrapuestos de las partes involucradas, donde el objetivo irrenunciable es poder resolver el mayor número posible de cuestiones (Garaña, 2015). Tanto así, que les permita crear, mantener o desarrollar una relación productiva y duradera (García-Lomas, 2004; Garaña, 2015).

Así pues, gran parte del éxito de una empresa y de las relaciones que allí intervienen emerge de tener una negociación eficaz; puesto que, la negociación permite entablar relaciones laborales tanto externas como internas. Bien sea entre los colaboradores, entre jefes y cargos subordinados. Algunos de los beneficios de la negociación eficaz se encuentran, por ejemplo: al pretender obtener la financiación para una propuesta o proyecto, un cambio en las dinámicas laborales, una sugerencia o señalamiento a los colaboradores. Aspecto que, facilitan y potencian la consolidación del trabajo en equipo, el equilibrio en las relaciones laborales y hacen que en la empresa se genere un sistema laboral cálido, sólido y eficaz.

Para ello se requieren habilidades y competencias en negociación. De acuerdo con Gómez (2016), la competencia es *una actuación integral capaz de articular, activar, integrar, sintetizar, movilizar y combinar los saberes (conocer, hacer y ser) con sus diferentes atributos*. Borges (2015) afirma que las características que debe tener un negociador son: *es importante tener control de sí mismo, tener seguridad y buscar conocimientos sobre el tópico negociado y sobre los intereses de la otra parte, o sea, estudiar la otra parte e identificar los factores en común para facilitar el proceso de identificación para un mejor acuerdo entre los dos. Para eso, es necesario tener una buena y clara comunicación*.

Por lo que propone que en el mundo empresarial la negociación, va mancomunada para el beneficio del recurso humano y material. Por lo que varios autores proponen que: negociar es la conversa entre dos o más partes que poseen y buscan sus propios objetivos. Es el arte en la cual los ejecutivos dedican más tiempo para perfeccionarse y, sin duda, la más decisiva para lograr los resultados esperados (Sepúlveda, 2012).

Por otra parte, Marrero et al. (2018) plantea que las características de un negociador son: las habilidades cognitivas, técnicas y comunicativas; el dominio de idiomas, la cautela, profesionales, ética e imagen, autoconocimiento, manejo del estrés, motivación al logro, flexibilidad, iniciativa, responsabilidad, comprensión de los demás, gestión de la diversidad, influencia, liderazgo, trabajo en equipo, tal como se ilustran en la Figura 6.

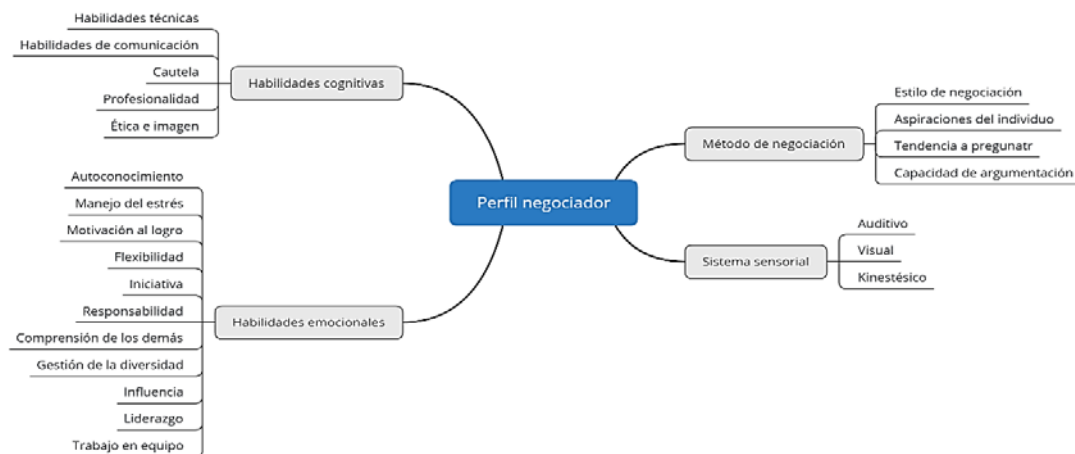


Figura 6. El perfil negociador (Marrero et al., 2018)

Las competencias mencionadas, facilitan el encuentro con el otro al intentar en cada momento un espacio donde se alcancen los beneficios conjuntos, y al comprender esto se permitirá cuidar y preservar las relaciones. Pero, como se evidenció, para esto se requiere destreza y motivación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evidencia una creciente divergencia en la información relacionada con las competencias del negociador, puesto que no hay un consenso que integre todas las competencias que posee un negociador. Además, los estilos de negociación varían según el proceso de negociación, en algunos casos, los negociantes tienen como objetivo conformar una relación laboral para futuras negociaciones, cuyo propósito es mantener estas negociaciones por lo que es una característica de que la negociación desarrollada resultó eficiente y exitosa.

Los estilos de negociación inciden directamente en el resultado de la negociación, este se adhiere según sea el contexto o según sea el sujeto que está negociando pues evidencia que todos los seres humanos se comportan de diferentes maneras, según el contexto, la cultura, valores morales y éticos, según su profesión, y que en el mundo de la negociación existen diferentes formas de llegar a la negociación, formas que se basan según sean sus necesidades a satisfacer, además se ha de tener en cuenta que una característica de gran valor consta de que el sujeto negociante haya hecho un proceso de autoconocimiento en donde conozca sus fortalezas, habilidades que permitan comprender de qué manera se va a llevar (Borges, 2015).

Comprender los comportamientos para poder negociar de acuerdo con el estilo del otro negociador hace una gran diferencia. Aquel que conoce su propio estilo y respeta el estilo del otro lleva una ventaja en la negociación, pues puede trabajar fuerzas y debilidades, garantizando más posibilidades de éxito. Pero para ello se requieren habilidades y competencias en negociación y, de acuerdo con Gómez (2016), la competencia *vendría a ser una actuación integral capaz de articular, activar, integrar, sintetizar, movilizar y combinar los saberes (conocer, hacer y ser) con sus diferentes atributos*, sumándose ciertas características como *tener control de sí mismo, tener seguridad y buscar conocimientos sobre el tópico negociado y sobre los intereses de la otra parte, o sea, estudiar la otra parte e identificar los factores en común para facilitar el proceso de identificación para un mejor acuerdo entre los dos. Para eso, es necesario tener una buena y clara comunicación* (Borges, 2015).

5. CONCLUSIONES

Se identificaron las competencias implicadas en la negociación. Los resultados de esta búsqueda bibliográfica señalan que las competencias se delimitan a un contexto particular en el que en muchos de los casos priman las diferencias individuales o las competencias previas sobre negociación.

Cabe anotar que una limitación para el propósito de la revisión de la bibliografía es responder al objetivo de obtener las competencias de la negociación, pues no existe hasta la fecha un perfil terminado que sea universal pues el tema cabe anotar que lo permean muchas líneas, y se podría clasificar con un tema pluridimensional que sigue en constante estudio.

Independientemente de si se habla o no de la negociación, el negociador eficaz posee unas competencias o características particulares que le facilitan desenvolverse en cualquier campo y situación como en el trabajo, en el hogar, en la rebaja de un bien o servicio. Estas habilidades transversales son: (...) *las habilidades o actitudes emocionales, dado que las mismas ayudan al negociador en su rendimiento aumentando la confianza en sí mismo, mejorando su integridad, su autocontrol, la perseverancia para conseguir sus objetivos en las negociaciones la comprensión de las partes entendiendo la posición del otro, mejora sus habilidades para resolver conflictos de actitudes, y aumenta su capacidad de comunicación, esto se encuentra estrechamente vinculado al desarrollo de la Inteligencia Emocional (IE)* (Marrero et al. 2018)

Bajo este marco se recomienda la realización en el futuro de estudios sobre el fenómeno y las competencias de la negociación bajo la metodología de revisiones sistemáticas, meta-análisis, relacionales y explicativas. Esto permitirá que se unifique el conocimiento teórico sobre el tema.

REFERENCIAS

- Adler, N.J.; Brahm, R. y Graham, J. L. (1992). Strategy Implementation: A comparison of Face-to Face Negotiations in the People's Republic of China and the United States. *Strategic Management Journal* 13, 449-466.
- Amezcu, M. y Gálvez, A. (2002). Los modos de análisis en investigación cualitativa en salud: perspectiva crítica y reflexiones en voz alta. *Rev Esp Salud Pública* 76, 423-436.
- Betancur, S. (2013). Competencias del negociador. *Tesis de maestría*. Universidad EAFIT.
- Borges, L. S. (2015). Las características y el perfil de un negociador eficaz. *Cuadernos de Aulas do LEA4*, 130-139.
- Brett, J. y Okumura, T. (1998). Inter- and Intracultural Negotiation: U.S. and Japanese Negotiators. *The Academy of Management Journal* 41 (5), 495-510.
- Budjac, B. (2011). *Técnica de negociación y resolución de conflictos*. Pearson.

- Camacho, M. (2013). Culturas negociadoras en México e Italia: Una aproximación comparativa. *Semestre Económico* 16 (34), 169-192.
- Camacho, M. (2014). ¿Cómo negocian los mexicanos? *Pensamiento y gestión* 37, 114-125.
- Campbell, N.C.G., Graham, J.L., Jolibert, A. y Meissner, H. G. (1988). Marketing negotiations in France, Germany, the United Kingdom and the United States. *Journal of Marketing* 52, 49-62.
- Caputo, A., Ayoko, O., Amoo, N. y Menke, C. (2019). The relationship between cultural values, cultural intelligence, and negotiation styles. *Journal of Business Research* 9, 23-36.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin* 112(1), 155.
- Costa, P.T. y McCrae, R. R. (1989). Rotation to maximize the construct validity of factors in the NEO Personality Inventory. *Multivariate Behavioral Research* 57, 17-40.
- Cubillo, G. y Saorín-Iborra, C. (2013). El comportamiento de negociación como herramienta para mejorar los resultados: casos de la industria detallista de productos de consumo masivo. En XVIII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. México.
- Curseri, S. T. (2017). Una breve pincelada sobre algunas áreas del saber necesarias para una negociación exitosa. *Suma de Negocios* 8(17), 63-78.
- Dupont, C. (1996). A model of the negotiation process with differences strategies. En Ghauri, P. y Usunier, J.-C. (Eds.), *International Business Negotiations*. Pergamon.
- Fisher, R. y Ury, W. (1991). *Getting to yes: negotiating agreement without giving*. Penguin Books.
- Fisher, R., Ury, W. y Paton, B. (1996). *El arte de negociar sin ceder*. Gestión 2000.
- Garaña-Corces, J.M. (2015). La negociación efectiva. ESIC Editorial.
- García-Lomas, O. L. L. (2004). *La negociación internacional*. Global Marketing Strategies.
- Glaser, R. y Glaser, C. (2009). *Negotiating Style Profile Facilitator Set*. HRDQ Development Team.
- Goleman, D. (2001). *Inteligencia Emocional*. Editorial Kairós.
- Gómez, E. L. (2016). En torno al concepto de competencia: Un análisis de fuentes. *Revista de curriculum y formación del profesorado* 20(1), 311-322.
- González, E., Pantoja, M. y Arredondo, M. (2015). Estilo de negociación entre países de Asia y México: Diferencias y similitudes. *UPGTO Management Review* 1(2), 83-95.
- González, J. y Wagenaar, R. (2003). *Tuning Educational Structures in Europe*. Informe Final Fase 1. Universidad de Deusto.
- Graham, J. L., Mintu, A. T. y Rodgers, W. (1994). Explorations of negotiation behaviors in ten foreign cultures using a model developed in the United States. *Management Science* 40(1), 72-95.
- Guillén, S., Paniagua, F. y Arias, R. (2011). *Manual de formación en negociación basada en intereses*. Funpapel.
- Kagan, J. (2011). *Temperamento y su trauma*. Katz Editores.
- Lax, D.A. y Sebenius, J. (1986). *The manager as negotiator: Bargaining for cooperation and competitive gain*. Free Press.
- Levy-Leboyer, C. (1997). *Gestión de las Competencias: Cómo analizarlas, cómo evaluarlas, cómo desarrollarlas*. Gestión 2000.
- Lopera, J. D., Manrique, H., Zuluaga, M. U. y Ortiz, J. (2010). *El objeto de la psicología: El alma como cultura encarnada*. Editorial Universidad de Antioquia.
- López, J. (2007). Tipos de Negociación. Conversaciones sobre el arte de crear empresas. Recuperado: <http://www.apuntesgestion.com/2007/09/27/tipos-negociaciones/>
- López-Gómez, E. (2016). En torno al concepto de competencia: Un análisis de fuentes. *Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado* 20(1), 311-322.
- Machado, M. (2013). Culturas negociadoras en México e Italia: Una aproximación comparativa. *Semestre Económico* 16(34), 169-192.
- Marrero, Y. y Ortiz, M. (2016). Procedimiento para medir la eficiencia técnica de los negociadores comerciales mediante el análisis envolvente de datos (AED). *Economía y Desarrollo* 157(2), 147-165.
- Marrero, Y., Ortiz, M. y Márquez, F. (2018). Perfil de los negociadores comerciales: Elementos para su caracterización. *Gecontec Revista Internacional De Gestión Del Conocimiento Y La Tecnología* 6(2), 49-60.
- Millon, G. y Everly, G. (1994). *La personalidad y sus trastornos*. Ediciones Martínez Roca.
- Mishel, W. (2015). *El test de la golosina*. Debate.
- Nauta, A. y Saunders K. (2000). Interdepartmental Negotiation Behavior in Manufacturing Organizations. *The International Journal of Conflict Management* 11(2), 135-161.
- OCDE. (2003). Definition and Selection of Competencies (DeSeCo). Recuperado: <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/41529556.pdf>
- Ogliastri, E. (2000). El estilo negociador de los latinoamericanos. Una investigación cualitativa. *Academia. Revista Latinoamericana de Administración* 25, 43-58.
- Ogliastri, E., Rendón, M. I. y Michel, S. (2017). Negociación a la francesa: Un enfoque cualitativo. *Cuadernos de Administración* 30(54), 91-123.
- Ortiz-Torres, M. (2010). *Folleto Fundamentos de Negociación*. Universidad de La Habana.
- Ott, U., Prowse, P., Fells, R. y Rogers, H. (2016). The DNA of negotiations as a set theoretic concept: A theoretical and empirical analysis. *Journal of Business Research* 69(9), 3561-3571.

- Paik, Y. y Tung, R. L. (1999). Negotiating with East Asians: How to Attain 'win-win' Outcomes. *Management International Review* 39(2), 103-122.
- Parra, J., Santiago, E., Murillo, M. y Atonal, C. (2010). Estrategias para negociaciones exitosas. *E-Gnosis* 8, 1-13.
- Parrado, F., Cabezas, L. y Calderón, C. (2018). Estudio De Estilos De Negociación En Perú, México Y Argentina. *Palermo Business Review*, 18, 281-298.
- Patton, B. (2005). Manual de solución de controversias. Recuperado: <http://www.oas.org/dsd/tool-kit/documentosspa/modulov/pattonreading.pdf>
- Paz, I. (2004). Negociación: Competencia Gerencial por Antonomasia. *Revista EIA* 1, 81-98.
- Pérez, J. M. (2019). El modelo Harvard de mediación en tabasco. *Ecos Sociales* 8(22), 1040- 1050.
- Putman, B. (1990). Manual de solución de controversias. Recuperado: <http://www.oas.org/dsd/tool-kit/documentosspa/modulov/pattonreading.pdf>
- Rao, A. y Schmidt, S.M. (1998). A behavioral perspective on negotiation international alliance. *Journal of International Business Studies* 29(4), 665-693.
- Roure, J. B. (1997). *Negociación. Resolución de problemas y Creación de valor*. Ed. Folio.
- Saorín-Iborra, M. Carmen (2008). *Los comportamientos de negociación. ¿Dicotomía o continuum?* EsicMarket.
- Sepúlveda, D. (2012). La negociación cooperativa: una aproximación al modelo Harvard de negociación. *Revista Chilena de derecho y ciencia política* 3(2), 253-271.
- Serrano, G. y Rodríguez, D. (1993). *Negotiation in Organizations*. Eudema S. A.
- Spencer, L. y Spencer, S. (1993). *Competence at work*. John Wiley.
- Thomas, K.W. (1992). Conflict and Negotiation Processes in Organizations. En Dunnette, M.D. y Hough, L.M. (Eds.), *Handbook of Industrial and Organizational Psychology*. Consulting Psychologists Press.
- Thompson, L., Wang, J. y Gunia, B. (2010). Negotiation. *Annual Review of Psychology*, 61(1), 491-515.
- Tiessen, J. (2000). The JV Dilemma: Cooperating and Competing in Japanese Joint Ventures in North America. *Canadian Journal of Administrative Sciences / Revue Canadienne des Sciences del Administration* 17(3), 203-216.
- Tinsley, C. H., O'Connor, K. M. y Sullivan, B. A. (2002). Tough guys finish last: The perils of a distributive reputation. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 88, 621-642.
- Tobón, J. I. (1997). *Método Harvard de Negociación: Cómo negociar con Inteligencia*. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ury, F. (2015). *¡SI DE ACUERDO! Como Negociar sin ceder*. Editorial Norma.
- Walton, R. y McKersie, R. (1965). *A Behavioral theory of Labor Negotiations: An analysis of social interaction system*. McGrawHill.
- Wanderley, J. (1998). *Negociação total: Encontrando soluções, vencendo resistências, obtendo resultado*. Gente.
- Weisinger, H. (1998). *La inteligencia emocional en el trabajo: La comprensión de las propias emociones como una forma de lograr la comunicación óptima*. Josse-Bass.
- Weiss, S. E. (1993). Analysis of Complex Negotiations in International Business: The RBC Perspective Organization Science. *Ciencias de la organización* 4 (2), 269-300.
- White, R.W. (1959). Motivation Reconsidered: The Concept of Competence. *Psychological Review* 66, 297-333.
- Yu-Te, T. (2014). Cross-cultural equivalence and latent mean differences of the Negotiation Style Profile (NSP-12) in Taiwan and US managers. *International Journal of Intercultural Relations* 43, 156-164.
- Zimbardo, P. (2007). *The Lucifer Effect*. Randon House.

La gestión de la calidad y su efecto en el desarrollo de la exploración organizativa. Una investigación empírica en la industria agroalimentaria ecológica

Aldo Giovanni Caypa Altare¹

María D. Moreno-Luzón²

Universidad de Valencia

España

La gestión de la calidad es un enfoque de dirección ampliamente utilizada en las organizaciones para mejorar la calidad de los productos y servicios y el desempeño en general de las empresas. La exploración organizativa es vista como un instrumento fundamental para asegurar la sostenibilidad, rentabilidad y supervivencia futura de las organizaciones. No hay acuerdo en investigaciones anteriores sobre cuál es el papel que juega la gestión de la calidad en el desarrollo de la exploración organizativa. Diferentes autores señalan la importancia de la gestión de la calidad en el desarrollo de actividades que impulsen la exploración organizativa, por el contrario, otros autores subrayan su papel inhibitorio en generar acciones o conductas que la fomenten. Dada la gran controversia existente en la literatura con argumentos a favor y en contra del papel de la gestión de la calidad en el desarrollo de la exploración organizativa, basándonos en una profunda y extensa revisión de la literatura, analizamos cual es el papel de la gestión de la calidad, agrupadas sus prácticas en cuatro grandes grupos, procesos, personas, proveedores y clientes. Probamos nuestro modelo en una muestra de 350 empresas pertenecientes a la industria agroalimentaria ecológica española. Nuestros resultados proveen evidencia empírica de que la gestión de la calidad tiene un impacto positivo y significativo en el desarrollo de la exploración organizativa.

¹ Candidato a Doctor en Dirección de empresas.

Contacto: alcayal@alumni.uv.es

² Profesora catedrática.

Contacto: maria.moreno@uv.es

1. INTRODUCCIÓN

La exploración organizativa es *una herramienta de aprendizaje cuyo objetivo es experimentar con nuevas alternativas* (March, 1991:85). También es definida como *la búsqueda de nuevos conocimientos, de cosas que podrían llegar a conocerse* (Levinthal y March, 1993). Se refiere al aprendizaje obtenido mediante procesos de variación concertada, juego y experimentación planificada (Baum et al., 2000). Su objetivo es lograr flexibilidad y novedad en la innovación de productos a través de una mayor variación y experimentación (Auh y Menguc, 2005). Implica la búsqueda de nuevos conocimientos e información que puedan llevar a cambios en la organización, creando así un nuevo valor (Backstrom et al., 2017).

Sin exploración, la reserva de conocimiento de una empresa disminuirá. Es decir, los esfuerzos exploratorios ayudan a renovar y ampliar continuamente su base de conocimiento (Andriopoulos y Lewis, 2009). Permite la identificación y adquisición de nuevos recursos y capacidades para satisfacer las necesidades futuras de las organizaciones (Asif, 2017). La exploración organizativa rara vez crea valor inmediato, lo que provoca que las empresas le presten menos atención (Chen, 2017). Sus resultados son inciertos, lejanos y algunas veces negativos (March, 1991). Los beneficios asociados con la exploración son más variables y distantes en el tiempo, las empresas enfocadas en la exploración generan una mayor variación en el rendimiento, al experimentar un éxito sustancial y también un fracaso (He y Wong, 2004).

La gestión de la calidad es una forma de dirigir las organizaciones que se rige por un conjunto de principios específicos que son aplicables a todas las áreas organizativas, para satisfacer a los diferentes grupos de interés, principalmente al de los clientes (Dale, 1999; Dale et al., 2007). Es un enfoque ampliamente utilizado para mejorar la calidad de los productos, procesos y el rendimiento en general de las organizaciones, mejora el desempeño de la organización a través de la implantación de principios tales como la orientación al cliente, la mejora continua y el trabajo en equipo (Asif, 2017). Ebrahimi y Sadeghi (2013) señalan que las prácticas de gestión de la calidad contribuyen a un mejor desempeño de las organizaciones.

En un marco de gestión de la calidad, la exploración incluye prácticas que apuntan a aprovechar lo desconocido y a identificar y buscar soluciones novedosas, particularmente en procesos y productos que son nuevos para la empresa. La exploración mantiene las organizaciones abiertas y flexibles a nuevas ideas (Zhang et al., 2012). Zhang (2009) asocia la gestión de la calidad y la exploración, y define la conexión entre ellas como *las prácticas de gestión de la calidad que se utilizan para obtener nuevos conocimientos sobre la innovación de procesos y la exploración de lo desconocido*.

En nuestro estudio nos interesa conocer si la aplicación de la gestión de la calidad tiene una influencia positiva o negativa sobre la exploración organizativa porque este es un tema muy controvertido en la literatura especializada y es importante por la gran difusión de la gestión de la calidad en todo tipo de organizaciones.

Por un lado, diferentes estudios señalan la importancia de los principios de la gestión de la calidad en el desarrollo de prácticas y conductas, que puedan favorecer u obstaculizar el desarrollo de la exploración organizativa. Douglas y Judge (2001) en su estudio concluyen que las organizaciones que demostraron un nivel más alto de exploración, mostraron una relación más fuerte entre la implantación de la gestión de la calidad y el desempeño financiero. En las organizaciones las personas que desempeñan funciones orientadas al desarrollo de la exploración organizativa, son proactivas, descubren y configuran oportunidades en un momento dado, actúan como exploradores, mientras buscan activamente nuevas oportunidades de negocios, mostrando alerta y fomentando la experimentación (Volery et al., 2015). Kim et al. (2012) concluyen que la información y el conocimiento en un conjunto de rutinas acumuladas a través de la gestión de procesos, principio fundamental de la gestión de la calidad, ayudan a las empresas a establecer una base de aprendizaje, y facilitan las actividades innovadoras y creativas.

Las prácticas de gestión de procesos correctamente implantadas en las organizaciones apoyan la exploración (Lenning, 2018). Por otra parte, algunos estudios señalan que la gestión de procesos explica mejor los cambios hacia una cultura de explotación antes que de exploración, señalando un cierto desequilibrio hacia la explotación (Moreno et al., 2013; Santos et al., 2018). En entornos dinámicos, las

prácticas de gestión por procesos son menos propicias para la efectividad organizativa (Benner y Tushman, 2003). Benner y Tushman (2003) concluyen en su estudio que las capacidades de gestión de procesos podrían frenar la exploración requerida para una adaptación a largo plazo.

Podemos ver la relevancia de la gestión de la calidad y la exploración organizativa en el ámbito empresarial, considerando, la gestión de la calidad como un enfoque de gestión ampliamente utilizado en las organizaciones, para la mejora de sus servicios y productos, y la exploración organizativa como una capacidad dinámica, herramienta importante de éxito para asegurar la sostenibilidad y rentabilidad de las organizaciones a largo plazo. Hay poca evidencia empírica que muestre la relación entre comportamientos y conductas desarrolladas en un marco de gestión de la calidad que promuevan el desarrollo de la exploración organizativa. El objetivo de la presente investigación es analizar si las decisiones y acciones implantadas en el marco de la gestión de la calidad favorecen o impiden el desarrollo de la exploración organizativa. Este estudio ayuda a esclarecer cual es el papel de la gestión de la calidad en el desarrollo de la exploración organizativa.

Esta investigación ha sido estructurada en diferentes apartados. El *apartado uno* se centra en el marco teórico del estudio y el desarrollo de la hipótesis propuesta. El *apartado dos* describe la metodología desarrollada para la obtención y recogida de la información. El *apartado tres* expone los resultados del análisis de los datos. Para finalizar, el *apartado cuatro* plantea el análisis de los resultados encontrados frente a lo propuesto en la literatura por diferentes autores, así como expone las conclusiones de la presente investigación.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Exploración organizativa

La exploración es una capacidad dinámica, dado que el papel de las capacidades dinámicas es la transformación de los recursos existentes en nuevas competencias funcionales que se adapten mejor al medio ambiente (Eisenhardt y Martin, 2000). Yalcinkaya et al. (2007) define la capacidad de exploración como *la capacidad de la organización para adoptar nuevos procesos, productos y servicios únicos diferentes de aquellos utilizados en el pasado*. Es una capacidad clave para asegurar la longevidad y supervivencia empresarial (Josephson et al., 2016). Es la tendencia de una empresa a invertir recursos para adquirir conocimientos, habilidades y procesos completamente nuevos. Se relaciona positivamente con el aprendizaje y, a su vez, el rendimiento adaptativo de la organización a largo plazo (Greco et al., 2019). Ayuda a renovar y ampliar continuamente la base de conocimientos de una empresa (Andriopoulos y Lewis, 2009). Proporciona a las organizaciones la capacidad innovadora y la flexibilidad necesarias para su crecimiento (Njoroge y Muathe, 2018).

La exploración organizativa se centra en el uso del conocimiento implícito a través de los procesos de externalización e integración del conocimiento, para desarrollar nuevas tecnologías y nuevos mercados (Peng y Lin, 2019). Implica actividades y procesos asociados a nuevos productos (Voss et al., 2008). Hace referencia al aprendizaje y la innovación, la búsqueda y adquisición de nuevos conocimientos (Gupta et al., 2006). La innovación exploratoria se caracteriza por un alto grado de incertidumbre y riesgo, donde la colaboración de los empleados se convierte en un factor clave para su desarrollo (Cui et al., 2019). Incluye actividades tales como, descubrir nuevas habilidades y recursos, investigar las necesidades de los clientes y participar en actividades que puedan ofrecer ideas innovadoras (Auh y Menguc, 2005). Engloba términos como variación, asunción del riesgo, experimentación, flexibilidad, innovación, invención (March, 1991).

La esencia de la exploración es la experimentación con nuevas alternativas (March, 1991). La exploración es asociada a la búsqueda de nuevo conocimiento, de las cosas que podrían llegar a conocerse (Levinthal y March, 1993). Su objetivo es descifrar el futuro antes que la competencia lo haga (Tushman y Euchner, 2015). La exploración es asociada ampliamente con nociones como diversidad organizativa, diversificación y variación. Fenómenos como la diversificación de productos, la asunción del riesgo, la internacionalización, la variación en las formas organizativas y la experimentación con nuevos conocimientos, son relacionados a manifestaciones de exploración. Implica un cambio en la base de conocimientos y habilidades actuales de

una organización, donde la flexibilidad y el cambio se convierten en factores esenciales para su desarrollo (Lavie et al., 2010).

La exploración por su naturaleza, es ineficiente y está asociada con un aumento inevitable en el número de malas ideas. Sin embargo, sin un esfuerzo hacia la exploración, es probable que las empresas, ante el cambio, fracasen (O'Reilly y Tushman, 2013). Fu et al. (2015) concluyen que las organizaciones que son más efectivas en la exploración de nuevas ideas, deberían prestar más atención en mantener y continuar esa capacidad innovadora para lograr un alto rendimiento, en lugar de equilibrar la exploración y explotación. Una preferencia por la exploración resulta en costes excesivos de experimentos fallidos y recompensas insuficientes para los que tienen éxito (Greve, 2007).

2.2 Gestión de la calidad

Camisón et al. (2006) definen la gestión de la calidad como *un sistema que relaciona un conjunto de variables relevantes para la puesta en práctica de una serie de principios, prácticas y técnicas para la mejora de la calidad*. La gestión de la calidad mejora el rendimiento de la organización mediante la implementación de principios como el enfoque en el cliente, la mejora continua y el trabajo en equipo (Asif, 2017). Dean y Bowen (1994) señalan que la gestión de la calidad es un enfoque de gestión, dispone de un conjunto de principios que se refuerzan mutuamente, cada uno de los cuales está respaldado por un conjunto de prácticas generales y técnicas específicas. Flynn et al. (1995) señalan que la gestión de la calidad es un medio integrado e interfuncional para lograr y mantener una ventaja competitiva. Es una filosofía que impregna a toda la organización, en lugar de la responsabilidad de unos pocos individuos o departamentos aislados.

La gestión de la calidad es *una filosofía de gestión integradora dirigida a la mejora continua del rendimiento*. Está caracterizada por sus principios, prácticas y técnicas (Ebrahimi y Sadeghi, 2013) *son actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad* (AENOR, 2015). *Es una filosofía de administración holística, que se esfuerza por mejorar continuamente en todas las funciones de una organización* (Kaynak y Hartley, 2005:256).

Las iniciativas de gestión de la calidad ofrecen un enfoque que las empresas utilizan para mejorar su desempeño (Zhang et al., 2012; Zhang et al., 2014). Solo se puede lograr si el concepto de calidad se utiliza en todos los procesos organizativos a partir de la adquisición de recursos hasta la entrega del producto final (Kaynak y Hartley, 2005). La gestión de la calidad ayuda a una organización a orientar los cambios, enfocados en las necesidades de los clientes, minimizar las actividades sin valor y reducir el tiempo y los costes de desarrollo de nuevos productos. Por lo tanto, genera la satisfacción del cliente, la innovación y la mejora del rendimiento empresarial (Kim et al., 2012).

Como filosofía de gestión, los factores críticos de éxito de la gestión de la calidad han sido analizados en un gran número de estudios, que varían según lo indicado por su contexto y condición de investigación (Sweis et al., 2019). Moreno y Valls (2011) en su estudio clasifican las prácticas de la gestión de la calidad dentro de tres dimensiones: 1) Procesos, 2) Personas, y 3) Clientes. Los procesos, con el estudio de su análisis y diseño, recopilación de información y aplicación de técnicas de control, estandarización, difusión de las mejores prácticas, y el esfuerzo continuo para mejorar los procesos. En lo referente a las personas, compromiso e implicación de la dirección y todos los empleados, entrenamiento continuo, comunicación, trabajo en equipo y cooperación, empoderamiento y participación. Y, por último, los clientes, caracterizada esta dimensión por el profundo conocimiento de las necesidades y expectativas del cliente, orientación de la organización a aumentar la satisfacción del cliente, y el desarrollo de estrechas colaboraciones con clientes y proveedores.

Dada la gran cantidad y magnitud de prácticas de la gestión de la calidad propuestas en la literatura, y el complejo tema de abordar cada uno de ellos en la búsqueda de sinergias entre la gestión de la calidad y la exploración organizativa, se agrupan estas prácticas en cuatro (4) dimensiones o ejes (procesos, personas, proveedores y clientes), siguiendo los parámetros establecidos en previos estudios (Bou-Llugar et al., 2009; Dean y Bowen, 1994; Moreno- et al., 2001; Moreno y Valls 2011), donde esta categorización basada en las prácticas de la gestión de la calidad (Tabla 1), han sido de gran ayuda en el análisis de los datos.

Tabla 1. Agrupación de las prácticas de la gestión de la calidad en cuatro grandes dimensiones

Dimensiones	Prácticas de la gestión de la calidad
Procesos	Análisis y diseño de los procesos
	Recopilación de información y aplicación de técnicas de control
	Estandarización
	Difusión de las mejores prácticas
	Esfuerzo continuo para mejorar los procesos
Personas	Compromiso e implicación de la dirección y todos los empleados
	Formación continua
	Comunicación
	Trabajo en equipo y cooperación
Proveedores	Empoderamiento y participación
	Estrecha colaboración con proveedores
Clientes	Alianzas con la cadena de suministros
	Profundo conocimiento de las necesidades y expectativas del cliente
	Orientación de la organización a aumentar la satisfacción del cliente
	Estrecha colaboración con clientes

2.3 La gestión de la calidad y la exploración organizativa

Como ya vimos en los apartados de gestión de la calidad, esta es referida como un enfoque de dirección ampliamente utilizado en las empresas, el cual incluye un gran conjunto de principios y prácticas aplicados a todas las áreas de la organización (Dale 1999; Dale et al., 2007) para mejorar su desempeño y rendimiento (Ebrahimi y Sadeghi, 2013). La exploración organizativa se considera una herramienta esencial para lograr la sostenibilidad y perdurabilidad de las organizaciones a largo plazo, asociada a la búsqueda y adquisición de nuevos recursos y capacidades, que aseguren sus necesidades futuras (Josephson et al., 2016).

Diferentes estudios señalan la importancia de la gestión de la calidad en el desarrollo de prácticas y conductas que favorecen el desarrollo de la ambidestreza organizativa (Asif y De Vries, 2015; Auh y Menguc, 2005; Bledow et al., 2009; Chen, 2017; Fu et al., 2015; Gupta et al., 2006; He y Wong, 2004; Lenning, 2018; March, 1991; Moreno y Valls, 2011; Rafailidis et al., 2017; Raisch y Birkinshaw, 2008; Turner et al., 2013; Tushman y O'Reilly, 1996; Tushman y Euchner, 2015; Yan et al., 2016), pero pocos estudios de carácter empírico o teórico se han centrado en el papel que juega la gestión de la calidad en el desarrollo de actividades y conductas que promuevan la exploración organizativa. A la vez, en la literatura aún no existe una postura clara al respecto, dado los diferentes argumentos en favor y en contra, sobre si la gestión de la calidad fomenta o inhibe el desarrollo de la exploración organizativa.

Por un lado, Santos et al. (2018) concluyen que la gestión de la calidad tiene una debilidad para promover la exploración organizativa en la formulación estratégica de la organización. Señalan que la exploración causa variabilidad en los procesos debido a sus altos niveles de experimentación e incertidumbre, no obstante, subrayan que los procesos clave organizativos deben proporcionarse con suficiente flexibilidad para operar en entornos desconocidos durante la búsqueda exploratoria y la experimentación, para de este modo favorecer el desarrollo de la exploración organizativa.

En la misma línea de investigación, Moreno y Valls (2011) concluyen que la aplicación intensiva de la gestión de procesos en un marco de gestión de la calidad puede desequilibrar sustancialmente la ambidestreza hacia el enfoque exclusivo centrado en las actividades de explotación, en cuyo caso se reduce o dificulta el desarrollo de la exploración. Sin embargo, que la aplicación intensa de principios y prácticas de gestión de la calidad más orgánicas y humanas, de descentralización, cooperación, compromiso y liderazgo, así como elementos flexibles de carácter comercial, en la búsqueda de nuevos mercados y clientes, pueden complementarse, influir y lograr un equilibrio que desarrolle plenamente el potencial ambidiestro.

Benner y Tushman (2003) destacan que las capacidades de gestión por procesos, principio fundamental de la gestión de la calidad, podrían frenar la exploración requerida para una adaptación a largo plazo de las organizaciones. Señalan que las actividades de gestión de procesos están asociadas positivamente con la efectividad organizativa en un conjunto limitado de condiciones: durante períodos de estabilidad, cambios o innovaciones incrementales y clientes existentes.

Birkinshaw et al. (2007) resaltan diferentes razones por las que tantas organizaciones luchan con la innovación discontinua asociada a la exploración: 1) los frutos de la innovación discontinua son inciertos, difíciles de entender y por lo general, tardan en emerger; 2) a las empresas les resulta difícil romper con rutinas establecidas y hasta ahora exitosas, sus estructuras y procesos existentes se organizan en relación a un conjunto de clientes y productos determinado históricamente y sus sistemas de incentivos están orientados a mantener y mejorar el sistema establecido; 3) las fuerzas de inercia se extienden a las redes y sistemas de relaciones de la empresa. Sin embargo, sin un giro hacia la exploración, las organizaciones no podrían asegurar su supervivencia y competitividad a largo plazo (Ahmadi et al., 2017). La exploración proporciona a las organizaciones la capacidad innovadora y la flexibilidad necesarias para su crecimiento (Njoroge y Muathe, 2018). Permite la identificación y adquisición de nuevos recursos y capacidades para satisfacer las necesidades futuras de las organizaciones (Asif, 2017).

Por otro lado, Zhang (2009) y Zhang et al. (2014) en sus estudios destacan el efecto positivo de las prácticas de gestión de la calidad con una orientación exploratoria, las cuales ayudan a obtener nuevos conocimientos, fomentar el aprendizaje y explorar lo desconocido, lo que contribuye al rendimiento y sostenibilidad de las organizaciones en entornos con alta presión competitiva o en mercados que cambian y evolucionan rápidamente, donde la adecuada implementación y combinación de sus prácticas sean fuente de ventaja competitiva. Igualmente, la gestión de la calidad se relaciona positivamente con productos o procesos innovadores tanto en mercados existente como en mercados emergentes, donde sus prácticas de manera conjunta proporcionan a las organizaciones ventajas en términos de rendimiento, facilitando actividades innovadoras (Kim et al., 2012), vitales para el desarrollo de la exploración organizativa.

Del mismo modo, las prácticas de gestión de la calidad en conjunto proporcionan un medio para la creación de conocimiento en toda la organización, convirtiéndose este conocimiento en la base para el desarrollo de la exploración organizativa (Asif et al., 2013). Prajogo y Sohal (2003) concluyen que la gestión de la calidad contribuye de manera positiva y significativa al desempeño de la innovación. Sugiere que una estrategia centrada en mejorar los procesos para mejorar el rendimiento de la calidad del producto podría llevar a las empresas a la adopción e implementación de la innovación de procesos, fomentando innovaciones radicales, en términos de nuevas tecnologías con el fin de mejorar el proceso. Entre los resultados de su estudio empírico, Abrunhosa y Sa (2008) respaldan la importancia de los principios de la gestión de la calidad como impulsores de la innovación.

Vamos a investigar si la implementación de la gestión de la calidad crea un entorno favorecedor o por el contrario obstaculiza el desarrollo de la exploración organizativa. Constituida por una serie de principios, prácticas y políticas que de forma conjunta podrían crear un ambiente propicio, que junto con todos sus grupos de interés incentive el desarrollo de la exploración organizativa conllevando la sostenibilidad y rentabilidad futura de las organizaciones. En línea con lo anteriormente expuesto, se propone como hipótesis: *La implementación de la gestión de la calidad tiene un efecto positivo y significativo en el desarrollo de la exploración organizativa.*

3. MÉTODO

3.1 Muestra y recolección de datos

Nuestro estudio se centra en las empresas pertenecientes a la industria agroalimentario ecológica española. Debido a la creciente demanda de los consumidores de alimentos seguros, éticos y de alta calidad, la producción y el consumo de alimentos y productos orgánicos ha aumentado rápidamente en las últimas dos décadas. Para que la confianza del consumidor y la demanda en la industria se mantengan altas, se deben garantizar los beneficios de seguridad, calidad y salud de los alimentos orgánicos (Cooper et al., 2007). El aumento de la importancia de la calidad y la seguridad ha llevado a la industria alimentaria a desarrollar varios sistemas de control de calidad, que se han hecho necesarios a lo largo de los años (Bilalis et al., 2009).

Hoy en día, los certificados orgánicos son condiciones previas necesarias para comenzar y continuar las relaciones comerciales con un proveedor, distribuidor y generalmente se complementan con certificados

para estándares como ISO 9001, HACCP o IFS (Bernzen y Braun, 2014). Conocer cuál es el papel de la gestión de la calidad en el desarrollo de la exploración organizativa se convierte en un factor clave de éxito para este sector. Por un lado, la gestión de la calidad, enfoque de dirección altamente utilizado para dar cumplimiento a las normas de calidad, las normas de la industria agroalimentaria y la norma de marca “eco” para de este modo obtener las tan anheladas certificaciones, cuyo beneficio es garantizar que los productos cumplen con los estándares ambientales y de calidad (Dudley et al., 1997). De otro lado, la exploración organizativa, vista como un elemento esencial para el crecimiento y perdurabilidad de esta industria, dada la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías, equipos modernos, variedades mejoradas de cultivos, prácticas de conservación del suelo y el agua, así como la divulgación de políticas basadas en el conocimiento, para crear un entorno propicio para la innovación agrícola y la educación (Reganold y Wachter, 2016).

Dada la gran magnitud del sector agroalimentario ecológico español, la cual agrupa un gran número de productores, transformadores, comercializadores y diferentes puntos de venta, para la realización del estudio, se escogieron las empresas transformadoras.

El trabajo de campo fue realizado entre diciembre 2017 y enero 2018. Basados en la información obtenida de la página del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España, se logró delimitar la población objeto de este estudio y obtener la población por comunidad autónoma y por autoridad certificadora. Posteriormente se obtuvo la información de contacto de cada una de las empresas, se validó la actividad a la que se dedicaban, y se obtuvo la participación real de las empresas agroalimentarias ecológicas transformadoras. En cuanto a la obtención de la información utilizamos cuestionarios, para medir cada una de las variables objeto de este estudio (la gestión de la calidad y la exploración organizativa).

Para obtener la validez de contenido de cada uno de los constructos, se realizó una revisión exhaustiva y profunda de la literatura, que incluyó trabajos, tanto de carácter empírico como teórico, para poder obtener cada uno de los ítems de las variables a medir. Realizamos una prueba piloto que contó con la colaboración de los gerentes y los directores de calidad o directores técnicos, así como con entidades certificadoras, pertenecientes al sector agroalimentario ecológico español, con el fin de ajustar y mejorar el entendimiento de cada una de las preguntas y de este modo obtener el cuestionario final. Del mismo modo, contamos con el apoyo de un grupo de expertos académicos con quienes se realizaron los últimos ajustes al cuestionario y de este modo obtener el definitivo.

Para evitar problemas de sesgo al recolectar los datos de las variables dependientes e independientes por un mismo encuestado, también llamado el Common Method Variance, se optó porque las preguntas fueran respondidas por dos fuentes diferentes dentro de la organización, los gerentes y los directores de calidad o directores técnicos.

Para la recolección de la información, se contó con el apoyo de una empresa experta en este tipo de estudios, la cual estuvo a cargo del envío de los cuestionarios, manejo de la información y seguimiento de la contestación de estos mediante correos electrónicos y llamadas telefónicas.

El cuestionario se dividió en dos partes, una parte de las preguntas más adecuadas para los gerentes de las empresas, que incluyeron temas relacionados con la exploración organizativa, y otra para los directivos de calidad o directores técnicos, que incluyeron temas relacionados con la gestión de la calidad sobre los procesos, las personas, los proveedores y los clientes.

Un total de 609 cuestionarios fueron contestados por los gerentes de las empresas y 356 por los directivos de calidad o directivos técnicos. Cabe especificar que hay menos cuestionarios contestados por los directores de calidad o directores técnicos debido a que las direcciones de correo de estos fueron suministradas por los mismos gerentes al contestar sus cuestionarios para asegurar en la investigación que eran los cargos correctos de las mismas empresas que los gerentes. Al realizar el enlace para obtener el número total de cuestionarios contestados por las dos fuentes, 6 cuestionarios fueron eliminados, debido

a que no presentaban ninguna variabilidad en sus respuestas, ya sea por parte de los gerentes o de los directores de calidad o directivos técnicos. Por lo tanto, se obtuvo una muestra final de 350 cuestionarios cumplimentados y validados en su totalidad por los dos grupos encuestados, correspondiente al 13,73% de la población objeto de este estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Ficha técnica de la muestra

Industria	Agroalimentaria ecológica
Ámbito geográfico	España
Población	2.548 Empresas
Muestra final	350 Empresas
% de contestación	13,73%
Encuestados	Gerentes y directivos de calidad o directivos técnicos
Obtención de la información	Cuestionarios web

3.2 Escala de medidas

3.2.1 Exploración organizativa

Se llevó a cabo una revisión amplia y profunda de la literatura, la cual evidenció una gran gama de instrumentos para medir la exploración organizativa, entre los cuales cabe destacar los estudios de Jansen et al. (2006) y Lubatkin et al. (2006), quienes evalúan la exploración enfocada a la obtención de diferentes tipos de innovación, en lugar de centrarse en resultados relacionados con innovaciones radicales e incrementales. De las escalas seleccionadas se eligieron, a la vez, aquellas que permitieran medir la exploración organizativa como una capacidad de la empresa.

3.2.2 Gestión de la calidad

Se hizo una revisión exhaustiva de la literatura sobre las diferentes escalas utilizadas para medir cada una de las dimensiones de la gestión de la calidad propuestas en esta investigación. Para este estudio se agruparon en 4 grandes dimensiones, como se menciona anteriormente y se evidenció que la mayoría de estos constructos han sido medidos utilizando principalmente la escala de medición empleada por Huo et al. (2014). Aunque en lo referente a cada una de las cuatro dimensiones se buscó obtener una escala más orientada aquellas prácticas, estrategias y necesidades de la industria agroalimentaria ecológica. En lo referente a clientes y proveedores fueron analizados diferentes estudios de carácter empírico, como son los estudios de Ahire et al. (1996), Saraph et al. (1989), Prajogo y Hong (2008), Samson y Terziovski (1999) y Swink y Schoenherr (2015). En lo que respecta a las dimensiones de procesos y personas fueron analizados los estudios de Bou et al. (2009), Dean y Bowen (1994), Moreno et al. (2001).

4. RESULTADOS

4.1 Propiedades psicométricas de las escalas de medida

Cuatro criterios fueron considerados para evaluar las propiedades psicométricas de las escalas de medida utilizadas en la presente investigación: la validez de contenido, la fiabilidad, la validez discriminante y convergente. La Tabla 3 expone los diferentes métodos que se validaron para la comprobación de las propiedades psicométricas.

Tabla 3. Metodología para la comprobación de las propiedades psicométricas de las escalas de medida (Adaptado de Salas, 2013)

Propiedades psicométricas	Metodología de comprobación
Validez de Contenido	Revisión de la literatura
Fiabilidad	Alpha de Cronbach (α) $\geq 0,7$ Fiabilidad compuesta $\geq 0,6$
Validez convergente	Magnitud de las cargas factoriales $\geq 0,6$ La varianza extraída promedio $\geq 0,5$ Fiabilidad compuesta $\geq 0,6$
Validez divergente	Criterio de Fornell y Larcker

La *validez de contenido* se obtuvo mediante una revisión exhaustiva de la literatura existente concerniente a nuestros constructos (i.e. exploración organizativa, gestión de la calidad), donde se seleccionó cada uno de los ítems de la escala de medida (validados en estudios previos). A través de entrevistas personales con académicos y expertos en el tema, se analizó la validez de contenido de cada escala de medida y se confirmó que las preguntas seleccionadas fueran completamente entendidas en el sector analizado.

La *fiabilidad* fue evaluada a través del alpha de Cronbach, cuyos valores obtenidos fueron $\geq 0,7$, lo que sugieren que todos los ítems son fiables y consistentes (Nunnally y Bernstein, 1994), al igual que valores superiores a 0,6 respecto a la fiabilidad compuesta (Bagozzi y Yi, 1988). Entre las medidas utilizadas para evaluar la *validez convergente* utilizamos: 1) las cargas factoriales, todas las cargas factoriales son significativas ($p > 1000$) y superiores a un valor mínimo recomendado $\geq 0,6$ (Bagozzi y Yi, 1988); 2) la varianza extraída promedio (Average Variance Extracted AVE) cuyos valores obtenidos fueron superiores a 0,5 (Fornell y Larcker, 1981); y 3) fiabilidad compuesta explicada en el párrafo anterior. Según los valores expuestos en la Tabla 4, todos los criterios anteriormente descritos se cumplen.

Tabla 4. Cargas factoriales estandarizadas, α de Cronbach, AVE y fiabilidad compuesta

Variables	Ítems	Cargas Factoriales ^a	t valor	α de Cronbach	FC ^b	AVE ^c
Exploración Organizativa	aer1	0,865***	39,690	0,903	0,924	0,672
	aer2	0,845***	30,636			
	aer3	0,842***	32,662			
	aer4	0,894***	60,197			
	aer5	0,744***	17,450			
	aer6	0,711***	13,400			
Procesos	cpr1	0,828***	40,896	0,831	0,888	0,664
	cpr2	0,804***	23,417			
	cpr3	0,761***	20,174			
	cpr4	0,863***	48,593			
	cpe1	0,858***	37,800			
Personas	cpe2	0,888***	57,118	0,888	0,922	0,748
	cpe3	0,885***	53,679			
	cpe4	0,827***	30,986			
	cip1	0,878***	56,383			
Proveedores	cip2	0,925***	82,770	0,922	0,945	0,812
	cip3	0,933***	107,676			
	cip4	0,867***	51,779			
	cic1	0,823***	29,719			
Clientes	cic2	0,847***	38,286	0,872	0,913	0,724
	cic3	0,890***	66,342			
	cic4	0,841***	32,924			

^a Valores de las cargas factoriales $\geq 0,6$ y significantes * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

^{b c} Valores de FC (Fiabilidad compuesta) son todos $\geq 0,6$ y valores AVE (Análisis de la varianza extraída) son todos $\geq 0,5$, indicando validez convergente (Hair et al., 2014)

Finalmente, la *validez discriminante* representa la medida en que el constructo es empíricamente distinto de otros constructos o, en otras palabras, el constructo mide lo que se pretende medir (Hair et al., 2014). Esta fue obtenida mediante el criterio de Fornell y Larcker (1981). Este método señala que el constructo comparte más varianza con sus indicadores que con cualquier otro constructo. Es decir, el AVE de cada constructo debe ser mayor que su correlación al cuadrado que con cualquier otro constructo (Hair et al., 2014). Según los valores de la Tabla 5, la condición anterior se cumple en todos los casos.

Tabla 5. Criterio de Fornell y Larcker (1981)

	CLI	EXP	PER	PRO	PRV
CLI	0,850				
EXP	0,230	0,819			
PER	0,560	0,241	0,865		
PRO	0,544	0,265	0,760	0,815	
PRV	0,631	0,228	0,548	0,531	0,901

Nota: Los valores en la diagonal son las raíces cuadradas del AVE. Debajo de la diagonal: Las correlaciones entre los factores

CLI: Clientes; EXP: Exploración organizativa; PER: Personas; PRO: Procesos; PRV: Proveedores.

4.2 Evaluación de la estructura del modelo

Para comprobar las hipótesis propuestas se utilizó el software Smart PLS. Debido a que el programa PLS-SEM no tiene una estadística estándar de bondad de ajuste y los esfuerzos previos para establecer una estadística correspondiente han demostrado ser muy problemáticos (Henseler y Sarstedt, 2013), la evaluación de la calidad del modelo se basa en su capacidad para predecir los constructos endógenos. Entre los criterios que tuvimos en cuenta para su evaluación son: coeficientes de determinación (R^2), relevancia predictiva (Q^2), mediante el procedimiento de *blindfolding*, y tamaños y significancia de los coeficientes *path* (Hair et al., 2014; Martínez, 2018). El nivel de significancia se establece a partir del valor *t student* que proviene del muestreo *Bootstrapping*, práctica analítica que indica el nivel significativo de las rutas entre cada constructor (Martínez, 2018). Para probar las hipótesis propuestas, los resultados proporcionados por el procedimiento de arranque *bootstrapping* en PLS se lograron a través de 5000 re-muestreos.

En el modelo propuesto estudiamos el efecto de la gestión de la calidad como un constructo de segundo orden compuesto por 16 ítems, que dan lugar a cuatro dimensiones: procesos, personas, proveedores y clientes (Figura 1), para analizar cuál es su papel en el desarrollo de la exploración organizativa.

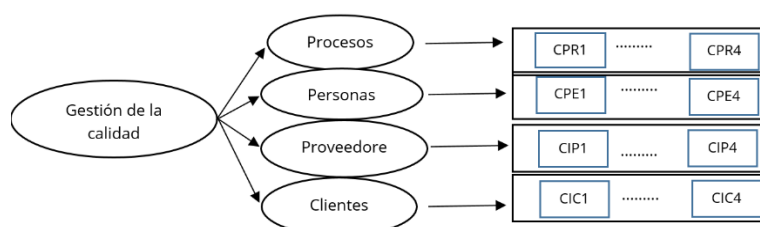


Figura 1. Dimensiones de la gestión de la calidad

Hemos comprobado la importancia de los pesos con un procedimiento de re-muestreo en *bootstrapping* con 5000 re-muestreos. Un importante aspecto para analizar los resultados de los modelos de regresión múltiple es el impacto de las correlaciones entre las variables independientes, referido comúnmente como multi-colinealidad (Hair et al., 2014; Chams, 2018). Hair et al. (2014) señalan indicios de multi-colinealidad cuando el Factor de inflación de la varianza FIV (*Variance inflation factor* VIF) es >5 . Nosotros observamos el grado en el cual la variabilidad de cada variable independiente era explicada por las otras variables independientes. Prestamos especial atención al FIV, cuyos valores se encontraron en el rango <5 , indicando que no hay problemas de co-linealidad, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Variables independientes – Valores FIV

Constructo	Indicador	Beta estandarizado	Valor t (<i>bootstrap</i>)	VIF
Gestión de la calidad	Procesos	0,273***	22,197	2,509
	Personas	0,314***	23,455	2,599
	Proveedores	0,324***	25,901	1,854
	Clientes	0,288***	21,739	1,897

Igualmente, la Tabla 7 expone los resultados en cuanto al α de Cronbach, la fiabilidad compuesta y la varianza extraída promedio (AVE) del constructo de segundo orden propuesto, iguales o superiores a 0,7, 0,6 y 0,5 respectivamente lo que proporciona una mayor fiabilidad de las escalas de medidas de este constructo.

Tabla 7. Fiabilidad constructo de segundo orden

Constructo	FC	α de Cronbach	AVE
Gestión de la calidad	0,936	0,944	0,512

En relación con nuestra hipótesis, el modelo evidencia (Tabla 8) que la gestión de la calidad tiene un efecto positivo y significativo ($\beta=0,290^{***}P<0,001$) en el desarrollo de la exploración organizativa, lo cual corrobora la hipótesis planteada. En nuestro caso la gestión de la calidad explica el 0,84% de la exploración organizativa en la industria agroalimentaria ecológica española y nuestro modelo tiene una relevancia predictiva (Q^2) de 0,051 (Tabla 9).

Tabla 8. Contrastación de hipótesis

	Relación causal	Beta estandarizado	Valor t (bootstrap)	Hipótesis
H1	Gestión de la calidad Exploración organizativa	0,290***	5,090	Aceptada

***P<0,001; ** P<0,01; *P<0,05

Tabla 9. Valores de R² y Q²

Factor	R ²	Q ²
Exploración organizativa	0,084	0,051

La Figura 2 ilustra los resultados del modelo propuesto.

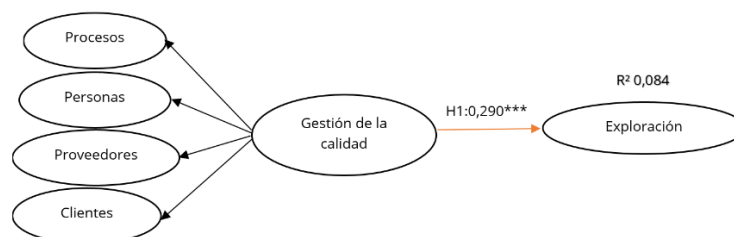


Figura 2. Resultados entre la implementación de la gestión de la calidad y la exploración organizativa
(***P<0,001; ** P<0,01; *P<0,05)

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Basándonos en la revisión del estado del arte de los constructos se propuso un modelo donde se planteó que la implementación de la gestión de la calidad tiene un efecto positivo en el desarrollo de la exploración organizativa, lo que podría sugerir que la gestión de la calidad genera acciones y conductas que favorecen su desarrollo.

Dada la multidimensionalidad de la gestión de la calidad y la gran cantidad de prácticas que la engloban, estas fueron agrupadas en cuatro grandes grupos: procesos, personas, proveedores y clientes. Fundamentados en una muestra de empresas pertenecientes a la industria agroalimentaria ecológica española, encontramos evidencia empírica que muestra que la gestión de la calidad tiene un efecto positivo y significativo en el desarrollo de la exploración organizativa ($\beta=0,290$; $P<0,001$), lo cual corrobora lo formulado en nuestra hipótesis.

Diferentes estudios de la misma línea de investigación soportan los resultados encontrados en nuestra investigación. Asif et al., (2013) señala que las prácticas de gestión de la calidad en conjunto proporcionan un medio para la creación de conocimiento en toda la organización, convirtiéndose este conocimiento en la base para el desarrollo de la exploración organizativa. Asimismo, las prácticas de gestión de la calidad están encaminadas a favorecer el aprendizaje y a promover prácticas creativas e innovadoras en las organizaciones (Kim et al., 2012), que estimulan en lugar de obstaculizar la innovación (Asif et al., 2013).

Igualmente, Zhang et al. (2012) en su estudio empírico utilizando datos de 238 empresas pertenecientes al sector productivo, localizadas en 8 países (Austria, Finlandia, Alemania, Italia, Japón, Corea, Suecia y los Estados Unidos), destacan que las prácticas de la gestión de la calidad exploratorias se centran en explorar lo desconocido, identificar y proponer soluciones novedosas, particularmente para los productos y procesos que son nuevos para las empresas, manteniéndolas abiertas y flexibles a nuevas ideas, al mismo tiempo, que promueven el aprendizaje y ayudan a las empresas a sobrevivir en entornos con alta presión competitiva o en mercados que rápidamente evolucionan y cambian (Zhang et al., 2014). Adicionalmente, Abrunhosa y Sa, (2008) a partir de una muestra de 20 empresas pertenecientes al sector portugués de calzado, resaltan la importancia de la implantación conjunta de los principios de la gestión de la calidad como impulsores de la innovación.

Por el contrario, otros estudios señalan que la gestión por procesos, principio fundamental de la gestión de la calidad, tiene una mayor debilidad para promover la exploración organizativa en la formulación

estratégica de la organización (Moreno y Valls, 2011; Santos et al., 2018). Sin embargo, por los resultados evidenciados en esta investigación, nosotros creemos que la aplicación intensa de principios y prácticas de gestión de la calidad más orgánicos y humanos, de descentralización, colaboración, participación, compromiso y liderazgo, así como elementos más flexibles de carácter comercial, en la búsqueda de nuevos mercados, productos, tecnologías e innovación, pueden complementarse, influir y lograr el desarrollo de la exploración organizativa en la industria agroalimentaria española, en concordancia con lo expuesto por Moreno y Valls (2011).

Otros autores destacan que la gestión de procesos frena la exploración requerida para una adaptación a largo plazo de las organizaciones. Benner y Thusman (2003) señalan que las actividades de gestión de procesos están asociadas positivamente con la efectividad organizativa en un conjunto limitado de condiciones: durante períodos de estabilidad o cambios incrementales, innovaciones incrementales o clientes existentes. Sin embargo, dificultan la capacidad necesaria para el desarrollo de la innovación en altos niveles de intensidad competitiva o en ambientes con una gran presión (Sanders y Linderman, 2014). Nuestros resultados, por el contrario, señalan que en un sector como es la industria agroalimentaria ecológica española caracterizada por innovaciones radicales, búsqueda constante de nuevos segmentos de clientes, productos y mercados, la gestión de la calidad se convierte en una herramienta útil para el desarrollo de la exploración organizativa.

Nuestros resultados están en consonancia con estudios como Zhang et al. (2012), Zhang et al. (2014), los cuales destacan el efecto positivo de las prácticas de gestión de la calidad con una orientación exploratoria, en entornos con alta presión competitiva o en mercados que cambian y evolucionan rápidamente, donde la adecuada implementación y combinación de sus prácticas se convierten en fuente de ventaja competitiva. Del mismo modo, Flynn et al. (1995) señalan que la gestión de la calidad es un medio integrado e interfuncional para lograr y mantener una ventaja competitiva.

Además, al estudiarse la gestión de la calidad como un enfoque de gestión, caracterizado por un conjunto de principios que se refuerzan mutuamente, cada uno de los cuales está respaldado por un conjunto de prácticas generales y técnicas específicas (Dean y Bowen, 1994), consideramos la importancia de la implementación de estas prácticas de forma conjunta a través de las cuales se creen sinergias que favorecen el desarrollo de acciones y conductas encaminadas al desarrollo de la exploración organizativa.

Es decir, que a través de las prácticas enfocadas en los procesos se creen procesos flexibles, prácticos, dinámicos, ajustados a las necesidades de las organizaciones y sus grupos de interés *stakeholders*, a través de los cuales se incentiven ambientes creativos y flexibles, que de la mano con las prácticas de la gestión de la calidad enfocadas en las personas, ayuden a fomentar en los empleados el pensamiento creativo, el trabajo en equipo, la comunicación entre departamentos y áreas, su participación y empoderamiento, que junto con las prácticas de la gestión de la calidad enfocadas en la cadena de suministro proporcionen en las organizaciones oportunidades para desarrollar nuevas competencias y productos, que permitan adaptarse a los cambios del entorno, actividades que entrelazadas con las prácticas de gestión de la calidad sobre los clientes, favorezcan el desarrollo de nuevos procesos y productos, encaminados a satisfacer las necesidades y expectativas futuras de los clientes, logrando su satisfacción y fidelización. Por lo tanto, nosotros creemos que las prácticas de la gestión de la calidad en conjunto proporcionan un medio para el desarrollo de actividades y comportamientos que favorezcan el desarrollo de la exploración organizativa (Abrunhosa y Sa, 2008; Asif et al., 2013).

Por lo anteriormente expuesto, la gestión de la calidad se convierte en un instrumento útil para generar acciones y conductas que desemboquen en la creación de un entorno propicio que favorezca y fomente el desarrollo de la exploración organizativa, que permita a la industria agroalimentaria ecológica responder rápidamente a entornos en constante cambio, evolución, innovación y expansión, para asegurar su rentabilidad y sostenibilidad futura.

Referente al bajo valor obtenido R^2 para la variable exploración organizativa, consideramos que aunque la gestión de la calidad tiene un efecto moderado positivo en el desarrollo de la exploración organizativa, hay otras variables que podrían estar influyendo en este comportamiento, en condiciones y ambientes

dinámicos, como lo es la industria agroalimentaria ecológica, las empresas tienden a centrarse un poco más en desarrollar las competencias existentes, lo que les permite reforzar su propias líneas de negocios en lugar de tener que crear y operar nuevas en entornos desconocidos e inciertos (Molina et al., 2011), inclinándose un poco más en favorecer acciones y conductas orientadas en sus demandas actuales, pero a la vez, sin dejar de lado esa orientación exploratoria, necesaria para su sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo, como se evidencia en la presente investigación.

REFERENCIAS

- Abrunhosa, A. y Sa, P.M. (2008). Are TQM principles supporting innovation in the Portuguese footwear industry? *Technovation* 28, 208-221.
- AENOR (2015). *UNE-EN ISO 9001:2015*. Sistemas de gestión de la Calidad. Requisitos. Norma Española. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Ahire, S. L., Golhar, D. Y. y Waller, M. A. (1996). Development and validation of TQM implementation constructs. *Decision Sciences* 27(1), 23-34.
- Ahmadi, S., Khanagha, S., Berchicci, L. y Jansen, J.J.P. (2017). Are Managers Motivated to Explore in the Face of a New Technological Change? The Role of Regulatory Focus, Fit, and Complexity of Decision-Making. *Journal of Management Studies* 54(2), 209-237.
- Andriopoulos, C. y Lewis, M.W. (2009). Exploitation-Exploration Tensions and Organizational Ambidexterity: Managing Paradoxes of Innovation. *Organization Science* 20(4), 696-717.
- Asif, M. (2017). Exploring the role of core and infrastructure quality management practices in ambidexterity. *Total Quality Management and Business Excellence* 30(9), 990-1004.
- Asif, M. y De Vries, H.J. (2015). Creating ambidexterity through quality management. *Total Quality Management and Business Excellence* 26(11-12), 1226-1241.
- Asif, M., De Vries, H.J. y Ahmad, N. (2013). Knowledge creation through quality management. *Total Quality Management and Business Excellence* 24(5-6), 664-677.
- Auh, S. y Menguc, B. (2005). Balancing exploration and exploitation: The moderating role of competitive intensity. *Journal of Business Research* 58, 1652-1661.
- Backstrom, T., Fundi, A. y Johansson, P.E. (2017). *Innovative Quality Improvements in Operations: Introducing emergent quality management*. Springer.
- Bagozzi, R.P. y Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *J. of the Acad. of Mark. Sc.* 16(1), 074-094.
- Baum, J., Li, S.X. y Usher, J.M. (2000). Making the next move: How experiential and vicarious learning shape the locations of chains' acquisitions. *Administrative Science Quarterly* 45, 766-801.
- Benner, M.J. y Tushman, M.L. (2003). Exploitation, exploration, and process management: The productivity dilemma revisited. *Academy of Management Review* 28(2), 238-256.
- Bernzen, A. y Braun, B. (2014). Conventions in cross-border trade coordination: the case of organic food imports to Germany and Australia. *Environment and Planning* 46, 1244-1262.
- Bilalis, D., Stathis, I., Konstantas, A. y Patsiali, S. (2009). Comparison between HACCP and ISO 22000 in Greek organic food sector. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7(2), 132-137.
- Birkinshaw, J., Bessant, J. y Delbridge, R. (2007). Finding, framing and performing: creating networks for discontinuous innovation. *California Management Review* 49(3), 67-84.
- Bledow, R., Frese, M., Anderson, N., Erez M. y Farr, J. (2009). A dialectic perspective on innovation: Conflicting demands, multiple pathways, and ambidexterity. *Industrial and Organizational Psychology* 2(3), 305-337.
- Bou, J.C., Escrig, A.B., Roca, V. y Beltrán, I. (2009). An empirical assessment of the EFQM excellence model evaluation as a TQM framework relative to the MBNQA model. *Journal of Operations Management* 27, 1-22.
- Camisón, C., Cruz, T. y González, S. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Prentice Hall.
- Chams, O. (2018). Efecto de la formalización y la confianza organizativa sobre la capacidad de ambidestreza. Estudio empírico en la industria agroalimentaria ecológica española. *Disertación Doctoral*. Universidad de Valencia.
- Chen, Y. (2017). Dynamic ambidexterity: How innovators manage exploration and exploitation. *Business horizons* 60, 385-394.
- Cooper, J., Leifert, C. y Niggli, U. (2007). *Handbook of organic food safety and quality*. Woodhead Publishing.
- Cui, V., Dingb, W.W. y Yanador, Y. (2019). Exploration versus exploitation in technology firms: The role of compensation structure for R&D workforce. *Research Policy* 48, 1534-1549.
- Dale, B.G. (1999). *Managing quality*. Blackwell Publisher.
- Dale, B.G., Van der Wiele, T. y Van Iwaarden, J. (2007). *Managing Quality*. Blackwell Publishing.
- Dean, J.W. y Bowen, D.E (1994). Management Theory and Total Quality: Improving Research and Practice through Theory Development Source. *The Academy of Management Review* 19(3), 392-418.
- Douglas, T.J. y Judge, W.Q. (2001). Total Quality Management Implementation and Competitive Advantage: The Role of Structural Control and Exploration. *The Academy of Management Journal* 44(1), 158-169.

- Dudley, N., Elliott, C. y Stolton, S. (1997). A framework for environmental labelling. *Environment* 39(6), 16-45.
- Ebrahimi, M. y Sadeghi, M. (2013). Quality management and performance: An annotated review. *International Journal of Production Research* 51(18), 5625-5643.
- Eisenhardt, K.M., y Martin, J.A. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal* 21, 1105-1121.
- Flynn, B.B., Schroeder, R.G. y Sakakibara, S. (1995). The impact of quality management practices on performance and competitive advantage. *Decision Sciences* 26(5), 659-691.
- Fornell, C. y Larcker, D.F. (1981). Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error: Algebra and Statistics. *Journal of Marketing Research* 28, 39-50.
- Fu, Na., Ma, Q., Bosak, J. y Flood, P. (2015). Exploring the relationships between HPWS, organizational ambidexterity and firm performance in Chinese professional service firms. *Jour. of Chinese Human Resource Management* 6(1), 52-70.
- Greco, L.M., Charlier, S.D. y Brown, K.G. (2019). Trading off learning and performance: Exploration and exploitation at work. *Human Resource Management Review* 29, 179-195.
- Greve, H.R. (2007). Exploration and exploitation in product innovation. *Industrial and Corporate Change* 16(5), 945-975.
- Gupta, A.K., Smith, K.G. y Shalley, C.E. (2006). The interplay between exploration and exploitation. *Academy of Management Journal* 49(4), 693-706.
- Hair, J., Balck, W., Babin, B. y Anderson, R. (2014). *Multivariate data analysis*. Pearson.
- Hair Jr, J., Sarstedt, M., Hopkins, L. y Kuppelwieser, V.G. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). An emerging tool in business research. *European Business Review* 26(2), 106-121.
- He, Z.L. y Wong, P.K. (2004). Exploration vs exploitation: an empirical test of the ambidexterity hypothesis. *Organization Science* 15(4), 481-494.
- Henseler, J. y Sarstedt, M. (2013). Goodness-of-fit indices for partial least squares path modeling. *Computational Statistics* 28(2), 565- 580.
- Huo, B., Zhao, X. y Lai, F. (2014). Supply chain quality integration: Antecedents and consequences. *IEEE Transactions on Engineering Management* 61(1), 38-51.
- Jansen, J., Van Den Bosch, F. y Volberda, H. (2006). Exploratory Innovation, Exploitative Innovation, and Performance: Effects of Organizational Antecedents and Environmental Moderators. *Management Science* 52(11), 1661-1674.
- Josephson, B.W., Johnson, J.L. y Mariadoss, B.J. (2016). Strategic marketing ambidexterity: Antecedents and financial consequences. *Journal of the Academy of Marketing Science* 44, 539-554.
- Kaynak, H. y Hartley, J.L. (2005). Exploring quality management practices and high tech firm performance. *Journal of High Technology Management Research* 16 (2), 255-272.
- Kim, D.Y., Kumar, V. y Kumar, U. (2012). Relationship between quality management practices and innovation. *Journal of Operations Management* 30, 295-315.
- Lavie, D., Stettner, U. y Tushman, M.L. (2010). Exploration and exploitation within and across organizations. *The Academy of Management Annals* 4, 109-155.
- Lenning, J. (2018). Auditing of explorative processes. *Total Quality Management and Business Excellence*, 29(9-10), 1185-1199.
- Levinthal, D.A. y March J.G. (1993). The Myopia of Learning. *Strategic Management Journal* 14, 95-112.
- Lubatkin, M. H., Simsek, Z., Ling, Y. y Veiga, J.F. (2006). Ambidexterity and performance in small-to-medium-sized firms: The pivotal role of top management team behavioural integration. *Journal of Management* 332(5), 646-672.
- March, J.G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science* 1, 71-84.
- Martínez, M. (2018). Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico. *Revista iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo* 8(16), 2-35.
- Molina, F.J., Jimenez, D. y Munuera, J.L. (2011). Product competence exploitation and exploration strategies: The impact on new product performance through quality and innovativeness. *Industrial Marketing Man.* 40, 1172-1182.
- Moreno, M.D., Gil, M. y Arteaga, F. (2013). TQM, innovation and the role of cultural change. *Industrial Management and Data Systems* 113(8), 1149-1168.
- Moreno, M.D., Peris, F. y González, T. (2001). *Gestión de la calidad y diseño de organizaciones. Teoría y estudio de casos*. Prentice Hall.
- Moreno, M.D. y Valls, P.J. (2011). Ambidexterity and total quality management: towards a research agenda. *Management Decision* 49, 927-947.
- Njoroge, P.T. y Muathe, S.M.A. (2018). Linking Ambidextrous Learning with Organizational Performance: Critical Review of Literature and a Research Agenda. *European Journal of Business and Management* 10(6), 32-47.
- Nunnally, J.C. y Bernstein, I.H. (1994). *Psychometric Theory*. McGraw-Hill.
- O'Reilly, C.A. y Tushman, M.L. (2013). Organizational ambidexterity: Past, present, and future. *The Academy of Management Perspectives* 27(4), 324-338.
- Peng, M.Y. y Lin, K.H. (2019). Disentangling the antecedents of the relationship between organisational performance and tensions: Exploration and exploitation. *Total Quality Management and Business Excellence* 42, 1-17.
- Prajogo, D.I. y Hong, S.W. (2008). The effects of TQM on performance in R&D environments: A perspective from South Korean firms. *Technovation* 28(12), 855-863.

- Prajogo, D.I. y Sohal, A.S. (2003). The relationship between TQM practices, quality performance, and innovation performance: An empirical examination. *Inte. journal of quality and reliability management* 20(8), 901-918.
- Rafailidis, A., Trivellas, P. y Polychroniou, P. (2017). The mediating role of quality on the relationship between cultural ambidexterity and innovation performance. *Total Quality Mana. and Business Excellence* 28(9-10), 1134-1148.
- Raisch, S. y Birkinshaw, J. (2008). Organizational Ambidexterity: Antecedents, Outcomes, and Moderators. *Journal of Management* 34(3), 375-409.
- Reganold, J.P. y Wachter, J.M. (2016). Organic agriculture in the twenty first century. *Nat. Plants* 2, 1-8.
- Salas-Vallina, A. (2013). Liderazgo transformacional, capacidad de aprendizaje organizativo y felicidad en el trabajo. *Disertación Doctoral*. Universidad de Valencia.
- Samson, D. y Terziovski, M. (1999). The relationship between total quality management practices and operational performance. *Journal of Operations Management* 17(4), 393-409.
- Sanders, J.L. y Linderman, K. (2014). Process management, innovation and efficiency performance: The moderating effect of competitive intensity. *Business Process Management Journal* 20(2), 335-358.
- Santos, J.A., Miguel, J.A. y Nieto, M. (2018). The innovation strategies for managing a specific paradox: exploration/exploitation. *Total Quality Management and Business Excellence* 29(11-12), 1362-1380.
- Saraph, J. V., Benson, G. P. y Schroeder, R. G. (1989). An instrument for measuring the critical factors of quality management. *Decision Sciences* 20, 810-829.
- Sweis, R.J., Ismaeil, A.S., Amayreh, I. y Al-Sayyed, N. (2019). The relationship between Total Quality Management (TQM) implementation and organisation performance: Evidence from the airlines companies in UAE. *International Journal of Information, Business and Management* 11(1), 58-79.
- Swink, M. y Schoenherr, T. (2015). Effects of marketing-manufacturing integration on new product development time and competitive advantage. *Journal of Operations Management* 25(1), 203-217.
- Turner, N., Swart, J. y Maylor, H. (2013). Mechanisms for managing ambidexterity: A review and research agenda. *International Journal of Management Reviews* 15(3), 317-332.
- Tushman, M.L. y O'Reilly III, C.A. (1996). Ambidextrous Organizations: Managing Evolutionary and revolutionary change. *California Management Review* 38(4), 8 -30.
- Tushman, M.L. y Euchner, J. (2015). The Challenges of Ambidextrous Leadership. *Research-Technology Management* 58(3), 16-20.
- Volery, T., Mueller, S. y Siemens, B.V. (2015). Entrepreneur ambidexterity: A study of entrepreneur behaviours and competencies in growth-oriented small and medium-sized enterprises. *International Small Business Journal* 33(2), 109-129.
- Voss, G. B., Sirdeshmukh, D. y Voss, Z.G. (2008). The effects of slack resources and environmental threat on product exploration and exploitation. *Academy of Management Journal* 51(1), 147-164.
- Yalcinkaya, G., Calantone, R. y Griffith, D. (2007), An Examination of Exploration and Exploitation Capabilities: Implications for Product Innovation and Market Performance, *Journal of International Marketing* 15(4), 63-93.
- Yan, M., Yu, Y. y Dong, X. (2016), Contributive roles of multilevel organizational learning for the evolution of organizational ambidexterity, *Information Technology and People* 29(3), 647-667.
- Zhang, D. (2009). Quality exploitation versus quality exploration: Measurement, antecedents, and performance implications. *Doctoral Dissertation*. University of Minnesota.
- Zhang, D., Linderman, K. y Schroeder, R.G. (2012). The moderating role of contextual factors on quality management practices. *Journal of Operations Management* 30, 12-23.
- Zhang, D., Linderman, K. y Schroeder, R.G. (2014). Customizing Quality Management Practices: A Conceptual and Measurement Framework. *Decisions science* 45(1), 81-114.

El negro en Colombia: Una traza de violencia que inició en la colonia y continúa en la época contemporánea

Jesús Guillermo Banquez Mendoza¹

Marina Begoña Martínez González²

José Amar Amar³

^{1,2} Universidad del Norte

³ Universidad de la Costa
Colombia

Este capítulo se compone a partir de un rastreo histórico y de revisión documental que tocará los archivos contenidos en el banco de datos de negros y esclavos del banco de la República de Colombia y los registros microfilmados y/o digitalizados del fondo de negros y esclavos del archivo general de la nación. Además, se adiciona el trabajo de teóricos contemporáneos que han dedicado parte de su trabajo a develar los orígenes de los bozales, las peripecias de su captura y embarque, los periodos de la esclavitud, el sufrimiento que implicó la diáspora obligada de africanos en la colonia, su asentamiento en la costa Caribe de Colombia, en especial Sierra María y del grado de violencia a los que fueron expuesto por las factorías esclavistas y los horrores de la travesía. En este discurrir se tomaron en cuenta los aportes de Arrazola (1970), Escalante (2002), Friedemann (1986, 1993), Ortiz (1975), Triarúa y Antorveza (1989), Quiroz (1943) y Del Castillo (1982). Finalmente, y como parte del entramado teórico con el trabajo de Claude Meillassoux se explicará la complicidad de las factorías con algunas tribus, reyes o jefes tribales africanos en la captura y esclavización de otros africanos a partir de cruzadas, campañas y guerras.⁴

¹ Licenciado en Gestión Educativa, Magíster en Desarrollo Social y Estudiante de doctorado en Ciencias Sociales, becario de Minciencias.
Contacto: jbanquez@uninorte.edu.co

² Psicóloga. Decana del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad de la Costa.
Contacto: mmartine21@cuc.edu.co

³ Licenciado en Ciencias de la Educación con énfasis en Historia y Geografía, Magíster en Psicología Educativa y en Metodología e Investigación Educativa a Nivel Universitario, Doctor en Psicología Social y Antropología de las Organizaciones.
Contacto: jamar@uninorte.edu.co

⁴ Este capítulo es producto de la revisión teórica realizada para el capítulo *Las poblaciones negras en Colombia - Una traza de violencia estructural, directa y cultural*, elaborado en el marco del proyecto de investigación doctoral *Legitimación de la violencia en las poblaciones negras víctimas del conflicto interno de Colombia*, un estudio en dos comunidades ubicadas en el litoral Montes de María. El estudio se ubica en la línea estratégica desarrollo social del grupo de investigación GIDHUM de la Universidad del Norte, Barranquilla, y es financiado por Minciencias y la Universidad del Norte.

1. INTRODUCCIÓN

El capítulo busca evidenciar la espiral de violencia asociada a la captura, travesía y llegada de las personas negras a Colombia. Además, sus asentamientos originarios, tribus de procedencia, percepciones particulares de los colonos, mecanismos de comercialización y lugares donde asentaron sus territorios luego del cimarronaje y conformación de palenques.

En consecuencia, se inicia con *la llegada*, documentando lo ocurrido entre los siglos XVI y XVIII, considerados por muchos como una época vergonzosa para un occidente que recién sentaba las bases de su civilidad y modelo económico capitalista, acentuado con la esclavitud como forma primaria de acumulación de riquezas.

Se recogen datos de los puertos legales de entrada, pero también de los ilegales, citando a Cartagena como el principal de ellos y a Santa Marta y Tolú como la entrada de esclavos de contrabando. En este discurrir, el estudio muestra las estrategias de comercio internacional implementada para contrarrestar la *perdía de mercancía* dado lo extenso y agotador de la travesía y de las condiciones insalubres de África. Así, se precisan los periodos o etapas del comercio de esclavos donde participaron, en diferentes épocas, españoles, portugueses, holandeses, ingleses y cómo finalmente se dio el comercio libre.

En algunas partes de este trabajo se hace aproximaciones en cuanto al número de africanos que arribaron en calidad de esclavos a la Nueva Granda, para lo cual se citan los estudios de Friedemann, Colmenares, Curtín, Klein y Klein. También se detalla su región de procedencia o captura en África y se complementa con el estudio que hiciera Germán de Granada sobre la onomástica de esclavos de las minas de la gobernación de Popayán.

Por último, se presenta un enfoque diferente del cimarronaje y se entiende como vestigio de resistencia que aún prevalece.

2. LA LLEGADA

Se inicia el recorrido entre los siglos XVI y XVIII, lapso registrado en la historia como uno de los más cruentos y violentos contra la humanidad de seres nacidos libres, esclavizados, comercializados como animales y despojados de su alma, identidad cultural, ancestral y religiosa.

Fue la colonia la época más vergonzosa para una civilización occidental (españoles, portugueses, holandeses y británicos) que recién sentaba las bases del capitalismo con fundamentos en la comercialización de esclavos, introducidos en América a sangre fuego y religión, utilizando como medio predilecto y eficaz el genocidio y epistemicidio⁵.

Sin embargo, cabe resaltar que existen datos históricos que precisan el comercio de esclavos mucho tiempo atrás. Entre los siglos IX, X y XI. Fueron Senegal y Egipto quienes protagonizaron un comercio de esclavos liderado por jefes tribales y reyes locales que iniciaron guerras contra sus vecinos más débiles con el único fin de capturar esclavos para venderlos o cambiarlos por telas, joyas y otros utensilios o recursos de valor. De esta manera arrastraron a centenares de campesinos africanos al pillaje, de preferencia infantes y mujeres (Meillassoux, 1990).

En cuanto a la diáspora obligada y los horrores de la travesía, la inquietud sobre la procedencia africana de los negros en Colombia es ampliamente compartida por las disciplinas que abordan desde diferentes perspectivas la esclavitud y el seguimiento de las huellas de africanía no solo en Colombia⁶, sino en toda Latinoamérica y el Caribe. Son la historia y la antropología las instancias rectoras desde las cuales se precisa tal procedencia y sobre la cuales haremos un esbozo general sobre la gente negra.

⁵ El epistemicidio explica la reproducción de los aprendizajes colonizados, entre ellos, la violencia sectaria y fratricida.

⁶ En el caso colombiano los estudios de la gente negra toma preponderancia política, académica y científica a partir de 1993, luego del reconocimiento constitucional que hizo la constitución de 1991 específicamente en su artículo transitorio, y la ley 70 de 1993.

Los relatos y registros históricos fijan su llegada con los primeros conquistadores en el siglo XVI, los cuales desembarcaron legalmente de los barcos negreros en las costas de Cartagena de Indias⁷.

Sin embargo, cerca del 25% de los negros nunca llegaron, murieron o se suicidaron en la ruta transatlántica e ingresaron ilegalmente o de contrabando por el litoral pacífico: Buenaventura (Valle del Cauca), Chirambirá (Chocó), Gorgona (Isla) y Barbacoas (Nariño). En cuanto a la costa atlántica los destinos fueron: Riohacha (Guajira), Santa Marta (Magdalena) y Tolú (Sucre) (Friedemann, 1993).

Los esclavos también fueron introducidos al interior de la Nueva Granda por los ríos Atrato, Sinú, San Jorge y Magdalena, los esclavos fueron introducidos al interior de la Nueva Granada. De allí, muchos de los asentamientos rivereños y cenagueros que hoy existen. De hecho, Loma de las Pulgas, Vigía del Fuerte y Quibdó fueron importantes centros de explotación sobre el Atrato (Hernández, 2006).

De la misma forma, la comercialización de negros africanos fue más compleja que solo suministrar, embarcar y distribuir mercancía, e implicó todo un entramado de estrategias y logística de comercio internacional para garantizar que esclavos (mercancía) y tripulación llegaran sanos a las américas (compradores). África, debido a su insalubridad, siempre fue un territorio hostil para los europeos quienes en pleno auge del capitalismo y las extraordinarias ganancias producto excelsa de su actividad económica no tuvieron reparos en arriesgar su vida.

Eventualmente se usó la estrategia de intermediarios nativos cazadores de africanos quienes los preparaban para las largas caminatas y embarque en los barcos negreros. Todo ello con el beneplácito de jefes tribales locales. Una evidencia de tales prácticas fue la implantación en Sudán del bandidismo⁸ como institución encargada de la captura de esclavos para venderlos en aldeas cercanas, trabajar cerca de las factorías o comercializarlos con extranjeros.

Incluso se justificó la guerra no como medio para la aplicación de imperios o matanzas del enemigo, el único fin era la captura (Escalante, 2002; Friedemann, 1993; Triarí y Antorveza, 2004; Meillassoux, 1990).

Para tener una idea general de las condiciones insalubres e inhumanas, pero propias de la travesía de los buques negreros, se recogen los aportes de Triarí y Antorveza (2004), quienes en su obra registran lo siguiente:

En cuanto los negros varones llegaban a bordo de un buque eran separados y atados de dos en dos, por medio de esposas, y en los pies eran asegurados con grilletes. Todo ello impedía la movilidad, pero limitaba los peligros del amotinamiento. Para dormir debían hacerlo de costado y sin poder cambiar de posición. Los esclavos quedaban situados lejos de los cubos que se colocaban para las necesidades fisiológicas. Al procurar acercarse a ellos rodaban sobre sus compañeros a causa de los grillos, situación que dificultaba sus movimientos. Por ello el negro prefería ejecutar tales actividades en el propio sitio de reclusión.

Tales condiciones representaron, en su momento, una disminución de ganancias (debido a las enfermedades y muertes de la *mercancía*) para un régimen soportado en una economía de mercado y unos circuitos comerciales que se basan en la depredación.

Fue necesario construir buques más grandes, descontaminar los espacios a base de vinagre, alimentación adecuada a la *mercancía* (dieta basada en alimentos y cocción acorde a los orígenes de los esclavos), aumentar las raciones de agua y otros.

Sin embargo, se registra que en las largas travesías y ante los escasos de alimentos para la tripulación y cargamento, los capitanes optaron por el asesinato de la carga (Ortíz, 1975; Triarí y Antorveza, 2004). A propósito de la travesía, trataremos de recrear en la Tabla 1, la singularidad y dinámica de la cadena, desde su aprensión hasta el desembarque.

⁷ Primer puerto de desembarque de negros esclavos de la Nueva Granada

⁸ (...) "Práctica mediante la cual el rapto de cautivos se efectuaba entre miembros de una misma comunidad, entre parientes y vecinos" (Meillassoux, 1990).

Tabla 1. Dinámica de comercialización de esclavos africanos (A partir del trabajo de Aquiles Escalante, *el Negro en Colombia*, 2002; Saco 1938; Navarrete (2008)

Etapas	Nombre	Características
1	La captura	Proceso realizado en África a través de diferentes mecanismos.
2	Selección y herraje	Proceso de revisión por parte de un médico de las condiciones físicas de los recién capturados. Se rechazaban los mayores de 35 años, mutilados, enfermos y desdentados. Los aptos eran marcados con hierro al rojo vivo para identificar la propiedad de la compañía.
3	Transporte	Envío bajo las condiciones míseras de los cargamentos negreros con destino a las Antillas, Brasil, Cuba, Puerto Rico y otros.
4	Desembarque en los puertos	Iniciaban con el palmeo (una vez en puerto) ante personalidades como el gobernador, oficiales reales, un notario y un representante de la compañía dueña del asiento. En esencia el palmeo no era más que la separación de la carga en grupos de edad y sexo: muleques, mulecones y negras adultas.
5	Marquilla real	Marcación con hierro al rojo vivo (previo se untaba con aceite para evitar arrancar la piel del negro). En algunas ocasiones se marcaba el rostro del esclavo.

De forma similar, el proceso inicial de captura se convirtió en una demostración de poder militar para reyes bandidos y algunos jefes tribales, quienes contabilizan las cuantiosas capturas en las diferentes campañas o batallas: en el Damagaram, una sola campaña en el Kano en 1897, produce siete mil esclavos (Dunbar, 1977). Manson, rey de Segu, hizo en un solo día, en el Kaarta, 900 prisioneros (Park, 1960). Bajo el mando de Gezo (Dahomey), una campaña ejecutada prácticamente bajo pedido de un barco negrero anclado en Whyda, produce 4.000 esclavos (Herskovits, 1978). Los Nupe del Sudán hacen 2.000 cautivos atacando a una sola aldea (Nadel, 1942).

Ahora bien, los registros históricos y documentales hablan de periodos, épocas o lapsos en los que holandeses, ingleses, neerlandeses, españoles y portugueses tomaron el protagonismo del comercio de esclavos. En la Tabla 2, se registran estos periodos.

Tabla 2. Etapas del comercio de esclavos o trata transatlántica

Ítem	Años	Periodo	Características
1	1532-1580	Español o de licencias	La licencia era un contrato expedido por la Corona Española que en esencia permitía el comercio de esclavos a las Indias a cambio del pago de derechos (estas licencias permitían introducir legalmente esclavos a las Indias). En ese lapso el monopolio de las licencias estuvo controlado por la Casa de Contratación de Sevilla. La mayoría de esclavos de este periodo procedía de África occidental (denominados Gente de los Ríos de Guinea o Negros de Ley), imperio Yolofo.
2	1580-1640	Portugués	También conocido como el periodo de los asientos; figura definida como contrato público entre un particular y el gobierno español. El primero se comprometía a adiestrar esclavos (en un tiempo determinado y bajo ciertas condiciones) y el segundo garantizaba el monopolio de asentista. En este lapso la procedencia de esclavos en este lapso era de predominancia del antiguo reino del Kongo y de África central (Congos y Angolas – Bantúes).
3	1640-1703	Holandés o de transición	Este periodo fue promisorio para la expansión holandesa, no solo consiguieron deshacerse del yugo de Felipe II, se apoderaron de puntos estratégicos lusitanos en África, también se hicieron a Curazao, convirtiéndola en el principal punto de acopio de mercancía (negros esclavos) y de proveedor junto con Jamaica para surtir a Cartagena. En este periodo llegaron africanos esclavizados arará, mina y en menor proporción carabalí y bantúes.
4	1703-1713	Francés	La hegemonía francesa en el comercio de esclavos duró poco tiempo solo 11 años – entre 1701 y 1712, (en parte por la influencia de portugueses y holandeses quienes dominaban el comercio ilegal o de contrabando de esclavos). Según los registros los esclavos que entraron a las Indias occidentales en esta época, fueron conducidos al Chocó en aras de contribuir al auge de la explotación minera (arára y carabalí)
5	1714-1740	Inglés	Al ocupar estratégicamente Jamaica en 1665 y luego de firmado el asiento de comercialización de esclavos en 1713, Inglaterra consolidó su posición como proveedor de esclavos a Cartagena. Fueron los arará y los minas quienes entraron o ingresaron en ese lapso.
6	1740-1810	Comercio libre	Con la llegada al trono de Carlos III y la caída del periodo de los asientos, se decreta el libre comercio de esclavos. En este periodo los esclavos procedían de la Antillas holandesas, francesas e inglesas específicamente carabalí, Mozambique y bantúes

Nota: Construcción propia a partir de la obra del Aquiles Escalante *El Negro en Colombia* publicada en 2002, quien toma para su síntesis los aportes del francés Georges Scella (*La Traite Negriere aux Indes de Castilla*

y *Contrasts et Traités de Asiento*). También al historiador inglés James Ferguson King y su obra *Negro Slavery in New Granada*. Por otra parte, se tuvo en cuenta el documento del Ministerio de Cultura: *La memoria incómoda: Afrodescendientes y lugares de memoria en Cartagena de Indias*, de Javier Ortiz Cassiani.

3. CUÁNTOS Y DE DÓNDE LLEGARON

Luego del recorrido histórico por el comercio de negros, la pregunta clave es: ¿cuántos africanos fueron traídos a las Indias en calidad de esclavos? Como es de esperar, no existe un registro único conciliatorio que sea aceptado como dato infalible en los estudios históricos contemporáneos (en términos demográficos y numéricos). Así lo demuestran los acercamientos realizados por Friedemann (1993) y Colmenares (1979). Estos estiman que la cuantía en cifras que va de entre 9 millones hasta 100 millones; Curtín (1969) tasa la trata negrera de América en 14 millones.

Otros estiman, en un porcentaje más bajo, que cerca del siglo XIX en solo África occidental un cuarto de la población estaba esclavizada: (...) 200.000 en el Senegal; 600.000 en el Alto Senegal-Níger; 250.000 en el Dahomey, otros tantos en Costa de Marfil y 450.000 en Guinea (Klein, 1983; Meillassoux, 1990).

De esa manera, cualquiera de las aproximaciones realizadas refleja una época de vergüenza para la civilización de occidental que se ha ufano históricamente por la civilidad y desarrollo de su sociedad. Los hechos aquí relatados sentaron la base de la riqueza de Europa y del capitalismo. Un modelo económico y político con orígenes en el comercio y despojo de cualquier vestigio de humanidad y consideración hacia las tribus africanas las cuales, en una clara desventaja militar, sucumbieron al control de Europa, continente que experimentó los albores de la acumulación de capital primitiva y la transformación económica, social y política, dando paso a la transición del feudalismo al capitalismo. Además de precipitar el inicio fecundo de la actividad comercial internacional e industrial (García, 2008; Mallardi, 2001; Marx, 1997; Williams, 2011).

Por tanto, otra de las preguntas claves en este devenir histórico, es la procedencia geográfica y tribal de los esclavos. Igual que cuantificar en términos demográficos y numéricos la trata negrera, este inciso requirió de historiadores versados en el tema negrero y la revisión de anaqueles de registros que daban cuenta de datos imprecisos y elusivos. Sin embargo, la ciencia y sus avances han permitido un acercamiento utilizando herramientas de rastros genéticos entre los negros con claras evidencias fenotípicas y culturales de ascendencia africana y las tribus que habitan el África hoy (Friedemann, 1993).

Precisaremos a los aportes del historiador Jorge Palacio Preciado quien sostiene que en el lapso de los siglos XVI y XVII primaron, como medio de extracción de africanos, los mecanismos de las licencias y los asientos (españoles y portugueses). Esto es: ríos de Guinea y las Islas de Cabo Verde. La conclusión de Jorge Palacios⁹ es que la Nueva Granada fue destino de las diferentes zonas de caza¹⁰. Bajo esta línea es imposible dejar al lado los aportes de Colmenares (1979), quien detalla la cadena de esclavos ingresados por Cartagena con destino a Popayán y Honda, donde (...) *el escribano tomaba nota y transcribía los datos de todos los individuos: casta, sexo, edad, señales en el cuerpo y marcas tribales*. Es Colmenares quien coincide con Friedemann, Curtín, Escalante y Palacios en el seguimiento del origen de los esclavos a partir del estudio de las patentes.

Así, en la Tabla 3, se recoge el registro de lugar o zona de procedencia de los africanos esclavizados en el periodo de 1705 a 1749 (Colmenares, 1979; Friedemann, 1993), complementada con las cualidades de los esclavos vista desde la perspectiva esclavista (Escalante, 2002). Se adicionan los registros producto del estudio de Germán de Granada, quien a partir de su revisión documental sobre la onomástica de esclavos de las minas de la gobernación de Popayán (siglo XVIII), consolida la procedencia regional de esclavos africanos. Por otra parte, en la Tabla 4 se describe las características de los africanos esclavizados.

⁹ Para sostener su aseveración, el historiador, hace una revisión documental de registros de compradores, testamentos y documentos notariales que registraron en su época el comercio y la tenencia de esclavos (entre siglos XVI y XVIII)

¹⁰ Aportes de Klein (1986) permiten develar que el comercio de esclavos en su etapa inicial (captura o caza) estuvo sometido por tribus dominantes y jefes tribales africanos. En este episodio vergonzoso de la historia salen a relucir algunos actores de la trata de esclavos como los hijos de la tierra (mestizos portugueses con africanos), llamados también lacandos o cazadores. O los pombeiros, quienes se especializaron en el arte de la caza de humanos específicamente en los ríos de Angola.

Tabla 3. Procedencia de los esclavos (A partir de Colmenares (1979), Escalante (2002), Friedemann (1993) y Granada (1971))

Ítem	Región de África	Grupo tribal (Colmenares, 1979)	Grupo tribal (Granada, 1971)
1	Senegambia.	Mandingas, Barbará, Mambara.	Mandinga, Casaca (mestizos de Mandingas y Fula), Bran, Bambara, Guagui, Ganga/Canca, Tembo, Taui, Mani
2	Costa de Marfil, Costa de la Pimienta.	Cetres, Canga-	Setre.
3	Costa de Oro	Minas, Caramanti.	Mina, Fandi, Nango, Ati, Aguacamu, Coto, Ocara, Asante
4	Golfo de Benín.	Arara, Fon, Juda Ouida, Lucimíes, Popo, Aya, Chamba, Cotoli.	Arará, Chala, Popo, Lucumí, Bomba, Ayobi, Betre.
5	Golfo de Biafra.	Carabalí, Ibo, Bibi	Carabalí, Vivi, cuco
6	África Central.	Congos, Luangos.	Congo, Luango, Matamba, Mondongo, Pongo, Bamba, Mayoma, Bato.
6	Interior de África Occidental.	No especifica.	Chamba.

Tabla 4. Características de los africanos esclavizados (a partir de Aguirre (1972), Escalante (2002), Herkovits (1937) y Malvido (2010))

Región o tribu	Relatos de los esclavistas	Fuente
Los Mina	Se desesperan, se ahorcan, se cortan la garganta sin más ni más por motivos baladíes.	(Aguirre, 1972, p. 336, como se citó en Malvido, 2010).
Los Chamba	Eran también malos, había que tomarlos –cosa que hacían los portugueses– entre los 10 y 12 años de edad para educarlos. Los adultos no valían nada, pues al entrarles la desesperación se dejaban morir de hambre.	(Aguirre, 1972, p. 186, como se citó en Malvido, 2010).
Los Ibo	Fueron “difíciles de manejar y propensos al suicidio al menor castigo o ridículo a que se les expusiera”.	(Herkovits, 1937, p. 21, como se citó en Malvido, 2010).
Los Carabalí	Se caracterizaban por su tendencia al suicidio”.	(Herkovits 1937, p. 21, como se citó en Malvido, 2010).
Los Fan o Fantís	Son considerados como extremadamente orgullosos y listos a cometer suicidio”.	(Aguirre, 1972, p. 186, como se citó en Malvido, 2010).
Los Arará.	Eran malos esclavos, fáciles de caer en estados depresivos que los llevaban al suicidio; eran perezosos y ladrones a título de oficio”.	(Aguirre, 1972, como se citó en Malvido, 2010).
Los Mandingas	Propensos al patrocinio pero mansos por naturaleza.	(Escalante, 2002).
Los Ashantí	Eran fornidos de cuerpo y alma.	(Escalante, 2002).
Los Nago o Yoruba	Se convirtieron en los preferidos del comercio de esclavos en Brasil debido a su fortaleza, inteligencia, valentía y envergadura muscular.	(Escalante, 2002).
Los Gelofe	Reacios a ser esclavos, soberbios, incorregibles	(Escalante, 2002).
Los Yolofofos	Orgullosos, auto-aduladores, mostraron gran aprecio por los caballos	(Escalante, 2002)
Los Mondongos	Eran los más temidos incluso por los mismos negros. Algunos historiadores llegaron a catalogarlos como los más crueles.	(Escalante, 2002)

4. EL CIMARRONAJE

Desde otra perspectiva, el estudio toca al cimarronaje y lo entiende como un vestigio de resistencia y rebeldía que aún prevalece. Las siguientes líneas no pretenden realizar un ejercicio revisionista de lo ampliamente investigado en relación al cimarronaje y a la conformación de los llamados palenques en territorio colombiano. Sin embargo, es necesario hacer el recuento historiográfico y precisar en algunos acontecimientos sucedidos en territorios cercanos a las zonas geográficas en las que se desarrolla el estudio. Lo anterior con el fin de reunir elementos teóricos que logren explicar las conductas violentas asumidas por los esclavos en la Colonia.

Además, quizá, para encontrar una relación étnico-ancestral que dé sentido a las conductas de rebeldía ejercidas por una comunidad negra que evocó la desobediencia cimarrona de la época colonial y se alzó en contra de los excesos cometidos por las estructuras armadas organizadas político militar no gubernamentales. Esto se aleja del constructo social generalizado y casi mediático que ubica a los primeros

ancestros en un estado perpetuo de opresión y esclavitud. La historia demuestra en ellos rastros de alta violencia cometida en contra de sus opresores.

Entrando en el tema que nos compete, es acertado afirmar que el cimarronaje puede ser percibido desde dos perspectivas: la primera vista como una respuesta a la opresión y al conjunto de hechos impuestos en el marco de la institución de la esclavitud. Y otra, como una de las primeras formas de violencia de africanos esclavizados registrados por la historia. Los siguientes datos recrean la afirmación:

En 1530 negros fugitivos incendiaron a Santa Marta; hacia 1533, un buen número de esclavos traídos por el fundador de Cartagena huyó a las montañas de la provincia; en 1556 se produjo una importante rebelión de esclavos en Popayán; en 1598 se presentó una sublevación de esclavos en las minas de Zaragoza, matando a dueños y fortificándose en palenques (Jaramillo, 1984).

Así, fue desde las urbes aristocráticas y monárquicas que se expidieron ordenanzas y reglamentos jurídicos para restringir la espacialidad del negro en ciudades como Cartagena (mandatos que iniciaron el asentamiento de un orden que privilegió la pureza de la sangre y del blanco en detrimento del negro y del indio). Estas iniciativas buscaron, en todo momento, reconocer a la esclavitud (llámese compra y venta de seres humanos) como una actividad socioeconómica legal amparada en un ordenamiento jurídico llamado los códigos del sol (Friedemann, 1993).

Los códigos jurídicos abordados líneas anteriores y propios de la Colonia, segregaron al negro a trabajos y oficios del campo prohibiéndoles ejercer labores destinadas a las castas altas de la época. Muestra de ello es la ordenanza fechada el 12 de octubre de 1528: (...) *Prohibimos pues bajo de las más severas penas que ningún negro o pardo tercerón pueda ejercer arte, ni profesión alguna mecánica, que deban quedar reservados para las personas blancas* (Quiroz, 1943).

En concordancia como la anterior y citado a la psicología moderna, cobra especial atención el comportamiento detectado en algunas comunidades negras rurales, quienes ante los desafíos de la vida y la necesidad común de creer en un futuro diferente y promisorio optan por la *desesperanza aprendida*, que termina siendo un comportamiento réplica e interiorizado de un pensamiento colonial: (...) *La gente de color debería seguir la profesión de sus padres, la agricultura o venta al por menor de frutos de primera necesidad y el ejercicio de portadores o cargadores* (Friedemann, 1993).

Ir en contra de los códigos del sol o códigos del negro¹¹, o sea en contra del orden social y económico imperante, representaba para los negros de la época castigos severos que se convirtieron en una de las primeras formas de violencia institucionalidad ejercida contra esta comunidad. Los castigos iban desde el cepo, latigazos en la plaza pública, mutilaciones (cortes de nariz y de orejas, nada en partes que pudiesen dañar la fuerza de trabajo del negro). Los relatos históricos dan cuenta de un comportamiento obligado, el cimarronaje, desembocado en la constitución de Palenques (Friedemann los llama la temprana epopeya libertaria). Martín (1990) sostiene que:

La espiral de la violencia no comenzó con el levantamiento de los oprimidos, sino con el establecimiento de la opresión; la respuesta de los movimientos y organizaciones populares hizo aflorar y multiplicarse la violencia represiva del régimen, que a su vez forzó a los sectores oprimidos a levantarse en armas.

Contrario al pensamiento generalizado, fueron los recién llegados (bozales) quienes lideraron las escamaruzas y desbandadas a los montes, lejos de las plantaciones y minas, para posteriormente fundar los Palenques, los cuales llamados por los españoles como negros zapacos y despojados de su sitio en las castas sociales de la época (Arrazola, 1970). Sin embargo, Navarrete discrepa de esta precisión, los bozales o recién llegados, luego del extenuante viaje de la travesía transatlántica y prisioneros de incertidumbres, miedos y traumas propios de la dinámica de captura y desembarco, no tenían las fuerzas físicas, contactos de escape y conocimiento, tanto del terreno como de las lenguas, como para liderar un movimiento de tal envergadura (Navarrete, 2008).

¹¹ Promulgados por el estado francés en 1685. Ellos contenían todas las prohibiciones y sanciones que los esclavos merecían por sus desobediencias: Contempla azotes hasta la muerte a quien ose escapar, sumisión total ante los blancos, prohibido tener posesiones entre otras.

Desde otra perspectiva, el mestizaje con tendencia cultural absorbente occidental terminó por coartar el brío rebelde las comunidades negras de las costas pacíficas y caribe de Colombia. No hubo levantamientos ante el actuar de las estructuras armadas organizadas político-militares que operaron en estas zonas. Por el contrario, hubo un segmento de la población que actuó a favor de la consolidación de la opresión y la violencia contra sus congéneres. Al escarbar la historia de África (primeras fases de la esclavitud) se encuentra que tal comportamiento fue identificado en ciertas tribus que dominaron la captura, esclavitud y venta, especialmente a extranjeros, de africanos iguales a ellos.

Hoy las luchas de las comunidades negras se centran en el acaparamiento del poder local con extensión regional y figuración política de individuos o sectores quienes, amparados en lo promulgado por la ley 70 de 1993, se organizan en consejos comunitarios y organizaciones de bases para exigir espacios de acción política por parte de los entes territoriales. Además, administración de presupuestos para destinarlos a proyectos locales, acciones para la autonomía administrativa en sus territorios, luchas por el respeto a la vida y derechos humanos del colectivo.

No existe una organización social, agrupabilidad étnica y/o cultural libre que recuerde a los palenques de los siglos XVI, XVII y XVIII. Se cuenta con expresiones organizativas que finalmente terminan siendo manifestaciones de las estructuras de poder de individuos ajenos a la imagen de Domingo Criollo, Angola o Biojón, pero contemporáneos y con ideales resignificados. Se perdió el cimarronaje, ese derecho histórico a revelarse que costó cientos de vidas, pero que logró mantener en el tiempo la ancestralidad cultura y la vivencia en libertad bajo los lineamientos internos y socialmente aceptados por el colectivo.

5. CONCLUSIONES

Fueron las tribus mencionadas líneas arriba, o al menos gran parte de ellas, las que poblaron y reconfiguraron la sociedad del caribe colombiano en asentamientos de negros libertarios cimarrones ubicados, estratégicamente, en las sierras o montes como los Montes de la María (antes sierra María). Además, agruparon, al menos, una docena de palenques, como: El Limón, Polín, Sanaguaré, Duanga, Joyanca, Zaragocilla, Torobé, La Matuna, María Angola, Arroyo Piñuela y Sanagual.

Otros hicieron sus asentamientos en geografías estratégicas del Caribe colombiano como: Usiacurí (departamento del Atlántico); Sierra del Luruaco con los palenques de Matudere y Betancur (entre los departamentos de Bolívar y Atlántico); Ciénega de la Matuna, palenque de la Matuna (cerca del municipio de Tolú, departamento de Sucre); La Otra Banda, asentamiento de los palenques de Tapia, Guaimaral, Gambanga y la Magdalena (departamento de Magdalena); Serranía de San Lucas, lugar de los palenques de El Firme, Norosí y Quebrada Cimarrón (Sur del departamento de Bolívar) (Navarrete, 2008; Arrazola, 1970).

Son ellos, los descendientes de los primeros pobladores quienes hoy sufren la pesada carga de segregación, exclusión y marginación que en pleno siglo XXI es convertida en derrotero de luchas y movimientos sociales que persiguen la reivindicación de derechos para las comunidades negras en Colombia: es una carga aceptada en el imaginario de un grueso de la población colombiana (en esencia mestizos) que reproduce imaginarios coloniales anacrónicos que mantienen vivas las estructuras mentales del racismo, la exclusión y segregación del negro en Colombia.

Por otra parte, y lo describe ampliamente Meillassoux, muchas de las tribus o jefes tribales esclavizados, ya conocían la esclavitud, la practicaban en sus territorios. Luego no es cierto que conocieron esta práctica con la llegada de occidente. Así lo demuestran los registros y trabajo antropológico de Meillassoux cuando documenta el tráfico de esclavos desde Sudán del Norte y Egipto desde los siglos IX, X y XI, o en las épicas batallas o guerras declaradas contra sus vecinos más débiles con el único fin de capturar esclavos para venderlos o cambiarlos por telas, joyas y otros utensilios o recursos de valor, arrastrando a centenares de campesinos africanos al pillaje, de preferencia infantes y mujeres.

Se alejan los datos recopilados de la mira romántica y compasiva de los primeros esclavos, que los tilda de seres indefensos y carentes de cualquier vestigio de rebeldía o deseos de emancipación. Los relatos históricos dan cuenta de la dinámica del cimarronaje, que se entiende como una muestra de libertad de un

pueblo esclavizado. Aunque también como las primeras formas de álgida violencia cometida por los esclavos en contra de quienes en esencia los subyugaban, maltrataban, violaban, torturaban. Todo esto bajo un precepto de desconocimiento de la humanidad del pueblo africano. Se dejan sentados los asaltos, asesinatos y quemas de hacienda por parte de los cimarrones y las operaciones nocturnas para liberar a otros esclavos.

REFERENCIAS

- Aguirre, G. (1972). *La población negra de México: Estudio etnohistórico*. Universidad de Michigan.
- Arrazola, R. (1970). *Palenque, primer pueblo libre de América*. Ediciones Hernández.
- Colmenares, G. (1979). *Historia económica y social de Colombia. Popayán una sociedad esclavista*. La Carreta inéditos.
- Curtin, P. (1969). *The Atlantic Slave trade*. The University of Wisconsin.
- Del Castillo, B. (1982). *Historia verdadera de la conquista de la Nueva*. Instituto Gonzalo Fernández de Oviedo.
- Escalante, A. (2002). *El Negro en Colombia*. Universidad Simón Bolívar.
- Friedemann, N. y Arocha, J. (1986). *De sol a sol: génesis, transformación y presencia de los negros en Colombia*. Planeta Colombiana Editorial.
- Friedemann, N. (1993). La saga del negro. Presencia africana en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- García, D. (2008). El tráfico de esclavos y la esclavitud a la base del surgimiento y desarrollo del sistema capitalista. *Anaquel de estudios árabes* 19, 53-65.
- Granada, G. (1971). *Sobre la procedencia africana del habla "criolla" de San Basilio de Palenque (Bolívar, Colombia)*. Instituto Caro y Cuervo.
- Hernández, M. (2006). Formas de territorialidad española en la Gobernación del Chocó durante el siglo XVIII. *Historia Crítica* 32, 12-37.
- Herskovits, M. (1938). *Acculturation: The Study of Culture Contact*. J. J. Augustin.
- Klein, H. (1983). *We Specialize in the Wholly Impossible: A Reader in Black Women's History*. NYU Press.
- Mallardi, M. (2016). Fundamentos y génesis de la cuestión social: Acumulación originaria, patriarcado y conquista. *Serviço Social & Sociedade* 127, 533-554.
- Malvido, E. (2010). El suicidio entre los esclavos negros en el Caribe en general y en el francés en particular. Una manera de evasión considerada enfermedad, siglos XVII y XVIII. *Trace* 58, 113-124.
- Martín, I. (1990). Psicología social de la guerra: Trauma y terapia. *UCA editores*.
- Marx, K. (1977). *El Capital*. Panamericana editorial.
- Meillassoux, C. (1990). *Antropología de la esclavitud*. Siglo XXI.
- Nadel, S. (1942). *A Black Byzantium: Kingdom of Nupe in Nigeria*. Routledge.
- Navarrete, M. (2008). *San Basilio de Palenque: Memoria y Tradición*. Universidad del Valle.
- Ortiz, F. (1975). *Los negros esclavos*. Ed. Ciencias Sociales.
- Park, M. (1960). *Travels of Mungo Park*. Dutton.
- De Quiros, J. (1943). El Contenido Laboral en los Códigos Negros Americanos. *Revista Mexicana De Sociología* 5(4), 473-510.
- Saco, J. y Ortiz, F. (1938). *Historia de la esclavitud de la raza africana en el Nuevo Mundo*. Cultural S.A.
- Triana, G. y Antorveza, H. (1989). Salud y Esclavitud (siglos XVI-XIX). *Universitas Humanística* 45, 39-65.
- Williams, E. (2011). *Capitalismo y esclavitud*. Traficantes de Sueños.

Afectaciones por el ingreso del Covid-19: Acciones para detener la pandemia y población de riesgo en la ciudad Puerto de Manzanillo, México

Lilia Susana Padilla y Sotelo¹

Rosa Alejandrina De Sicilia Muñoz²

Universidad Nacional Autónoma de México
México

La ciudad de Manzanillo es la sede del más importante puerto de México inmerso en la globalización ubicado en el contexto de la Cuenca del Pacífico, la más relevante zona comercial del mundo. Dada la importancia que actualmente reviste la pandemia del COVID-19, para contener afectaciones a la población ha sido necesario implementar acciones y evitar el ingreso del virus por el puerto, ya que la actividad portuaria no se puede detener debido a que hace parte de la cadena de suministros para el país. El abordaje analítico se basa en la Teoría del Bienestar Social desde una perspectiva geográfica, el cual puede ser medible, con el objetivo de detectar las condiciones en que se encuentra la población que se puede convertir en grupo de riesgo. Esta información se obtuvo por medio de la aplicación de la técnica multivariada del Valor Índice Medio, metodología de orden mixto que coadyuva a clasificar unidades territoriales con información de diversos indicadores, con un tratamiento cuantitativo y obtener resultados de semejanza para lograr una clasificación, cuya relevancia reside en modelar un patrón espacial que conlleva la articulación de procesos sistemáticos, empíricos y críticos que implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta. Los resultados permiten, primero, *revelar* las afectaciones por el ingreso del COVID-19 y las acciones para detenerlo por parte de las autoridades portuarias y gubernamentales; después, *exponer* los grupos humanos de riesgo obtenidos con la técnica, y luego, *mostrar* el escenario espacial de comportamiento, lo cual permite concluir que la problemática que enfrenta la ciudad y su población ante la pandemia constituye un desafío por falta de protocolos. Las referencias consideradas acceden a realizar inferencias producto de la información recabada (metainferencias) y lograr mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.³

¹ Doctora en geografía.

Contacto: padilla@igg.unam.mx

² Magíster en geografía.

Contacto: aledsm@igg.unam.mx

³ Esta investigación se desarrolla con auspicios del Fondo Semilla para Abordar Problemas Geográficos Asociados a la Pandemia de COVID-19 en México, que se lleva a cabo en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, del cual se deriva el proyecto institucional *Afectaciones y Acciones Sanitarias en Ciudades Puerto de México ante el Covid-19*, que hace referencia a las de Ensenada, Mazatlán, Puerto Vallarta, Manzanillo, Lázaro Cárdenas y Acapulco, del que forma parte el presente trabajo. Cabe mencionar que se da continuidad a una línea de estudios sobre puertos de un grupo de investigadores de esta institución y de diversas dependencias, así como otras entidades de México y del extranjero, como Cuba, Costa Rica y Nicaragua, que han desarrollado por más de diez años trabajos al respecto.

1. INTRODUCCIÓN

Al ser declarada la pandemia de COVID-19 a escala global por la Organización Mundial de la Salud OMS, en los puertos marítimos de México las exigencias sanitarias para evitar el ingreso del virus se hicieron más severas, lo cual no es privativo del país, porque ocurrió a escala mundial. Requerimientos difíciles de implementar, ya que los puertos son espacios que dificultan el aplicar medidas sanitarias necesarias para no romper la cadena de suministros por esta vía, por lo que fue imposible cerrarlos totalmente.

Ciudad y puerto constituyen un binomio, forman parte de una estructura urbana; como resultado de la emergencia sanitaria que se vive, ya desde prácticamente hace un año, en ambos, la vida cotidiana se ha transformado al requerir en la ciudad que los habitantes permanezcan en casa en distintos periodos con un distanciamiento social, confinamiento que ha variado en intensidad; el puerto ha tenido que continuar su dinámica, pero a la vez evitar que el COVID-19 ingrese y que los habitantes de la localidad se vean afectados, lo cual se ha logrado solo parcialmente, pues es un desafío de logística. Se ha tenido que actuar estrictamente para que personas y productos que arriben a los puertos provenientes de diversos lugares del mundo tengan medidas de revisión y prevención rígidas.

Los puertos al igual que los aeropuertos son considerados parte de las actividades esenciales y continúan trabajando de manera normal, aunque en la ciudad en donde se localizan no hay igual movimiento; el ingreso del virus ha originado un impacto que se ha extendido mucho más allá de la salud por el contagio de la población, ha incidido en la economía de la población y la ciudad a todos los niveles. Por ello es necesario examinar las afectaciones que se han detectado y las medidas implementadas por las autoridades portuarias para evitar el ingreso del COVID-19 y conocer las condiciones de bienestar que registra la población para que pueda ser resiliente luego de experimentar esta situación inusual, y esté preparada para enfrentar sus consecuencias.

Al inicio de la pandemia los secretarios generales de la Organización Marítima Internacional OMI y la Organización Mundial de la Salud OMS publicaron una declaratoria para que se implementen medidas de sanidad para reducir las interferencias innecesarias al tráfico y el comercio internacionales. Se declaró que no existían limitaciones al comercio ni al transporte de mercancías por barco. De hecho, durante el mes de marzo de 2020 se mencionó en relación con el manejo de los puertos ante el COVID-19 que en estos tiempos difíciles la capacidad de los servicios de transporte para entregar bienes vitales, incluidos suministros médicos y alimentos será fundamental, para responder y en última instancia superar la pandemia (OMI, 2020a).

Se hacía necesario entonces asegurar la disponibilidad de los servicios de transporte marítimo y su ingreso a puertos para el comercio del mundo en beneficio de la humanidad, el secretario general de la OMI subrayó la necesidad vital de mantener el comercio por mar y resguardar el bienestar de la gente de mar, de los puertos y de la ciudad a donde arriban los barcos ante el coronavirus.

Se solicitó a los estados miembros de la OMI implementar políticas para evitar el ingreso del coronavirus con medidas estrictas. Tratar de derrotar este debía ser prioridad, sin detener el comercio mundial, y con respeto al medio ambiente como se ha realizado, pero ahora ante la pandemia debe continuar el transporte de los bienes que todos necesitan que deben ser entregados con seguridad y con repercusiones mínimas ante esta enfermedad (OMI, 2020).

En el caso de México la postura del gobierno hacia el 11 de marzo de 2020 estando en Fase 1⁴ de la pandemia del COVID-19, con base en los casos registrados, fue tomar cartas en el asunto, aunque tardíamente, ya que el país ya se mantenía entonces bajo riesgo de contagio, no se preveía todavía la intensidad, la duración y las afectaciones que implicaba la que se convirtió en pandemia.

⁴ Fases de la Pandemia de COVID-19. Fase 1: *importación del virus* por personas que viajaron al extranjero o provenientes de otros países con lo que se inició el contagio. Fase 2: *dispersión comunitaria* transmisión de persona a persona independientemente de hayan salido o no del país. Fase 3: *contagio epidémico* el número de casos aumenta a miles, los brotes son regionales y la dispersión es a nivel Nacional. Después ya se convirtió en pandemia a escala mundial.

El 26 de marzo de 2020 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT, a través de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante CGPMM, implementó medidas y publicó los procedimientos que se deberían aplicar en los puertos marítimos del país, donde se desplazan barcos de carga y turismo, tripulantes y pasajeros, así como mercancías; siguiendo los protocolos correspondientes en materia sanitaria, de conformidad con los lineamientos de la Secretaría de Salud SS y las recomendaciones de la OMS, con la finalidad de mantener en operación el Sistema de Transporte Marítimo. Se instrumentaron acciones institucionales basadas en la premisa de otorgar facilidades a los buques que pretendan llegar a los puertos, el desembarque de sus tripulantes y pasajeros y de las mercancías siguiendo los protocolos correspondientes en materia sanitaria, que cabe señalar se han ido diseñando sobre la marcha, ya que no se contaba con protocolos antecedentes al respecto aplicables a una pandemia de tal magnitud como es la derivada del COVID-19.

Las Administraciones Portuarias Integrales API de México encargadas del manejo de los puertos, aplican desde entonces medidas de prevención y control en puertos marítimos, para la detección de casos sospechosos del COVID-19, lineamiento estandarizado para todo el país diseñado por la Dirección General de Epidemiología DGE de la SS en coordinación con Sanidad Internacional, dependiente de esta, y con los Servicios Estatales de Salud de la entidad federativa a la que los puertos pertenezcan, si bien hay lineamientos generales, cada estado implementó algunas medidas específicas acordes a los requerimientos locales, por el tipo de orientación económica y especialización, ya que las necesidades de un puerto turístico como Cozumel, son diferentes a uno que es un *clúster* comercial industrial como el de Manzanillo.

La SCT informó entonces que no se aplicarían procedimientos críticos (cierres) en las vías de entrada al país, pero sí monitoreos en los aeropuertos y puertos, sobre todo de aquellas personas que provenían de países de alto riesgo. El personal, proveedores, navieras y agencias aduanales continuarían ingresando normalmente a las instalaciones, aunque se les solicitaba restringir en lo posible número y frecuencia de accesos, además de atender medidas de prevención portando su propio material de bioprotección (tapabocas, mascarillas y líquidos desinfectantes, desechándolos en los sitios designados por la empresa). Asimismo, se suspendieron visitas de clientes y viajes de negocios del personal portuario.

En México las medidas de prevención para Sanidad Marítima, libre tránsito de buques y cruceros ante el Covid-19 se basaron en dos líneas: una respecto al transporte otorgando autorizaciones a las embarcaciones tanto de pasajeros como de carga, así como los vinculados a la producción y distribución de gas, petróleo, gasolina y turbosina, y organización de puentes humanitarios⁵ para atender a pasajeros de cruceros; la otra con acciones de tamizaje o sea detección de síntomas de COVID-19 a través de medición de temperatura e interrogatorios a fin de prevenir y de promover que pasajeros o viajeros procedentes de países con transmisión de coronavirus activa, cuenten con una detección oportuna de los síntomas mediante el monitoreo de su temperatura e interrogatorio de rutina ante la pandemia declarada en 2020.

En función de que el capital humano es fundamental para desarrollar las operaciones de comercio exterior, los principales operadores portuarios en México reforzaron al inicio de la pandemia sus protocolos para evitar la propagación del COVID-19, en los trabajadores de los puertos y en la población local. Sin embargo, ello no fue suficiente, ya que a un año los contagios continúan y los fallecimientos son numerosos.

Debe resaltarse que, en Manzanillo, aparte de las actividades portuarias, destacaron durante mucho tiempo las turísticas y actualmente hay que considerar otras actividades de importancia, la generación y transmisión de energía eléctrica y la minería e industria del gas que han convertido a esta localidad en un *clúster*; como ya se mencionó, el cual propicia un gran movimiento en toda la ciudad que debe tenerse en cuenta con la situación de salud que se está viviendo hoy en día.

⁵ El Gobierno de México ha realizado puentes humanitarios que consisten en otorgar apoyo para desembarcar a los pasajeros y tripulantes de los cruceros que no fueron atendidos en otros países, trasladarlos al aeropuerto más cercano para que aborden los vuelos a sus lugares de residencia. En México en apoyo a 2 mil 273 personas de diferentes nacionalidades que venían en cruceros, de marzo a mayo, en Puerto Vallarta (litoral del Pacífico), desembarcaron mil 836 personas; en Cozumel (litoral del mar Caribe 141; en Puerto Progreso (litoral del Golfo de México, 49 y fuera de nuestro país, pero muy cercano, en San Diego, California, se apoyó a 98 mexicanos y a 149 extranjeros.

A partir de ese contexto en la presente investigación se analiza el comportamiento de la pandemia del COVID-19 en la ciudad puerto de Manzanillo, ya que su proyección multi-escalar al ser el más importante del país, lo convierten en un espacio propenso al ingreso del virus hacia la ciudad por el intenso movimiento en sus instalaciones, a lo que se puede agregar lo que expresa Bauman (2003) acerca de que en la actual etapa de globalización de la economía internacional los centros urbanos se han transformado en unidades geográficas esenciales, lugares donde se concentran procesos de desarrollo estratégicos, protagonistas de un renovado impulso del enfoque regional como opción para el desarrollo territorial. De manera que ante la situación de crisis derivada del COVID-19 se ha demostrado que en especial las ciudades son lugares que propician la difusión de la pandemia, porque se ha detectado que en concentraciones de población esta situación se agudiza por la movilidad y la diversidad de interrelaciones regionales.

En función del escenario expuesto el presente trabajo tiene un *objetivo general* con tres vertientes que es *conocer* las afectaciones derivadas del COVID-19 y las acciones sanitarias implementadas en el puerto de Manzanillo, así como los niveles de bienestar de la población de la ciudad. Y como *objetivos particulares*: *enfaticar* la importancia de la localización de Manzanillo hacia la Cuenca del Pacífico de gran relevancia en el desarrollo estatal al que pertenece; *revelar* las líneas orientativas que conducen a explicar la lógica del abordaje analítico como sustento; *examinar* las afectaciones por el COVID-19 y acciones sanitarias implementadas por las autoridades portuarias; *mostrar* los niveles de bienestar que registra la población de la ciudad y la relación con el COVID-19, ya que ciertos sectores pueden convertirse en grupos de riesgo; y *exponer* reflexiones conclusivas ante la actual crisis derivada de la pandemia de COVID-19 en las que se subrayan su localización, movilidad, interrelaciones, y el tipo de actividades económicas que registra, que se vuelven sumamente problemáticas para enfrentar la pandemia.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Contextualización geográfica de la ciudad Puerto de Manzanillo

México en el contexto mundial cuenta con dos grandes litorales, uno hacia el Océano Pacífico con 7 828 kilómetros y otro hacia el Océano Atlántico, en este hacia el Golfo de México y Mar Caribe con 3 294 kilómetros, situación bidimensional que le confiere una posición geoestratégica a diversas escalas (Figura 1), con amplia heterogeneidad paisajística, geomorfológica, climática y socioeconómica. Derivado de esto, el país cuenta con un Mar Patrimonial que consta de 2 949 065 kilómetros cuadrados; de ellos 2 717 252, equivalentes al 92%, pertenecen a la Zona Económica Exclusiva, que incluye islas y Mar Territorial. De ahí la importancia de los puertos de México y el interés de realizar investigaciones referentes a estos espacios y más en la situación actual de pandemia que se vive a escala global.

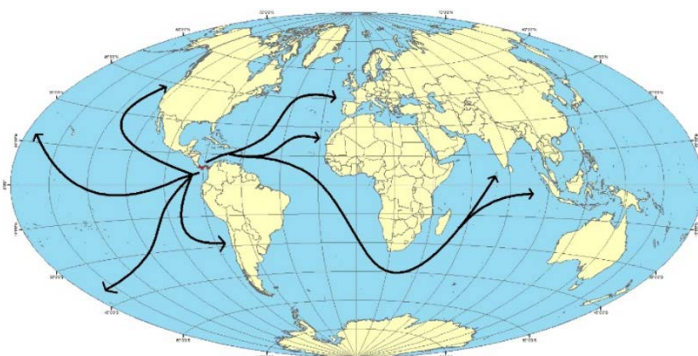


Figura 1. Posición geoestratégica de México en el mundo

En ese ámbito se localizan la ciudad Puerto de Manzanillo que se ubican en el municipio de igual nombre perteneciente al Estado de Colima situado al centro occidente de México. Gran parte de su territorio es montañoso y accidentado con numerosas pendientes que propician la ocurrencia de flujos torrenciales y avalanchas; forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur de México que tiene relación con la Placa de Cocos, inmensa placa móvil que emerge del fondo del Océano Pacífico a la superficie, ejerciendo presión al continente, lo cual da origen a la fuerte sismicidad que se registra en la zona (Patiño et al, 2009).

Cuenta con una porción de planicie costera hacia el Sur; componen su litoral varias bahías y lagunas costeras, de las cuales destacan las bahías de Manzanillo y Santiago separadas por la península de Santiago (Figura 2) próxima a la Bahía de Manzanillo está la Laguna del Valle de las Garzas, que se conecta a través de la laguna de San Pedrito, lugar donde se encuentra el Puerto Interior (Administración Portuaria Integral de Manzanillo) y son relevantes también la laguna de Cuyutlán que conforma el vaso principal de aguas interiores, y la laguna de Tapeixtles al Oriente del recinto portuario; desembocando hacia la Bahía de Santiago se encuentran la Laguna Juluapan en la parte Noroeste de la bahía.

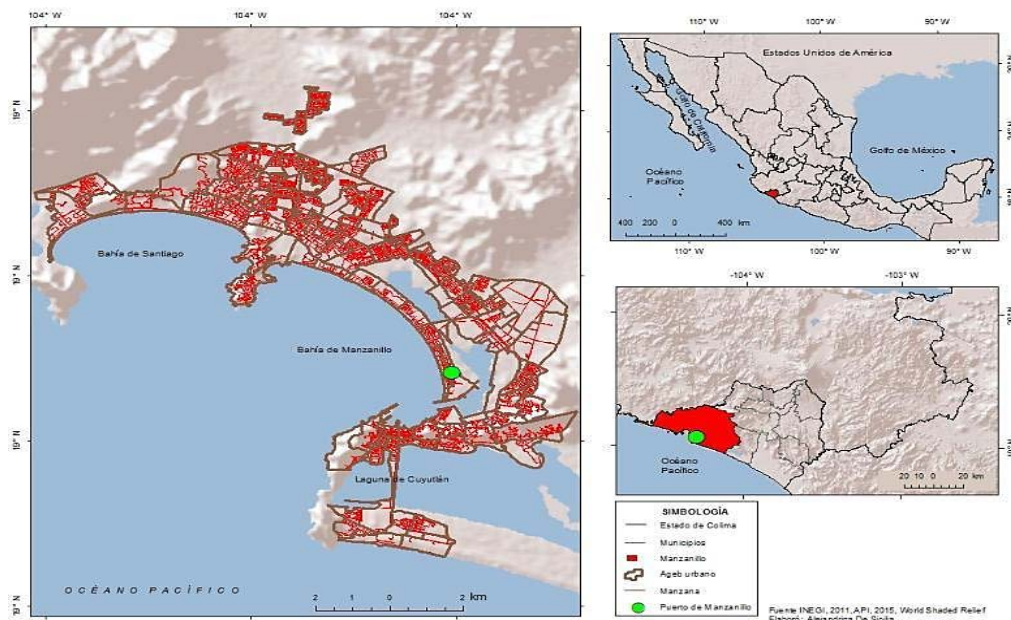


Figura 2. Localización de la ciudad puerto de Manzanillo a escalas nacional, estatal, municipal y local (A partir de INEGI, 2010a)

La ciudad de Manzanillo se divide en dos zonas. Una la del centro restaurada que coincide con el puerto comercial. En contraste, la otra se localiza a unos kilómetros hacia arriba por la línea de costa en donde se encuentran los desarrollos turísticos más importantes hacia Bahía de Manzanillo, mientras que Bahía de Santiago (más al norte sobre la costa) está menos desarrollada para esta actividad, aunque cuenta con importantes complejos hoteleros como el famoso Club Maeva Las Hadas y el Hotel Vista Playa de Oro, el primero a partir de cuya creación se proyectó en la ciudad el turismo a escala internacional en el siglo pasado.

La importancia del puerto de Manzanillo deriva de su localización hacia la Cuenca del Pacífico, por lo que su proyección se ha vuelto multi-escalar y sus conexiones y mercado se han expandido de forma significativa.

2.2 Líneas teóricas orientativas para el abordaje analítico

Se comienza por mencionar la perspectiva de la Geografía de la salud con la declaratoria mundial. El jueves 30 de enero de 2020, cuando el Comité de Emergencias convocado por el director general de la OMS y en virtud del Reglamento Sanitario Internacional RSI, se reunió para tratar sobre el brote del nuevo coronavirus (2019-nCoV) en la República Popular China y los casos exportados a otros países se dijo que la función del comité es prestar asesoramiento al director general, en quien recae la decisión final de declarar una Emergencia de Salud Pública de Importancia Internacional ESPII. El Comité ofrece también asesoramiento en materia de salud pública o propone recomendaciones temporales de carácter oficial, según proceda (OMS, 2020). Se considera entonces al COVID-19, causado por el virus SARS-CoV-2⁶, como una emergencia de salud pública de importancia global y catalogada como pandemia, el 30 de enero y 11 de marzo de 2020, respectivamente y ante la cual no se cuenta con vacuna ni protocolos para su tratamiento.

⁶ Presenta una viabilidad de 3,72 horas en superficies inertes, un periodo de incubación de 5,1 (IC95%: 4,5-5,8) días, y se espera que el 97,5% presenten síntomas en los primeros 11,5 (IC95%: 8,2-5,6) días de infección, por ello, la mayoría de las organizaciones respaldan periodos de vigilancia de al menos 14 días a casos expuestos, incluso siendo asintomáticos (Sánchez et al., 2020).

Villerías y Juárez (2020) consideran que los fenómenos de salud son dinámicos y la aparición de una nueva enfermedad infecciosa regularmente causan conmoción y un panorama complejo en las sociedades, especialmente si lo hace como una epidemia de extensión o gravedad significativa, como es el COVID-19, que paso a ser pandemia. La Geografía de la salud y el Análisis espacial cuantitativo proporcionan un sustento teórico y metodológico que permite explicar la variabilidad espacial de esta nueva pandemia en el territorio, así como la descripción de patrones espaciales y la predicción de su comportamiento. Estos fenómenos deben ser analizados con visión totalizadora e integradora que permite conocer la distribución, la asociación y evolución de las enfermedades.

El desarrollo de esta investigación tiene como fundamento la Teoría del Bienestar Social, concepto abstracto y complejo con diferentes aristas, que presenta relación con la calidad de vida de la población. El bienestar se puede analizar como proceso hasta alcanzar el significado de bienestar social.

El Bienestar Social equivale al nivel de vida que corresponde al conjunto de bienes y servicios que pueden obtener las diferentes categorías de renta de las personas o a la calidad de vida que alude a las condiciones de vida material de una sociedad (Castillo, 2009). Perspectiva económica sobre relación proporcional entre el nivel de renta y el bienestar social, a mayor ingreso se puede acceder a mayor cantidad de bienes y servicios que generan bienestar social y mayor calidad de vida en las personas. Definir el bienestar social solo a través de variables económicas, sin tomar en cuenta otros factores como los sociales que caracterizan a los grupos humanos, es casi imposible, por la subjetividad del concepto, no hay una definición universal.

Surgen otras perspectivas al respecto que consideran que el bienestar económico es conocido también con el nombre de bienestar social y este representa el valor de los cambios en la utilidad de las personas expresados en términos monetarios. Es un concepto técnico utilizado por los economistas que sirve para representar el grado de satisfacción de las personas derivado de las actividades, consumo de bienes y servicios ofrecidos en la economía (Mendieta, 2007).

El concepto de Bienestar Social es de naturaleza abstracta, compleja e indirectamente medible, por lo que admite múltiples orientaciones y definiciones variadas. En la literatura económica se le consideró como objeto de estudio principalmente a partir de la obra de Arthur C. Pigou (citado por Actis (2008)).

Según Palomba (2002), el Bienestar Social se asocia con la calidad de vida, ya que es un término multidimensional de las políticas sociales que significa tener buenas condiciones de vida *objetivas* y un alto grado de bienestar *subjetivo*, incluye la satisfacción colectiva de necesidades a través de políticas sociales en adición a la satisfacción individual de necesidades es una expresión relacionada con el bienestar, que se relaciona con la salud, educación, empleos y servicios.

Dado el carácter abierto del puerto de Manzanillo como sistema interconectado entre sí y con otras realidades (economías, culturas, instituciones, etc.), algún factor local puede entrar también en interacción con lo que ocurre en su entorno continental (nacional o internacional), por ejemplo, la proyección internacional del puerto se conecta con otros ámbitos de interacción múltiple, y de modificación de atributos entre sí, o hacia determinado sentido, puede citarse el comercial. Se debe tomar en cuenta que el concepto de bienestar social este referido a una colectividad, que es consecuencia de diversos factores que inician individualmente y se presentan en el conjunto de la población.

Las dimensiones sociales de análisis de la sociedad de la ciudad puerto de Manzanillo, como las relacionadas con los bucles de auto-organización⁷, de los *factores* que surgen entre los pares de conceptos *objetivo-subjetivo*, *estructura-acción*, *consenso-conflicto*, *macro-micro*; así como con las diferentes instancias de la sociedad (lo económico, lo cultural, lo institucional, etc.), permiten su estudio desde una realidad social determinada que, regido teóricamente por el pensamiento complejo como marco teórico referencial, imposibilitan la reducción de los mismos factores a cualquier dimensión o instancia de la

⁷ Según Sarmiento (2011), los bucles son disposiciones circulares de elementos que están conectados causalmente, de manera que una fluctuación inicial circula por todas las mallas en una cadena continua de multicausas y multiefectos que, a la vez, son causas de efectos posteriores, llegando a realimentar al nódulo inicial.

sociedad, mostrando la integralidad de ellos en todo momento de su proyección y captación cognoscitiva (Sarmiento, 2011).

Se comprende que la función del factor social, como el bienestar, además de causal y sistémica, es cognoscitiva, por cuanto permite conocer la realidad que le circunda; y es metodológica, dado que permite el análisis de las partes -que accionan o existen- como un conjunto de relaciones sociales de multiplicidad de componentes entrelazados que dan lugar a su integralidad compleja (Guzmán y Caballero, 2012). Se maneja entonces un factor social en cuyo caso es empírico, o sea, observable y medible, aunque también posee una carga teórica que lo explica y justifica ante la ciencia.

3. MÉTODO

Para el cumplimiento de los objetivos previstos se asumió como método general de la investigación el dialéctico-materialista, con enfoque de sistema y, de manera particular, los métodos teóricos (análisis y síntesis, inducción y deducción, histórico-lógico); empíricos (observación, entrevista a informantes clave y consulta a especialistas); geográficos-cartográficos (análisis espacial y su representación cartográfica), y; estadísticos (utilización de la técnica multivariada Valor del Índice Medio, correlaciones simples y múltiples de variables socio-demográficas).

Se inicia con una indagatoria bibliográfica, estadística y cartográfica a diferentes escalas del contexto internacional y nacional de la pandemia, así como del comportamiento del COVID-19 en el estado de Colima, al cual hay que recordar pertenece el área de estudio, así como en el municipio, lo que da pauta para conocer las acciones implementadas en el puerto y las afectaciones en la del municipio de Manzanillo, para lo cual se examinaron referencias de aspectos sanitarios, económicos y sociales que complementan el estudio y fundamentan el abordaje analítico a través del examen realizado que potencian el desarrollo del trabajo.

La obtención del *Índice de Bienestar Social* se fundamenta con la técnica multivariada del *Valor Índice Medio*, que permite clasificar unidades territoriales, con información de diversos indicadores para el análisis con un tratamiento cuantitativo y obtener resultados de semejanza para lograr la clasificación de casos involucrados muy diferentes (García, 1989) tratamiento que se lleva a cabo a través de la secuencia de la Figura 3, en donde se presentan las etapas de organización y aplicación para obtener los resultados esperados, que corresponden a los niveles de bienestar social. Con ello se corrobora la importancia de la perspectiva de la Geografía de la salud y el Análisis espacial cuantitativo como sustento teórico y metodológico que dan pauta para explicar la variabilidad espacial de la población con la descripción de patrones espaciales. Además, se realiza un análisis geográfico con apoyo cartográfico que permite sintetizar y contrastar la información obtenida de la manera más cercana a la realidad. Una vez realizada la búsqueda bibliográfica y revisar las características físicas de la ciudad de Manzanillo.



Figura 3. Etapas para la aplicación de la técnica multivariada del Valor Índice Medio

La categoría de análisis espacial seleccionada corresponde a las Áreas, Geoestadísticas, Básicas AGEB urbanas proporcionadas por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI, con que cuenta la ciudad de Manzanillo, las cuales son 119. De cada una se analizaron 34 indicadores representativos de los principales temas relacionados con el bienestar de la sociedad de los cuales se citan solo algunos ejemplos: población (total y mayor de 60 años), educación (asistencia a la escuela, no saben leer y escribir, grado de escolaridad), economía (empleo), salud (con o sin derecho a servicios de salud) y vivienda (ocupantes, tipo de material en la construcción, número de cuartos, y/o servicios) por ejemplo. Los indicadores fueron tomados de la base censal de datos del INEGI (2010), (debe señalarse que los datos de población corresponden a 2010, ya que a la fecha no se tienen todavía los resultados a escala AGEB, los cuales fueron reducidos a unidades de desviación típica y se convierten en unidades adimensionales, se conformó una matriz de datos y se determinaron los niveles de bienestar.

Cabe mencionar que en esta ocasión no se pudo realizar trabajo de campo, ya que la pandemia no lo permitió, sin embargo, a partir del trabajo precedente sobre la línea de puertos se había acudido frecuentemente a la ciudad y el puerto, con lo cual se pudo corroborar la información y soslayar esta limitante, asimismo se hicieron entrevistas a autoridades vía telefónica.

4. RESULTADOS

4.1 Problemas por el ingreso del COVID-19 y acciones para detener la pandemia en la ciudad Puerto de Manzanillo

A continuación, se aplica lo mencionado en las líneas teóricas orientativas, en cuanto a que estos fenómenos de la salud como la pandemia de COVID-19 deben ser analizados con visión totalizadora e integradora que permite conocer la distribución, la asociación y evolución de las enfermedades. En esta investigación se enfoca a conocer las medidas adoptadas por autoridades portuarias y de gobierno para su contención y conocer el comportamiento de la pandemia en la ciudad Puerto de Manzanillo, como elementos aleatorios a lo que es la parte principal del trabajo, el mostrar los grupos de riesgo ante esta enfermedad.

4.1.1 En el puerto

El transporte marítimo de carga tiene un comportamiento muy sensible a las variaciones económicas internacionales, a las políticas que estimulan o inhiben el comercio y a las dinámicas particulares de cada país. En México, en enero de 2020 hubo un ligero repunte de los flujos en los puertos, por la tensión comercial internacional y de la conclusión del Acuerdo Comercial entre México, Estados Unidos y Canadá T-MEC. En febrero, comenzaron a sentirse ya en los puertos mexicanos los primeros efectos del cierre de la economía China, debido al avance del COVID-19 en ese país; durante marzo de 2020 la contracción fue de 34.4% con respecto al mismo mes del año anterior. Los impactos del COVID-19 se fueron difiriendo en el tiempo según las zonas geográficas de vinculación de cada litoral y el tipo de productos comercializados⁸ (Martner et al., 2020).

En el transporte marítimo del país se observó una caída del 1% en el primer bimestre de 2020 debido principalmente al intercambio comercial con China, antes del primer pico de contagio que fue en mayo y que obligo al confinamiento de la población en las casas. El transporte de pasajeros en cruceros a puntos turísticos del Caribe Mexicano y otras partes del país se vio sumamente afectado, con cancelaciones del 100%, con la consiguiente pérdida de recursos y empleos. El movimiento intermodal marítimo, decreció 1.8% (Basque, 2020).

Durante el primer trimestre del año 2020 el rubro que mantuvo un crecimiento sólido en ambos litorales del país fue el de los gránulos agrícolas con una tasa global de 10%. La carga general no contenerizada se mantuvo positiva. Durante el primer trimestre creció 2.6%, el litoral del Golfo de México mostró un comportamiento plano y el litoral del Pacífico fue positivo. Por el contrario, la carga contenerizada tuvo un signo negativo en ambos litorales, con una reducción diferenciada en toneladas de -10.1% en el Pacífico, frente a un -3.6% en los puertos del Golfo de México. datos que confirman que la pandemia de COVID-19 golpeó primero en los puertos del Pacífico, en contraste con el Golfo de México el efecto fue retardado (Martner et al, 2020). La carga manejada en el año de 2020 disminuyo 7.7% por la pandemia.

El movimiento de contenedores por el principal puerto del país, Manzanillo, muestra un comportamiento distinto ya que sufrió un descenso en el intermodal durante febrero y marzo de 2020 por el cierre de la actividad económica de países asiáticos, ocasionada por el COVID-19. No obstante, en abril muestra una

⁸ Las cifras por litoral varían. Los puertos del litoral del Golfo de México alcanzaron importante crecimiento de 4.1%, los del Pacífico sufrieron una severa caída de -11.8% en el primer trimestre de 2020, en gran medida debido a que están articulados con los flujos comerciales y cadenas de suministro del Lejano Oriente, por lo que resintieron desde mediados de enero los impactos del COVID-19, por el cierre de la planta productiva y los puertos en China y otros países asiáticos. Los puertos del Golfo están más vinculados a los flujos de cadenas de suministro de Europa, la costa este de Sudamérica y la costa estadounidense del Golfo de México, donde los efectos de la pandemia se sintieron de manera menos severa.

recuperación en el flujo de contenedores por el ajuste de las cadenas de suministro por reapertura de la economía de China, así como por arribo tardío de cajas que se quedaron rezagadas en los puertos del Lejano Oriente durante los primeros meses del año. La carga contenerizada operada en el puerto de Manzanillo durante 2020, que es el puerto que más mercancía moviliza del país, tuvo un descenso menor del 4% al manejar 30 millones 897 081 toneladas en comparación con el año anterior (González, 2021).

Las acciones implementadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (APIMAN, 2020) fueron desde el inicio las que se mencionan a continuación, que se mantienen a la fecha a un año del inicio de la pandemia: filtro sanitario donde se valida la higiene, y el correcto uso de guantes y cubrebocas, en todos los accesos, se tiene establecido toma de temperatura, el uso de gel obligatorio y de cubrebocas, las charolas sanitizantes en los accesos para los pies y revisión y supervisión diaria del cerco sanitario las 24 horas.

Aunque las acciones iniciaron a finales del mes de enero de 2020, se siguió trabajando conforme a las nuevas disposiciones que estableció la Secretaría de Salud y las autoridades competentes como Capitanía de Puerto.

Queda claro, que la actividad portuaria es esencial para el desarrollo del país, por lo que no se han dejado de atender las recomendaciones que las autoridades sanitarias han emitido, así como las instrucciones de la autoridad marítima portuaria, con el objetivo de prevenir el contagio por COVID-19 entre los usuarios del puerto y la población de la localidad.

Por lo anterior, se trabajaba también en las instalaciones del puerto, según la API, en acciones como las que se listan: suspensión de capacitaciones, reuniones o viajes al exterior del Estado de Colima, evitar contacto directo con personas que padezcan infecciones respiratorias agudas; lavado de manos frecuente, evitar contacto con animales de granja o salvajes, mantener cultura de higiene al toser o estornudar, en caso de tener síntomas de alguna enfermedad después de su viaje, acudir al médico familiar, fomentando la sana distancia y el trabajo desde casa.

Se asignaron roles de guardias en el personal de las instalaciones portuarias brindando atención especial a sus trabajadores adultos mayores o con enfermedades crónico-degenerativas, enviándolos a sus casas. Asignación de personal para la toma de temperatura con termómetros infrarrojos (sin contacto) en los accesos a las oficinas administrativas. Restringiendo el acceso a las instalaciones para quienes presenten temperatura corporal igual o mayor a 38°C. Se han instalado marcas a no menos de 1.5m en el piso dentro y fuera de los edificios administrativos. Requisitado del formato para seguimiento de posible contacto. Suspensión del servicio de transporte del personal APIMAN, para mantener la sana distancia. Suspensión de la asistencia a los edificios de quienes realizan prácticas profesionales.

Entre las medidas económicas la APIMAN informó que, debido a la actual pandemia por el COVID-19 y en apoyo a la situación económica imperante, otorgará en un período de hasta tres meses, un descuento no mayor del 5% en las tarifas por uso de infraestructura portuaria (puerto y atraque) para las líneas navieras y/o consignatarias que utilizan el puerto. El descuento mencionado se aplicará exceptuando las tarifas por uso de infraestructura portuaria aplicable a Tráfico de Cabotaje y Transporte Marítimo de Corta Distancia (Redacción T21, 2020).

No obstante, puede decirse que el puerto no estaba a mediados de julio de 2020 en una etapa normal en materia sanitaria debido al COVID-19 a pesar de las medidas tomadas por las terminales portuarias al respecto. Destaca que en primer momento se han preocupado por la salud del personal sin escatimar en recursos y esfuerzos.

4.1.2 En la población

Las afectaciones en la población por el COVID-19 se dieron a conocer por la Secretaría de Salud del Estado de Colima el 15 de junio de 2020; en el contexto nacional se reflejaba que en ese mes el estado de Colima se encontraba en el séptimo lugar a nivel nacional con mayor incremento de casos activos por cada 100 mil

habitantes, con un aumento del 89%. El municipio de Manzanillo entró a la Fase 3 de la pandemia por el COVID-19 por el incremento de casos positivos que se registraron, basados en el comportamiento epidemiológico presentado en la ciudad puerto de igual nombre por la dispersión del virus. En la ciudad de Manzanillo se tenía el 67.7% del total de casos confirmados contabilizados en la entidad, ya que durante las dos primeras semanas de junio se reportó un aumento de 97% de casos, lo que representaba una *etapa explosiva* de contagios, siete de cada 10 casos en la entidad se registraron en el municipio de Manzanillo, básicamente en la ciudad homónima. El seguimiento hecho a las proyecciones proporcionadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT establece que el comportamiento epidemiológico es consistente y diferente que en el resto de los municipios del estado de Colima. Manzanillo registraba 199 casos positivos por COVID-19, de los cuales 85 permanecían activos, 87 se lograron recuperar y 28 pertenecían a personas que fallecieron de acuerdo con el último reporte de la Secretaría de Salud Estatal (Rodríguez, 2020).

La Secretaría de Salud estatal emitió que la situación epidemiológica en Manzanillo hacia mediados de 2020 muestra que la tasa de enfermedad por COVID-19 es de 101 personas por cada 100 mil habitantes, y de cada 100 pacientes enfermos, 14 derivan en defunciones. De los cuatro indicadores para determinar el semáforo de riesgo, para que Manzanillo pasara a Fase 3, al respecto se consideran otros cuatro factores que según la intensidad positiva o negativa deben estar en color rojo o verde y en este caso, para estas fechas el municipio de Manzanillo se encontraba en rojo en tres de cuatro.

Estaba en verde solo en el indicador de la *ocupación hospitalaria*, ya que tiene ocupado solo el 22%. Mientras, que en *tendencia de hospitalización* estaba en rojo, debido al incremento de casos que han requerido ingreso hospitalario; el promedio de edad aproximado de los casos confirmados en Manzanillo era de 47 años, porque ha habido tanto pacientes infantiles (uno de nueve años) como adultos mayores (hasta de 92 años); en los fallecimientos, el promedio de edad es de 60 años, pues las muertes corresponden a personas de entre 42 y 92 años.

En el indicador de *tendencia de adquirir el síndrome del Covid-19* estaba en rojo, por el riesgo que presentan algunos grupos con comorbilidad (presencia de enfermedades asociadas como diabetes, hipertensión etc.). Por último, en el indicador de la *tendencia de positividad* del COVID-19 en las personas, también estaba en rojo por la cantidad de casos confirmados y sospechosos (Rodríguez, 2020a).

Se señaló que la mayor cantidad de contagios por coronavirus en el puerto corresponden a la zona urbana de Manzanillo hacia la parte conocida como Santiago, con 184 casos confirmados y en la conurbación de la localidad El Colomo (ver Figura 6).

Asimismo, las medidas socio-sanitarias adoptadas en la ciudad puerto de Manzanillo en Fase 3, al igual que en todo el país fueron: Suspender todas las actividades no esenciales en los sectores público, privado y social del 30 de marzo al 30 de mayo de 2020. Las escuelas públicas y privadas de cualquier nivel educativo extienden su receso también en estas fechas. En todos los sectores y actividades definidos como esenciales había prohibiciones de realizar reuniones o congregaciones de más de 50 personas. Es obligatorio el lavado frecuente de manos, estornudar o toser aplicando la etiqueta respiratoria; el saludo debe ser a distancia (no saludar de beso, ni de mano, ni de abrazo) y todas las demás medidas de sana distancia vigentes. Se exhorta a la población residente en el territorio mexicano, incluida la procedente del extranjero, y que no participa en actividades laborales esenciales al resguardo domiciliario.

El resguardo es obligatorio para toda persona mayor de 60 años o con diagnóstico de hipertensión arterial, diabetes, enfermedad cardíaca o pulmonar, inmunosupresión (adquirida o provocada), en estado de embarazo o puerperio inmediato, independientemente de si su actividad laboral se considera esencial. Medidas previstas tras la declaración de la Fase 3. Los cambios que contempla esta fase son la suspensión de actividades generales no esenciales, aplicar medidas más severas con el fin de aplanar la curva de enfermedades, suspender eventos públicos. Todo ello para evitar el riesgo principal, la saturación de Sistema Nacional de Salud (Basque, 2020). Situación que no se logró, pues la capacidad hospitalaria en el país se vio rebasada.

Las autoridades municipales en conjunción con las estatales implementaron el cierre de playas, balnearios, parques recreativos, filtros sanitarios en el acceso a la ciudad de Manzanillo, programa de atención alimentaria a familias en pobreza y que hayan perdido su empleo, descuento en los algunos trámites oficiales entre las que se pueden citar.

4.1.3 Población de riesgo a partir de los Niveles de Bienestar Social en la ciudad de Manzanillo

A efecto de seguir con las líneas teóricas orientativas se considera la teoría del Bienestar Social término multidimensional que considera el nivel de vida de acuerdo con los bienes y servicios que se pueden obtener, se asocia con la calidad de vida que alude a las condiciones de vida material de una sociedad, que incluye la satisfacción colectiva de necesidades a través de políticas sociales en adición a la satisfacción individual de necesidades. Así el Bienestar Social se relaciona con población, educación, vivienda, seguridad social (salud) y economía (empleo) y servicios.

Con el fin de detectar en la ciudad puerto de Manzanillo aquella población que constituye grupos de riesgo ante la pandemia de COVID-19, para su obtención se procesaron 34 indicadores de las 119 AGEB, que se mencionaron en el apartado de método, con el objetivo de obtener el *Índice de Bienestar Social*, el cual se obtuvo con la aplicación de la metodología multivariada de *Valor Índice Medio* en tres pasos:

- *Paso 1.* Aplicación de un tratamiento cuantitativo a los indicadores seleccionados encaminado a obtener una clasificación, los valores originales se convierten en tipificados, se obtiene con las fórmulas de media aritmética (ecuación 1) y la desviación típica (ecuación 2) de cada indicador.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

- *Paso 2.* Una vez realizadas las anteriores ecuaciones, se realizó la ecuación de normalización (ecuación 3) de los datos originales para evitar grandes diferencias.

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{X}_i}{S(i)} \quad (3)$$

Donde:

I es el número del indicador

Xi es el valor de caso en el indicador

X1 es el valor de la media aritmética del indicador i

s(i) es la desviación típica del indicador 1

Z es el valor normalizado resultante del indicador i en cada caso

- *Paso 3.* A la información obtenida se le asignó un valor numérico entre el 1 y el 5, con base en los criterios de valores normalizados, de esta manera los valores anteriormente tipificados se convertirán en valores índice o *score* (Tabla 1) (García, 2006).

Tabla 1. Rangos de valor normalizado para obtener los Niveles de Bienestar Social

Rangos de Valor Normalizado	Calificación
Menor a -1.0	1
De -1.0 a -0.5	2
De -0.5 a 0.5	3
De 0.5 a 1.0	4
Mayor de 1	5

Siguiendo los criterios de la Tabla 1, se asignaron los valores para la determinación de *Niveles de Bienestar Social*, se detectó de los datos procesados que aquellos que obtuvieron calificaciones de 4 y 5 corresponden a las AGEB que cuentan con las mejores condiciones respecto a las variables analizadas, por el contrario, aquellas que obtuvieron calificación de 1, son las más desfavorecidas.

Por último, se sumaron las calificaciones de cada AGEB que se colocaron en una matriz a la cual se le agregó una columna que se dividió entre los datos de cada una de las 119 AGEB, el resultado es el *Valor Índice Medio*, con base al cual se identifica el *Nivel de Bienestar Social* de la población de la ciudad puerto de Manzanillo.

Posteriormente se jerarquizaron los valores obtenidos de mayor a menor, con lo que se obtuvieron cuatro grupos de acuerdo con la clasificación anterior y considerando que la calificación máxima posible de obtener fue de 4.75 y la mínima de 1.78, los rangos de calificaciones (Tabla 2) se agruparon en las categorías convencionales.

Tabla 2. Agrupación de rangos para obtener Niveles de Bienestar Social en la ciudad puerto de Manzanillo con base al Valor índice Medio

Niveles	Valor Índice Medio
alto	4.0 a 4.75
Medio alto	3.0 a 3.9
Medio bajo	2.0 a 2.9
Bajo	1.0 a 1.9

Los *Niveles de Bienestar Social* se presentan en la Figura 4 con el número de AGEB que registra cada uno; se puede apreciar que el nivel que mayor cantidad presenta, es el *medio bajo* (39), que si se suma a las del *valor bajo* (25) significa que más de la mitad de AGEB no tiene buenas condiciones al respecto, lo cual debe ser considerado en el ámbito sanitario, ya que subyace mayor probabilidad de daño en esos niveles. En este mismo orden con base a que el *Índice de Bienestar Social* integra dimensiones de población, educación, economía (empleo), salud y vivienda, incide en la capacidad de la población para enfrentarse a los efectos de la pandemia y dificulta su resiliencia ante el COVID-19, ya que su situación social, económica y/o cultural los hace más vulnerables; sin embargo, debe mencionarse que estas AGEB no concentran la mayor proporción de población como se ve en el análisis de las características de cada nivel que más adelante se desarrolla, que permite afirmar que la proporción de población con mayor vulnerabilidad no es la mayoritaria en la ciudad de Manzanillo.

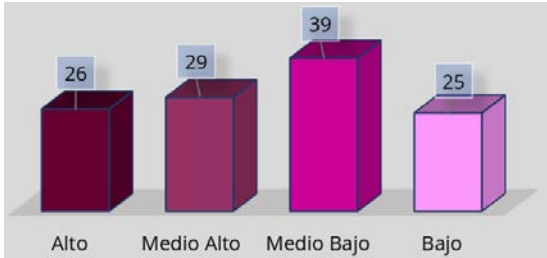


Figura 4. Niveles de Bienestar Social en la ciudad de Manzanillo y cantidad de AGEB

Con el fin de observar el conjunto de población se muestra la pirámide correspondiente al municipio de Manzanillo con datos absolutos (Figura 5), del cual la ciudad equivale al 80% del total o sea que se localiza básicamente en la ciudad homónima; al interior de la ciudad de Manzanillo se conjunta en las zonas de Santiago, Salagua y Manzanillo Centro. Se observa una población mayoritaria en las cohortes jóvenes de 15 a 30 años, también se aprecia importante proporción en los adultos mayores de más de 60 años.

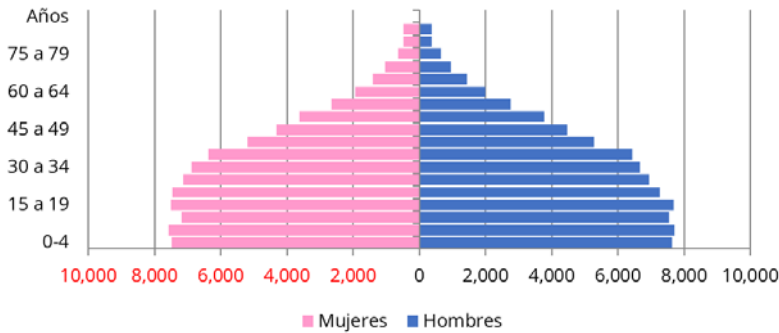


Figura 5. Pirámide de población del municipio de Manzanillo

Cabe mencionar el *Índice de Marginación* por la relación que tiene con el tema central de este trabajo el cual se considera como fenómeno multidimensional que expresa la dificultad para propagar el progreso en el conjunto de la estructura productiva, pues excluye a ciertos grupos sociales del goce de beneficios que otorga el proceso de desarrollo en donde no están presentes ciertas oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas (CONAPO, 2011) existentes en el municipio de Manzanillo, categorizado como *muy bajo*, lo cual da cuenta de que no es una localidad con graves dificultades al respecto.

Un tema importante de considerar es la derechohabencia de la población a las instituciones del sector salud; ya que en el caso de la pandemia de COVID-19 aseguran el ingreso de la población a estas, hay una participación significativa del Instituto Mexicano del Seguro Social IMSS seguida del programa de Seguro Popular SP a cargo de la Secretaría de Salud y Asistencia SSA que toma mayor importancia en las zonas marginales de la ciudad, principalmente al noroeste y sureste. La población asegurada por el Instituto de Seguridad Social y Servicios para los Trabajadores del Estado ISSSTE resulta mucho menor que la correspondiente a esas dos instituciones y se ubica principalmente en la zona Manzanillo Centro de la ciudad, al norte de la laguna de las Garzas (Suárez, 2018). Los resultados del Valor Índice Medio se complementan con la cartografía elaborada en un Sistema de Información Geográfica representado en la Figura 6.

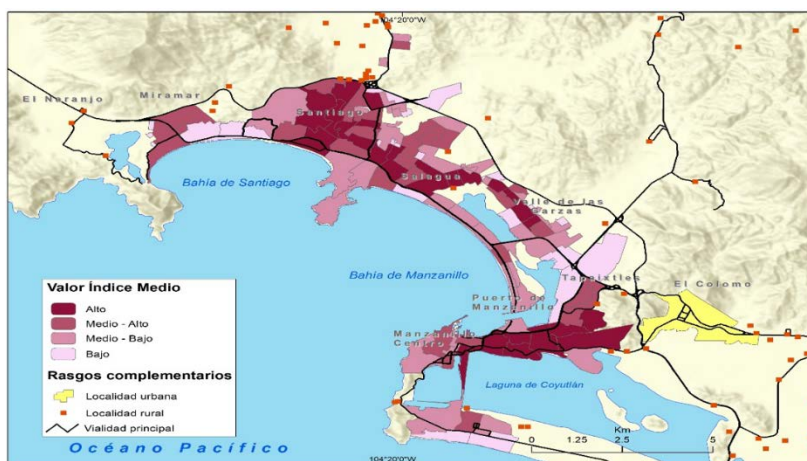


Figura 6. Niveles de Bienestar Social de la población de la ciudad puerto de Manzanillo por AGEB, según resultados del método estadístico multivariado Valor del Índice

Se obtuvo así los grupos que podrían considerarse de mayor riesgo por las inadecuadas condiciones de bienestar social que registran que se visualizan en una distribución espacial y permiten observar el escenario de manera integral de los niveles del *Índice de Bienestar Social*, cuyo comportamiento es:

1. *Nivel de bienestar social alto*: se ubica hacia dos porciones de la ciudad de Manzanillo que muestran continuidad geográfica, una al centro norte y otra al este de la ciudad, se presenta en 26 (21.8%) de las 119 AGEB, que conjuntan a 65 197 habitantes que representan al 50% de la población de la localidad, y de esta el 6.9% es mayor de 60 años; categoría en la que más población se registra, coincide con la zona más densamente poblada de la ciudad. La primera está ubicada hacia las colonias Pedro Núñez, Francisco Villa y La Cruz que se derivan del centro de población Santiago con la presencia de fraccionamientos y condominios de lujo, por lo que la cobertura de servicios es muy completa, las condiciones de las viviendas son adecuadas, los niveles educativos son altos; todo en conjunto influye en la calificación de dichas AGEB, presenta una ramificación hacia Salagua y el Valle de las Garzas; la segunda corresponde a la parte de consolidación urbana, que ya desde la década de los ochentas del siglo pasado se observaba como una zona que se desarrollaba habitacionalmente a partir de lo que se conoce como la zona Manzanillo Centro con buenos servicios, escuelas e infraestructura, estas AGEB aunque se encuentran en el nivel alto, su situación en los indicadores considerados registra los menores valores del nivel, que si bien tienen buenas condiciones, no lo son tanto como en la otra porción. De acuerdo con lo que se presenta en la Tabla 1 en donde se muestran cinco rangos de valor normalizado que se calificaron del 1 al 5, los valores 4 y 5 que equivalen a las que AGEB que cuentan con las mejores condiciones respecto a las variables analizadas, que corresponden a los que registra este nivel.

2. *Nivel de bienestar social medio alto:* se observa en 29 (24.4%) de las 119 AGEB concentra una población de 42 616 personas equivalente al 32% del total de población de la ciudad, de esta el 6.2% es mayor de 60 años. Presenta una distribución dispersa, un conjunto de estas AGEB se localiza al oeste de la ciudad hacia la parte que se conoce como Miramar; otra parte se localiza hacia el este de la porción que registra los valores más altos mencionados en la anterior categoría, esta zona se conoce como Salagua; ambas corresponden a las zonas más consolidadas de la ciudad en lo urbano; asimismo otro grupo de AGEB se ubica hacia el este en la parte de Tapeixtles, colindante con la segunda porción de la anterior categoría, AGEB que cabe destacar se encuentran en una zona de expansión urbana hacia la localidad de El Colomo con la que se forma una conurbación en donde varias zonas fueron destinadas para actividades comerciales relacionadas con el puerto. En este nivel los rangos de valor normalizado oscilan entre la calificación de 4 y 3, con menores condiciones de los indicadores seleccionados, en comparación con el anterior nivel.
3. *Nivel de bienestar social medio bajo:* dentro de esta categoría se encuentran la mayor cantidad de AGEB de la ciudad, con un total de 39 (32.7%) de las 119, no obstante, no conjuntan la mayor proporción de población la cual suma 20 814 personas que representan solo el 16% de la población total de la ciudad, y cuenta de esta con el 6.4% de 60 años y más. Asimismo, se encuentran dispersas, una parte se observa en la península que separa las bahías de Santiago y Manzanillo; una más aledaña al centro de población de Santiago; otra parte hacia Valle de las Garzas; así como en la zona Manzanillo Centro, el resto se encuentra distribuidas por toda la ciudad. A este nivel le corresponden los rangos de valor normalizado de 2 y 3, con escenarios de los indicadores considerados bastante deficientes.
4. *Nivel de bienestar social bajo:* estas AGEB se localizan hacia las zonas periféricas en las colonias más alejadas del centro, cabe destacar que en esta circunstancia se registra el menor número de AGEB sólo 25 (21%) aunque muy cercano al parámetro extremo nivel alto en número; únicamente congrega 1 408 personas, equivale al 1% de la población de las AGEB urbanas, presenta el 5.8% de esta con 60 años y más. AGEB que presentan las condiciones más adversas. Se observa también que se distribuye de manera dispersa no presenta continuidad geográfica. Registra las cifras de rangos de valor normalizado inferior que corresponden a la calificación de 1 y 2 con las condiciones más incompletas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado moderado en los niveles del *índice de Bienestar Social* como el que se aprecia en la ciudad puerto de Manzanillo, puede deberse en cierto grado por la forma relativamente consolidada en que se distribuye la ciudad y las condiciones que presenta su población en el área urbana, ya que Manzanillo cuenta con alto valor productivo generado por las actividades económicas locales, la provisión de servicios sociales como la salud, la educación, la seguridad y protección y/o la recreación que son relativamente moderadamente sólidos y tiene un impacto relativamente positivo en el bienestar social de la población de esta localidad, que puede considerarse de nivel medio a escala nacional.

Además, tiene relación importante con el bienestar económico garantizando, o no, las necesidades básicas o intrínsecas de cada persona cuyas condiciones de vulnerabilidad constituyen desafíos al momento de las adquisiciones económicas y el poder traducirlas en mejoras de las condiciones de vida de la población, ya que el concepto de bienestar social es difícil de universalizar.

Cabe resaltar que existe una desarticulación entre el crecimiento del puerto y la ciudad que no van acordes, no obstante que la ciudad puerto se ha convertido en un *clúster* comercial e industrial, es el puerto el que ha fungido como detonante y dinamizador de las actividades económicas, sin embargo, éstas no se han diversificado, por el contrario, tienden a concentrarse en las actividades terciarias como la prestación de servicios y transportes, en gran proporción en torno al puerto, cuyos cambios lo colocan como protagonista relevante en la escala global.

La ciudad puerto de Manzanillo como puede apreciarse no presenta malas condiciones en cuanto al *Índice de Bienestar Social*, sin embargo aquí el capital para el puerto se sobrepone a los intereses de carácter social y al concepto de bienestar, en lugar de a sus habitantes, quienes, comparten buena parte de las

externalidades y consecuencias del funcionamiento portuario que derivan en dinamismo económico y demográfico, sin embargo, a la vez impactan negativamente en aspectos de la vida cotidiana de la población, su salud y seguridad, como ocurre actualmente con la pandemia de Covid-19.

Respecto a esta las autoridades de salud mencionan que la expansión de casos hacia los grupos de mayores de 65 años, muestran hacia mediados de 2020 la tendencia sostenida de casos positivos. Es de resaltar la tendencia de la población a minimizar la situación, no obstante que presentan condiciones de bienestar social que les permiten enfrentar la pandemia de COVID-19, no se aprecia conciencia de la magnitud del riesgo que implica esta enfermedad.

Lo anterior puede corroborarse en un trabajo realizado por González et al. (2021), en donde mencionan la propia población tiene una percepción inadecuada del riesgo a que está expuesta, pues no tienen la suficiente y conveniente susceptibilidad, severidad ni autoconciencia, incluso hasta podía calificarse irresponsabilidad en muchos casos, lo que constituye una barrera para llevar a cabo las acciones de salud recomendadas para evitar la pandemia de acuerdo a la realidad que presenta, situación que se aprecia en muchos lugares del mundo ante la pandemia de COVID-19.

6. CONCLUSIONES

La ciudad puerto de Manzanillo es de vital importancia económica para México, ya que la actividad portuaria que desarrolla es la más importante del país, en gran medida por su ubicación hacia la Cuenca del Pacífico de significativo movimiento comercial a escala mundial.

El COVID-19 ha afectado a la ciudad puerto en lo sanitario, en lo social y lo económico, no obstante que se han desarrollado por parte de las autoridades logísticas múltiples.

Se han implementado medidas sanitarias para evitar el ingreso del COVID 19 por el puerto hacia la ciudad, las cuales se han vuelto severas; sin embargo, no hubo cierre del puerto al constituir parte de la cadena de suministro.

De los indicadores seleccionados (34) para la obtención del *Índice de Bienestar Social* mediante el método del *Valor Índice Medio*, se obtuvieron cuatro categorías de clasificación del bienestar: alto, medio alto, medio bajo y bajo, resultados que pudieron visualizarse cartográficamente, lo cual permitió contar con un panorama integral.

Los niveles de bienestar social de la población de Manzanillo no son homogéneos a pesar de ser el puerto más importante del país, lo cual revela que los beneficios económicos derivados de su actividad no se revelan de igual manera en la ciudad y en población, detectándose desigualdad al respecto. Las diferencias en los Niveles de Bienestar Social son marcadas, y muestran que ciertos aspectos se deben de tomar en cuenta.

Sin embargo, no puede asegurarse con base en estos resultados que la sociedad de Manzanillo registra condiciones sociales que no han sido precisamente precarias, ha seguido un comportamiento estable que no rivaliza con el rápido crecimiento portuario el cual se presenta más dinámico.

Aun cuando se experimente un bienestar social alto y medio alto en más de la mitad de su población con una alta cobertura y acceso a bienes y servicios básicos, ya que los niveles obtenidos, aunque positivos, no son necesariamente un sinónimo de bienestar social adecuado, pues carecen de algunos servicios o son deficientes en especial en los niveles medio bajo y bajo.

Además, como se presenta prácticamente en la mitad de AGEB las condiciones calificadas como altas (45%) y bajas (55%) con sus respectivas variantes. Puede calificarse de un bienestar social moderado.

Se mencionó el Índice de Marginación que muestra la condición en el bienestar de la población, mostrando mejoras en todos los sectores que lo construyen, presentando un grado de marginación muy bajo.

Por otro lado, la población mayor de 60 años, en el caso del *nivel alto*, muestra a una población que por su nivel económico se traslada frecuentemente y esto podría ser una causa de contagio; en contraste de este mismo grupo de edad en el nivel bajo se enfrenta a la carencia de cobertura de salud adecuada para atender los efectos de la pandemia.

La cobertura de servicios básicos es buena, refiriéndose al agua, drenaje y electricidad, por el contrario, muchas personas no cuentan con internet en los niveles medio bajo y bajo, que se ha convertido en un servicio necesario, al igual que el teléfono celular, la televisión y computadora como bienes esenciales para muchas familias, de estos últimos se detectaron todavía numerosas personas que no cuentan con estos elementos.

Puede concluirse que, en realidad en los cuatro Niveles de Bienestar Social, el riesgo ante las afectaciones por la pandemia derivada del COVID-19 en diferentes ámbitos y escalas presentan situaciones de vulnerabilidad, que las autoridades deben considerar para implementar logísticas ante las afectaciones de esta situación inédita como es la actual pandemia.

En la investigación se muestra un ejemplo de cómo es posible combinar métodos estadísticos cuantitativos con otros cualitativos para medir el bienestar social de un territorio, en este caso la ciudad puerto de Manzanillo, obteniendo así resultados que se complementan entre sí y que podrían coadyuvar a una adecuada y eficaz planeación acorde a las necesidades reales de sus habitantes. Con ello se resalta la importancia del método aplicado y sus aportaciones a las investigaciones sociales.

REFERENCIAS

- Actis, E. (2008). Bienestar social: Un análisis teórico y metodológico como base para la medición de la dinámica histórica en la Argentina. En *XXI Jornadas de Historia Económica*. Universidad Nacional de Tres de Febrero. Buenos Aires.
- APIMAN. (2020). *Protocolos y medidas sanitarias son permanentes en el puerto de Manzanillo*. Administración Portuaria Integral de Manzanillo.
- Basque, Trade & Investment. (2020). *Informe. Impacto de la COVID-19 en México, abril de 2020*. Agencia Vasca de Desarrollo.
- Bauman, Z. (2003). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica.
- Castillo, F. (2009). Geografía del bienestar social en el estado de Colima. *Trabajo de grado*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CONAPO. (2011). *Índice de Marginación por entidad Federativa y Municipio*. Consejo Nacional de Población.
- García, A. (1989). La metodología del valor índice medio. *Investigaciones Geográficas* 19, 69-87.
- García, A. (2006). Yucatán 1990-2000: Evaluación del bienestar municipal y regional a partir de las condiciones físicas de las viviendas. En *Encuentro nacional sobre desarrollo regional en México*.
- González, F., Soler, Y., Pérez, E., González, R. y Pons, S. (2021). Percepción de riesgo ante la COVID-19 en pobladores del municipio Manzanillo. *Multimed* 25(1), e2015.
- González, I. (2021). Los efectos de la pandemia en los cinco puertos más importantes del país. Recuperado: <https://www.tyt.com.mx/nota/los-efectos-de-la-pandemia-en-los-cinco-puertos-mas-importantes-del-pais>
- Guzmán, O. y Caballero, T. (2012) La definición de factores sociales en el marco de las investigaciones actuales. *Santiago* 2, 336-350.
- INEGI. (2010). *Manual de Cartografía estadística. Censo de población y vivienda 2010*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística México.
- INEGI. (2010a). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos de Manzanillo, Colima*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.
- Martner, C., Pérez, A., Arredondo, R., Morales, C., Herrera, A. y Martínez, J. (2020). Impacto del COVID-19 en los distintos modos de transporte. *Notas* 185, Artículo 3.
- Mendieta, J. (2007). *Apuntes de economía del bienestar aplicado: Primera Parte*. Universidad de los Andes.
- OMI. (2020). *Enfrentarnos a COVID-19: Un viaje compartido*. Organización Marítima Internacional.
- OMS. (2020). *Declaración sobre la segunda reunión del Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (2005) acerca del brote del nuevo Coronavirus (2019-nCoV)*. Organización Mundial de la Salud.
- Palomba, R. (2002). Calidad de Vida: Conceptos y medidas. En *Taller sobre calidad de vida y redes de apoyo de las personas adultas mayores*. CEPAL.
- Patiño, A., Meyer, O., Galicia, M., Pérez, C., Cervantes, L. y Lara, B. (2009). *Zona de mayor afectación en el puerto de Manzanillo, Colima México, por eventos hidrometereológicos intensos y su periodicidad*. Universidad Central de Venezuela.

- Redacción T21. (2020). *México: Puerto de Manzanillo ofrece descuentos retroactivos a navieras por Covid-19*. Portal Portuario.
- Rodríguez, R. (2020). *Manzanillo, primer municipio de Colima en entrar a la Fase 3 de la pandemia Covid-19*. Radiodifusora Estación Pacífico.
- Rodríguez, R. (2020a). *Así va la epidemia de Covid-19 en Manzanillo, el único municipio en Fase 3*. Radiodifusora Estación Pacífico.
- Sánchez, J., Arce, L. y Rodríguez, A. (2020). Enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina: Papel de la atención primaria en la preparación y respuesta. *Atención Primaria* 52(6), 369-372.
- Sarmiento, J. (2011). Autopoiesis, bucles, emergencia, variedades topológicas y una conjetura sobre la consciencia humana. *Revista Arbor*, CLXXXVI(738), 871-878.
- Suárez, E. (2018). Desarticulación en el desarrollo del puerto y la población de Manzanillo a partir de la implementación de la Administración Portuaria Integral. Trabajo de grado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villerías, I. y Juárez, M. (2020). Las enfermedades crónico-degenerativas (diabetes melitus e hipertensión) y la vulnerabilidad ante el COVID-19. *Revista Posición* 3, 5-15.

Estudio comparativo de las emociones ambientales y la experiencia espacial arquitectónica en el Perez Art Museum en Miami y el edificio de la fundación Louis Vuitton en Paris

Mauricio Cabas¹
Universidad de la Costa
Colombia

Este capítulo tiene como objetivo primordial presentar los resultados de investigación establecidos luego de las distintas visitas realizadas a dos museos icónicos de la arquitectura contemporánea: el Perez Art Museum en Miami, diseñado por Herzog y De Mueron, y el edificio de la fundación Louis Vuitton, diseñado por Frank Gehry en París. También se presenta los resultados de la aplicación de unas encuestas diseñadas basadas en los trabajos de los investigadores Julio Bermúdez, Myung Eun Cho y Mi Jeong Kim sobre la evaluación de las emociones y experiencias arquitectónicas. La evaluación se centra en las características sensoriales y formales de cada edificio y en las sensaciones percibidas por el visitante. Por último, se hace una comparación de los resultados para los dos edificios desde el punto de vista fenomenológico, logrando concluir cómo contribuyen a la generación de experiencias arquitectónicas significativas.

¹ Arquitecto, Especialista en Diseño Arquitectónico. Es profesor e investigador, y editor de la revista Modulo Arquitectura CUC.
Contacto: mcabas1@cuc.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura de ciertos edificios induce a tener experiencias estéticas profundas, el Partenón, la Alhambra o el instituto Salk en California son claros ejemplos de esto (Bermúdez y Bo, 2012). Debido a esto, muchos investigadores y profesionales arquitectos han generado teorías acerca de temas como las dimensiones, proporciones, materiales y luz, enfocados hacia las respuestas y actitudes de experiencias extraordinarias. Aunque estas teorías son de gran importancia, desde el punto de vista de reacciones subjetivas, la psicología ambiental es la que marca la vanguardia. Esas reacciones subjetivas son las emociones, niveles de extroversión, reacciones corporales e introspección de espontaneidad, y se debe a que es complicado identificar el verdadero sentido de la conciencia (Bermúdez y Bo, 2012).

Así mismo, según afirmó Ittelson (1973) existe una relación constante, dinámica e íntima entre el ser humano y su entorno, de esta manera el ser humano influye sobre el ambiente y el ambiente sobre el ser humano. A raíz de esto, el comportamiento humano se transforma lentamente, obligándose a sí mismo a adaptarse al ambiente. Ittelson planteó una teoría que consistía en que, al momento de ubicarnos en determinado espacio, se ponen en marcha unos mecanismos fisiológicos y psicológicos que nos permiten apreciar y comprender ese sitio, generándonos una idea de su configuración, que podemos hallar y que podemos hacer dentro del mismo:

Todo espacio nos genera emociones y nos hace experimentar sensaciones permitiéndonos comparar, reconocer y explorar dándonos además motivaciones. Lo que se puede considerar como acciones y reacciones de manera que se generan en nosotros determinadas actitudes ante ese espacio (Cabas, 2008).

En todo este proceso de experimentación espacial las actitudes ambientales cumplen un rol fundamental, debido a que se desarrollan como una función psicológica permitiéndole al ser escoger entre una amplia variedad de conductas (Holand, 2004). Otro elemento de gran importancia en la experiencia espacial es la capacidad de percibir el ambiente inmediato, principalmente la percepción visual, la cual nos proporciona un primer acercamiento brindándonos herramientas para definir si ese espacio nos interesa o no. La percepción visual es un proceso natural e inconsciente convirtiéndose en uno de los procesos psicológicos fundamentales y de igual manera es una función biológica del ser humano para poder experimentar el espacio (Cabas, 2008).

Los arquitectos galardonados generalmente son conscientes de esto y siempre lo han utilizado en sus diseños, con el fin de inspirar y emocionar, diseñan teniendo en cuenta la expresión visual, la estética y en los efectos espaciales. Estos grandes arquitectos llegan a convertirse en productores de teatro, desde el punto de vista que ellos son quienes son los encargados de planear los escenarios de la vida y su trabajo logra brindar el máximo confort de los habitantes del espacio arquitectónico y genera experiencias significativas (Rybczynski, 2013). Por esta razón el arquitecto Peter Zumthor (2006), expresa que el arquitecto es un creador de atmosferas, concibiendo esas atmosferas como aquello que es capaz de conmover ser humano al momento de ingresar por primera vez a un espacio, es una sensibilidad emocional, una percepción que actúa de forma veloz y que influye en la toma de actitudes sobre algo:

El arquitecto Peter Zumthor en su conferencia titulada "Atmosferas, Entornos arquitectónicos. Las cosas a mi alrededor" expresa que el concepto de atmosfera se refiere a una sensibilidad emocional que sentimos al estar en contacto con el espacio arquitectónico existente que tiene que ver no solo con la percepción sino con otros distintos factores como lo podrían ser un toque de magia, algo de misterio y una armonía comparable con las composiciones de la música clásica (Cabas et al., 2019).

Es exactamente por esto que es complicado usarlo o investigarlo. Si estamos seguros de cuando lo experimentamos, pero nos cuesta en demasía al momento de definirlo. Esta condición intangible del concepto de las atmósferas es lo que lo hace poderoso y los trabajos y métodos tradicionales se han estancado en un punto muerto, quedando varados en ideas muy generales (Bermúdez, 2008):

Después de todo, la espiritualidad finalmente se vive y se practica en el presente. Esto nos lleva a considerar cómo el mundo material propio de la arquitectura provoca experiencias existenciales y espirituales. Por

ejemplo, ¿cómo se comportan los materiales, la estructura y los detalles cuando interactúan con la luz, el clima, la naturaleza, el tiempo y, por supuesto las personas? ¿Logra la presencia tectónica trascender? ¿Afecta el acto arquitectónico constructivo a las creencias y prácticas espirituales de las personas, y viceversa? Si pocos académicos han estudiado la materialidad arquitectónica fenomenológicamente, aún menos han considerado sus implicaciones más profundas y trascendentes (Bermúdez y Navarrete, 2019).

Se puede inferir entonces que existen arquitecturas sensitivas, sensibles o sensoriales, arquitecturas que le dan un sentido dominante a la vista y otras que son hápticas del músculo y de la piel, en otras predominan el oído, gusto y olfato (Pallasmaa, 2014), y cada una genera distintas experiencias. Esta experiencia de la arquitectura significa enfrentarse a un objeto arquitectónico mediante la percepción formal de su fachada y al mismo tiempo entrar y sentir que hay un espacio vivo, en realidad es un proceso interno, íntimo y propio de cada individuo (Muzquis, 2017). Un concepto que tiene una relación cercana con la fenomenología, y que consiste en la diferenciación de espacio-lugar y el cuerpo como elemento referencial (Álvarez, 2013). Debido a esto, el espacio arquitectónico puede ser definido teniendo en cuenta la actitud de nuestro ser en el mundo, de cómo podemos utilizarlo, de las distancias y direccionamientos que dependen de la subjetividad que se modifica del cambio de posición del ser dentro de ese espacio (Heidegger, 1977).

En este documento se pretende analizar como los estímulos que producen ciertos ambientes y obras de arquitectura influyen en las actitudes del ser humano y de alguna manera crear un registro sistemático de qué tipo de elementos espaciales y formales son los que más influyen y de esta manera aplicarlo en la pedagogía arquitectónica, integrando la psicología ambiental, el concepto de atmosferas y la estética en los talleres de diseño. Lo que permitiría fomentar, como lo expresan Al-Assaf y Dahabreh (2014), un proceso de educación estética con una explicación en los estudios de diseño.

2. MÉTODO

El punto de partida de esta investigación fue una completa revisión bibliográfica acerca de las temáticas de experiencia en arquitectura, espacio sensible, arquitectura para los sentidos, fenomenología, atmosferas en arquitectura y psicología ambiental. De la misma manera, se analizaron autores como Julio Bermúdez, Peter Zumthor, Juhani Pallasmaa, Steven Holl, Charles Holahan, Myung Eun Cho y Mi Jeong Kim. Luego se identificaron unas características de espacios en los que se podrían lograr experiencias significativas. Así mismo, se estableció que la respuesta multi-componente de la emoción era una herramienta útil para la medición de las emociones. Leventhal (1984) concluyó que cada emoción es formada por una escala de múltiples componentes y de variados procesos que se suceden. En uno de esos procesos intervienen los estímulos ambientales, dando lugar a emociones básicas demostradas por expresiones faciales, reacciones fisiológicas específicas y un sentimiento de fácil explicación.

Teniendo esto en cuenta se desarrollaron los instrumentos para medir estas emociones ante las obras arquitectónicas. Se generaron cuatro encuestas cuyo objetivo era el de medir la respuesta experiencial y emociones en una obra de arquitectura, enmarcándose por las reacciones a los estímulos ambientales, la evaluación espacial, índices de calidad ambiental y la descripción precisa de las emociones, valorados de 1 a 5. Estas encuestas se diseñaron con el fin de ser diligenciadas en un lapso de entre cinco y ocho minutos y sin necesidad de la identificación del encuestado, utilizando una muestra de 40 personas por edificio. Entre el 17 y 20 de octubre de 2016 se visitó por parte del autor y su equipo de trabajo el edificio de la fundación Louis Vuitton en París, y entre los días 20 y 21 de junio de 2017 se visitó el Perez Art Museum PAMM, en Miami.

3. RESULTADOS

El arquitecto Frank Gehry es uno de los denominados *star architects* de la época contemporánea, y ha logrado diseñar edificios con un gran contenido emocional y belleza, mezclando formas geométricas con espacios muy bien concebidos:

...concepto arquitectónico que maneja el arquitecto Frank Gehry, basado en la envoltura del espacio arquitectónico y la yuxtaposición de capas, lo que permite generar un tipo de arquitectura escultórica, rica

en perspectivas y volúmenes llenos de sensaciones. El concepto arquitectónico de Frank Gehry ha evolucionado con el tipo de proyecto que ha diseñado y con las nuevas tecnologías que ha empleado, lo que de alguna manera han aprendido a utilizar sus asociados y discípulos, siempre iniciando su proceso de creación con ideas volumétricas y maquetas de la implantación y su entorno, cuestionando constantemente el problema que se quiere resolver y cómo va a encajar el proyecto (Garzón, 2012).

Uno de estos es el PAMM, diseñado por Herzog y DeMueron y que se puede apreciar en las Figuras 1 a 8, fotografías tomadas por el autor, que es un edificio sobrio con una calidez excepcional, diseñado respondiendo el entorno en el que se encuentra y lleno de estímulos para los sentidos con un manejo casi espiritual de la luz. Asimismo, el edificio de la fundación Louis Vuitton ubicado en París, que se puede observar en las Figuras 9 a 16, fotografías tomadas por el autor. Estas dos obras fueron seleccionadas por su organización espacial, el manejo de luz, sus formas y el sentido de la estética (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los edificios seleccionados

Obra de arquitectura	Características de diseño	Localización
PAMM	Volumen rectangular dividido en un punto y con un volumen cilíndrico añadido. Color blanco con una gran vidriera transparente y una textura en sus muros de cuadrículas. Pisos interiores de color gris oscuro. Bastante luz natural en el lobby mas no así en las salas de exposición	Miami – EE. UU
Louis Vuitton	Mezcla de volúmenes cilíndricos y cúbicos. Líneas curvas e predominan junto a líneas rectas un poco más subordinadas. Color blanco y textura lisa. Bastante vidriera transparente. Pisos interiores de madera. Bastante luz natural en casi todo el espacio.	París - Francia



Figura1. Volumen exterior PAMM



Figura 2. Acceso principal PAMM



Figura 3. Acceso principal PAMM



Figura 4. Terraza exterior PAMM



Figura 5. Sala de exhibición interior PAMM



Figura 6. Sala de exhibición interior PAMM



Figura 7. Sala de exhibición interior vista al exterior PAMM



Figura 8. Sala de exhibición interior PAMM



Figura 9. Espejo de agua zona exterior Louis Vuitton jardín d'Acclimatation



Figura 10. Espejo de agua zona exterior Louis Vuitton jardín d' Acclimatation



Figura 11. Espejo de agua zona exterior Louis Vuitton jardín d' Acclimatation



Figura 12. Escalera Interior Louis Vuitton jardín d' Acclimatation

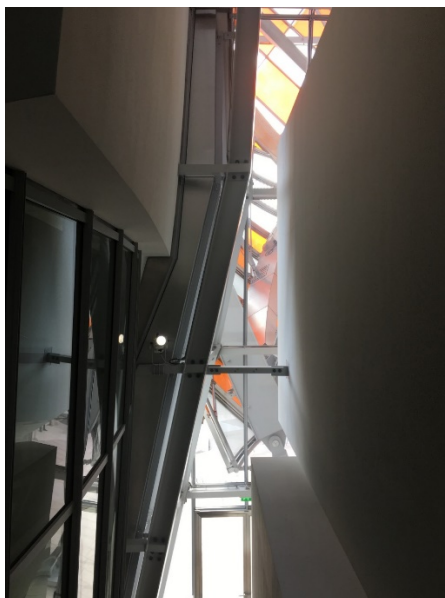


Figura 13. Tragaluz interior Louis Vuitton jardín d'Acclimatation



Figura 14. Lobby interior Louis Vuitton jardín d'Acclimatation

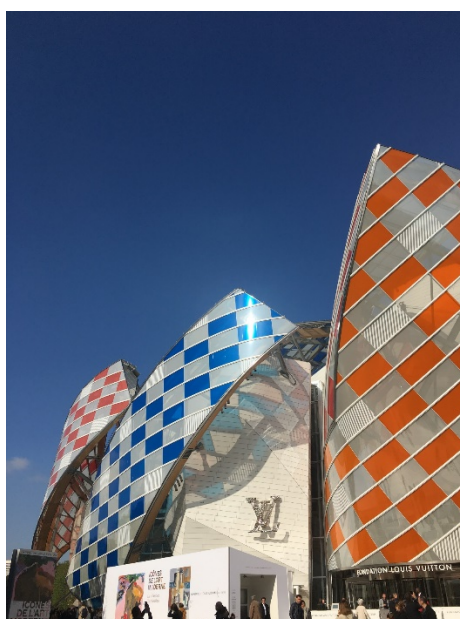


Figura 15. Acceso Louis Vuitton jardín d'Acclimatation



Figura 16. Volúmenes en la cubierta Louis Vuitton jardín d'Acclimatation

Se midieron las respuestas emocionales de los usuarios a diferentes salas de estos edificios y los resultados son los siguientes: Partiendo de la premisa, de que el espacio arquitectónico estimula en el ser humano respuestas de tipo emocional, este estudio se enfoca en conocer como los visitantes a las instalaciones de la Fundación Louis Vuitton en París y el museo PAMM experimentaron reacciones emocionales asociadas a la experiencia del espacio y diseño de los lugares mencionados.

Para tal efecto, las 40 personas que participaron en el estudio respondieron cuatro encuestas para un total de 40 preguntas cuyas respuestas se medían en una escala de 1 a 5 puntos; 1 significa: *Totalmente en desacuerdo o completamente negativo*, 5: *totalmente de acuerdo o completamente positivo*.

La Tabla 2 muestra los índices de calidad ambiental; la Tabla 3 los resultados promedios sobre la calidad emocional ambiental de los edificios, la Tabla 4 los resultados promedio sobre los estímulos ambientales y la Tabla 5 los resultados promediados sobre la experiencia espacial.

Tabla 2. Conceptos bipolares para la medición de índices de calidad ambiental PEQI's

Obra	Conceptos Bipolares	Promedio de evaluación
PAMM	Amplio- Estrecho	4.50
	Atractivo - No atractivo	4.65
	Bien organizado-Mal organizado	4.65
	Buena iluminación - Mala iluminación	4.90
	Buenas líneas - Malas líneas	4.00
	Equilibrado - No equilibrado	4.20
	Funcional - No funcional	4.50
	Impresionante - No impresionante	4.40
LOUIS VUITTON	Amplio- Estrecho	4.80
	Atractivo - No atractivo	4.80
	Bien organizado-Mal organizado	4.00
	Buena iluminación - Mala iluminación	4.55
	Buenas líneas - Malas líneas	4.75
	Equilibrado - No equilibrado	4.00
	Funcional - No funcional	4.00
	Impresionante - No impresionante	4.90

Tabla 3. Conceptos de calidad emocional ambiental

Obra	Términos de calidad ambiental	Promedio de evaluación
PAMM	Excitante	4.625
	Interesante	3.75
	Agradable	4.0
	Relajante	4.0
	Tranquilizador	4.0
	Aburrido	1,25
	Desagradable	1.0
	Perturbador	1.0
LOUIS VUITTON	Excitante	4.90
	Interesante	4.65
	Agradable	4.90
	Relajante	3.5
	Tranquilizador	3.5
	Aburrido	1.0
	Desagradable	1.0
	Perturbador	1.0

Tabla 4. Encuestas sobre estímulos ambientales

Factor	Características de diseño	PAMM	LOUIS VUITTON
Morfológico	Volumen	4.65	4.90
	Fachada	4.8	4.90
	Complejidad de formas	3.8	4.90
	Proporción	4.2	4.40
	Orden	4.5	3.60
	Ritmo	4.8	4.20
Sensorial	Color	4.0	4.70
	Textura	3.65	4.45
	Luz	4.25	4.50
	Material	3.85	4.85
	Olores	1.0	1.0
	Sonidos	1.125	1.0

Tabla 5. Encuestas evaluación experiencial del espacio

	Frase evaluativa	MACBA	STADTHAUS
Memoria	Este espacio me recuerda una experiencia anterior	3.85	3.65
	Este espacio se me parece a algo que ya vi	3.50	2.85
Atracción	Me gusta el ambiente de este espacio	4.45	4.00
	Este lugar me hace sentir atraído a continuar	4,65	4.20
Placer	Este sitio me hace sentir feliz	4.20	4.00
	El ambiente me da placer	4.00	4.00
Estimulación	Este lugar me hace sentir interesado	4.85	4.65
	Hay muchos detalles en este lugar	4.90	4.65
Contenido	Hay una historia en este lugar	4.20	4.20
	Entiendo el mensaje que está dando este espacio	4.65	4.50
Satisfacción	Este edificio me ofreció un buen tiempo de calidad	4.25	4.25
	Este edificio me ofreció un cambio en la rutina diaria	4.80	4.65

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se muestra en la Tabla 2, los conceptos positivos en los que se presentaron calificaciones más altas fueron *Amplio*, *Atractivo* y *Buena iluminación*, pero el edificio de la fundación Louis Vuitton Paris obtuvo las mayores calificaciones en este ítem. Lo que significa que los usuarios perciben o sienten que estos edificios son llamativos y estimulantes. Lo que puede ser considerado como una señal de que los usuarios ven a estas dos obras como estructuras que los atraen de forma positiva.

En la Tabla 3, calidad emocional de avientes, podemos observar que el edificio de la fundación Louis Vuitton, tiene respuestas mucho más favorables en términos de excitación y en el concepto de interesante, por el contrario, el PAMM tuvo una calificación media en este término. Ninguno de los dos edificios presentó una

calificación negativa a en los términos de desfavorable y aterrador, demostrando así, que los dos edificios generan buenas emociones ambientales.

La Tabla 4 presenta los resultados promediados de los estímulos ambientales, siendo el factor morfológico el que mejores calificaciones, en las dos obras, presenta en términos de volumen y fachada, aunque con mayor calificación el edificio de la fundación Louis Vuitton. Al momento de evaluar la complejidad de formas, el edificio diseñado por Frank Gehry recibió mejores calificaciones. En el factor sensorial se obtuvieron números un poco más bajos puesto que puede tender a ser algo subjetivo y solo estar condicionado al sentido de la vista. Los olores y sonidos obtuvieron calificaciones bajas, puesto que la encuesta evalúa de manera positiva y los usuarios entendieron los dos ítems como conceptos negativos.

En la encuesta de evaluación experiencial del espacio, los conceptos con mejor calificación en el PAMM fueron *placer* y *estimulación* con promedios de 4.60 y 4.875. Por otro lado, en la fundación Louis Vuitton fueron *estimulación*, *atracción*, *memoria* y *placer* con promedios de 4.95, 4.75, 4.75 y 4.85 respectivamente. Esto nos indica que las emociones estuvieron más relacionadas a experiencias vivenciales en tiempo real más que a memorias anteriores, aunque en el edificio de la fundación Louis Vuitton un comentario recurrente era que la forma hacía recordar barcos o yates de vela, lo que permitió una emoción de memorias pasadas.

Estos resultados nos presentan la hipótesis de que los estímulos ambientales de cada edificio son percibidos de distintas maneras por los visitantes, lo que significa, que los factores arquitectónicos que estimulan las emociones de los usuarios son diversos según la construcción o el diseño, que las formas complejas atraen en mayor grado y que las formas que se asemejan a algo conocido pueden producir más emoción, así mismo, los elementos de los factores del sentido experiencial están centradas a una experiencia puntual.

5. CONCLUSIONES

Diversos diseñadores y arquitectos se han colocado en la tarea de buscar nuevas estrategias con el fin de generar muchos más estímulos para los usuarios y con eso generar emociones y experiencias significativas. Luego de realizar esta investigación quedó demostrado que los elementos morfológicos, sensoriales y los índices de calidad de la emoción ambiental fueron factores influyentes en la generación de emoción y que estas emociones son mayores o menores de acuerdo con el diseño de la obra de arquitectura que visitan.

De igual manera, estos estudios demuestran ser valiosos para la medición y evaluación de la emoción en las obras de arquitectura, y pueden contribuir a la evolución de la arquitectura en el futuro, y aunque todavía se pueden hacer más específicos sin generalizar el resultado. Los elementos de creación espacial como las líneas, los colores, la luz, texturas y formas, bien manejados por el arquitecto diseñador, pueden lograr imprimir al mundo una imagen representativa y una estructura de conciencia colectiva. La arquitectura se convierte en herramienta de renovación continua de la experiencia en términos de realidad y tiempo.

Crear principios de diseño enfocados en las emociones debe ser primordial y todo edificio que se considere como arquitectura, debe contar con una relación profunda entre los fenómenos y con la subjetividad. Y además de alcanzar sus objetivos prácticos y funcionales, el diseño debe ser el producto del deseo y de la pasión humana (Álvarez, 2013). El arquitecto puede direccionar al ser humano por medio de su diseño a experimentar una situación de pasar de tercera persona a primera persona logrando así, entrar a una dimensión espacio íntima y espiritual (Bermúdez, 2014).

Podemos concluir con los resultados obtenidos que, con las características, principios y estímulos adecuados, los ambientes arquitectónicos pueden convertirse en lugares de grandes experiencias ambientales e influir positivamente en las conductas (Bermúdez, 2008).

REFERENCIAS

Al-Assaf, N. y Dahabreh, S. (2014). The Aesthetics symptoms of architectural form: the case of Barcelona Museum of Contemporary Art by Richard Meier. En *Archdesign '14*. Istanbul, Turkey.

- Álvarez, L. (2013). Arquitectura y fenomenología. Sobre la arquitectura de la indeterminación en el espacio. *Eikasía* 19, 815-836.
- Bermúdez, J. (2008). Mapping the Phenomenological territory of Profound Architectural Atmospheres. Results of two large Surveys. En *International symposium "creating an atmosphere" Ecole Nationale Supérieure d'architecture*. Grenoble, France.
- Bermúdez, J. (2014). Arquitectura extraordinaria: Donde la materialidad y espiritualidad se encuentran. *Modulo Arquitectura CUC* 101-113.
- Bermúdez, J. y Navarrete, S. (2019). La dimensión espiritual de la materia arquitectónica. Reflexiones fenomenológicas sobre el Brutalismo. *Modulo Arquitectura CUC* 89-120.
- Bermúdez, J. y Ro, B. (2012). Extraordinary architectural experiences: comparative study of three paradigmatic cases of sacred spaces - The Pantheon, the Chartres Cathedral and the Chapel of Ronchamp. Ambiances in action / Ambiances en acte(s). En *International Congress on Ambiances*. Montreal
- Cabas, M. (2008). *Criterios de diseño arquitectónico de espacios que intensifiquen el pensamiento creativo*. Educosta.
- Cabas, M., Caicedo, D. y Morales, A. (2019). Acerca del diseño especulativo del espacio arquitectónico: Experiencias, metáforas y abstracción. *Modulo Arquitectura CUC* 131-142.
- Cho, M. y Mi, K. (2017). Measurement of user emotion and experience in interaction with space. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 16(1), 99-106.
- Garzón, R. (2012). La arquitectura de Frank Gehry: Espacialidad, envoltorio y yuxtaposición radical. *Modulo Arquitectura CUC* 171-181.
- Heidegger, M. (1977). *Sein und Zeit*. Klostermann.
- Holahan, C. (2004). *Psicología ambiental. Un enfoque general*. Limusa.
- Ittelson, W. (1973). *Environment and cognition*. Seminar Press.
- Levanthal, E. (1984). Aging and perception of illness. *Research of Aging* 6(1), 119-135.
- Muzquis, M. (2017). *La experiencia sensorial de la arquitectura. Desde la supremacía de la visión hasta la experiencia corporea y emocional*. Etsam.
- Pallasmaa, J. (2014). *Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos*. Gustavo Gili.
- Rybczynski, W. (2013). *How Architecture works. A human toolkit*. Farrar, Straus and Giroux.
- Zumthor, P. (2006). *Atmosferas. Entornos-Las cosas a mi alrededor*. Gustavo Gili.

Propuesta de proyecto de integración regional para Centroamérica

Venancio Gerardo Calva Olmos¹

Mario Pacchiano de la Garza²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México

² Universidad Anáhuac del Sur
México

Se presentan una serie de actividades proyectos e ideas generales, acerca de lo que se puede llegar a desarrollar si se logra involucrar a quienes tienen la voluntad y la firme creencia de que es posible el desarrollo de toda una región, de un país, de una ciudad, de un pueblo pequeño. Lo esencial actualmente en nuestro continente es atacar el desempleo en todos los niveles. Se puede lograr con diferentes proyectos que involucren a los gobiernos, sectores privados, universidades y a las pequeñas y medianas empresas, así como la participación de entidades internacionales, preocupados por el desarrollo y bienestar de nuestras naciones. La creciente desigualdad debida en parte a fenómenos naturales fuera de nuestro control, así como la despiadada epidemia que no tiene respeto por ningún sector, son hechos que empujan a muchos habitantes del continente, y en especial de nuestra región central latinoamericana, a emigrar a otros países que, si bien ya no les resulta tan lejanos, suelen encontrar en ellos ambientes muy hostiles. Es por ello que la búsqueda de modos de empleo o autoempleo forma parte esencial de cualquier proyecto que quiera apoyar a la población vulnerable. Pero no solo a una parte de la población, sino también a todos los sectores, como la educación, porque algunos buscan complementar sus estudios en países avanzados. Para ellos también es conveniente procurar que encuentren motivos para regresar y aportar los conocimientos adquiridos, y esto se puede lograr con proyectos que presenten propuestas interesantes, que los ayude a decidirse por aportar su experiencia y sus talentos en el país de origen. Como tarea primordial conviene propiciar una alimentación que les permita desarrollar las tareas asignadas, con ánimo y fuerza; mejorando la actividad agraria mediante proyectos, técnicas y tecnologías que apoyen su desarrollo y en consecuencia el arraigo; y acciones que permitan un buen aprovechamiento de las tierras de cultivo. Es cierto, *los problemas son cada vez más complejos, y nuestra América Latina ofrece un espacio* propicio para la participación en proyectos, y en desarrollos tendientes a generar industria, sencilla o incipiente, que pueda evolucionar y ofrecer satisfacción profesional para todos aquellos que emigran por cualquier motivo, para que regresen y encuentren un buen empleo y un buen modo de vivir. Y por supuesto que una manera de lograr el desarrollo de cualquier proyecto es la participación de todos y cada uno que pueda aportar su conocimiento.

¹ Grupo de Modelado y Simulación de Procesos. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.

Contacto: gerardo.calva@icat.unam.mx

² División de estudios de posgrado.

Contacto: mpg01@yahoo.com

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este trabajo se plantea un gran proyecto que se podría calificar de vida, una vida en común entre naciones de este bello continente, que posee la herramienta más valiosa que se puede tener: el mismo idioma. Un idioma que lo podemos escuchar en el sur, en el norte y en el centro, un idioma que nos fue heredado y que debería ser motivo de unión y de orgullo, porque ya no es un idioma ajeno, es nuestro y lo hemos asimilado a través de años y que debe ser punto de apoyo para el desarrollo y para la unión.

Es posible encontrar en cada uno de nuestros países personas valiosas en las universidades y en las industrias, por sencillas que sean. En cada rama de la actividad cultural, en cada museo, casa de cultura teatro o biblioteca. Lo mismo que en cada actividad comercial, plazas comerciales y cines.

Tradicionalmente, cada uno nos planteamos solucionar los problemas en nuestro ámbito, es decir, en cada área en la que nos ocupamos, y sentimos que podemos solucionarlo sin el apoyo de especialistas de otras áreas, sin importar que tengan ideas que podrían arrojar luz sobre el problema que nos mantiene tensos. Nos agrupamos solo los que estamos involucrados, un grupo cerrado que debe solucionar todo problema desde su especialidad. Pero, ¿por qué no escuchar las voces de otros especialistas? De otras áreas. Qué tal si un abogado puede sugerirle alguna solución a un ingeniero encargado de aportar una solución técnica. Por qué el muralista no puede opinar acerca de cómo desarrollar los videos que le urge implementar al profesor, o al arquitecto un mejor acabado en las paredes de un recinto.

Desarrollar un trabajo en conjunto con la aportación de ideas, de técnicas, de posibles soluciones es tal vez un ideal difícil de alcanzar, pero es posible lograrlo, al menos en parte, por el beneficio común. Tal vez se piense en un trabajo de investigación de propuestas de alto nivel para soluciones complejas, pero la técnica funciona también para niveles de problemática no tan complejos, como el uso adecuado de la tecnología en el campo. Un trabajo *transdisciplinar* orientado a atender las cuestiones esenciales en este siglo.

La Transdisciplinariedad se define como un principio de unidad del conocimiento más allá de las disciplinas y connota una estrategia de investigación que atraviesa los límites disciplinarios; Es una forma de investigación integradora, una estrategia que posibilita permear todas las áreas del conocimiento.

Es posible que la definición, o el concepto aceptado, trate de explicar que lo mejor sería desarrollar una investigación de modo integrador, y que deba tratar temas que no se refieran a carencias, a riesgos en los que la mayoría de la población de los países se encuentre. Sin embargo, aquí se está planteando proponer soluciones a situaciones o problemas que lo mismo aquejan a unos que a otros. Tal vez esos problemas sean más leves para algunos, pero de lo que se trata es de aportar soluciones en conjunto para los problemas a los que se enfrenta cada habitante, es decir, soluciones con las que se beneficie a la mayoría.

Esta expresión que denota cooperación, conjunción de esfuerzos y puede servir también para integrar el esfuerzo, el conocimiento, la experiencia y las habilidades de cada uno para tratar temas mundanos, como el desarrollo y la supervivencia de la humanidad.

Sin más, es de vital importancia considerar acciones en un marco de trabajo transdisciplinar, porque así los problemas se podrán atender desde todos los ángulos. Cualquier problema se podrá solucionar si se toman en cuenta las opiniones de cada área del conocimiento, con base precisamente en la experiencia y el conocimiento que cada una tenga.

Cuando se toma en cuenta a toda área del conocimiento es muy importante partir del principio de que todos son importantes, todas las opiniones se escuchan, se apoyan, se discuten y se ajustan para que su contribución sea de mayor utilidad. No hay quien sea más importante o valioso. Todas las opiniones y consejos se plantean, se exponen y se valora los pros y los contras. Cualquier problema, por complejo que sea, será posible solucionarlo con la participación de toda la comunidad. Todo problema es posible dividirlo, seccionarlo para proponer soluciones parciales que lleven a la solución total. Al seccionar un problema es posible también dividir las tareas y centrar la especialidad de los participantes en una o más secciones, y al final conjuntar los resultados parciales en una solución aceptable.

Pensando en una organización, probablemente quien primero plantea el problema pueda ser considerado como líder de las soluciones, y el área más cercana al tema del problema sea quien secunde, por definición, el análisis de las propuestas. Considerar un arreglo diamante, utilizado en ingeniería de sistemas, posibilita la explicación al respecto de la jerarquía que ostenta cada área del conocimiento.

En el mencionado arreglo diamante se plantea que cada área está siempre al mismo nivel de los demás. De este modo, toda área sabe qué problema se ha planteado y participa de todas las posibles soluciones, esto es, cuenta con voz y voto sobre todas las decisiones. Por supuesto, es de esperar que todas las opiniones tiendan a lograr una solución viable, que todos aporten y confíen en las aportaciones de todos, porque al final la solución deberá beneficiarlos a todos.

En este tipo de arreglo todas las propuestas se presentan a todos los participantes, lo mismo que las posibles soluciones. Se puede pensar en un arreglo en paralelo que lleve registros, controles, agendas y todo lo que sea parte de una logística de organización, es decir, una administración de proyectos que facilite el libre flujo de ideas en el mismo plano.

2. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

La creciente complejidad de los problemas que enfrenta la humanidad y el hecho de que Latinoamérica será el espacio de supervivencia humana más importante del Planeta, son líneas que impulsan la propuesta de temas alrededor de ellas, formando verdaderas tormentas de ideas acerca de lo que se puede realizar, de lo que es posible soñar e implementar como un plan general, un plan inclusive global que pueda llegar a derivar en una serie de planes particulares para cada participante. Todo pensado y diseñado precisamente en lo que se puede lograr en bien de uno, de un grupo, de una ciudad, de una nación y, por supuesto, alrededor de una región.

En medio de la emergencia sanitaria mundial causada por el Covid-19, la enorme dependencia tecnológica y científica que padece gran parte de nuestra América hace que afloren múltiples deseos de salir adelante, de proponer y de hacernos eco, de todas aquellas ideas y proyectos que con esfuerzo y la participación de todos sería posible desarrollar e implementar: *Todo en beneficio de la humanidad*.

Cuando se hace mención de *la creciente complejidad de los problemas que enfrenta la humanidad*, que mejor forma de enfrentar estas complejidades que la unión, porque juntos es posible lograr las metas que sean planteadas. Lo importante es lograr la unión de voluntades de gobiernos, empresarios, organizaciones, académicos y de cada integrante de la sociedad. Cada uno puede aportar su habilidad, su conocimiento, su experiencia y su tiempo, porque cuando se trabaja en conjunto todo suma. Cuando se tiene una sólida voluntad de beneficiar no solo a la persona o la familia, sino la comunidad, el país y la región, se puede lograr el bien común, a la vez que el propio. De aquí que se vuelve necesario conjuntar esfuerzos de todas las áreas, aprovechar todos los conocimientos y experiencias que cada individuo o grupo pueda aportar.

Ante problemas o situaciones complejas la propuesta es combinar las habilidades de diferentes áreas del conocimiento. Desde las muy variadas áreas de la ingeniería, junto con todo lo referente a la biología y la química, todo integrante de la sociedad puede contribuir, sobre todo aquellos con vasta experiencia, como se requiere en la construcción, el campo, el diseño y el desarrollo de piezas mecánicas y arreglos eléctricos. Reconociendo habilidades y experiencia de cada persona involucrada, ya sea como tecnólogo o como científico, porque cada uno aporta su conocimiento y experiencia en cada proyecto que se plantee. Todas las voces deben ser escuchadas.

Puede resultar que algún proyecto, que alguna idea parezca estar fuera de lugar o proporción, tal vez, pero eso no basta para considerar el modo en cómo se podría desarrollar. Lo conducente en esos casos sería analizar los aportes que haría. No hay duda de que cada día los problemas cada vez son más, son variados y más complejos.

La otra línea que nos parece un reto, una meta a alcanzar no sin esfuerzo, pero si con voluntad y con mucha entrega en cada uno de los proyectos que se planteen es que *América Latina será el espacio de*

supervivencia humana más importante del Planeta, esto como afirmación conduce a una serie de visiones de estrategias que, desde ya, se deben primero plantear con propuestas certeras dirigidas hacia cada uno de los integrantes regionales, comprometidos con el avance, con el desarrollo.

Ningún país o región que comprenda dos o más países debe esperar a ver qué sucede, o quién hace algo por cambiar. Por qué esperar, por qué estar ilusionados que alguien vendrá a corregir a redirigir; no, no hay que esperar a que alguien más nos diga que hacer. Tampoco hay que cerrar y no escuchar otras voces y opiniones, hay que escucharlas, considerarlas y valorarlas, teniendo siempre presente los posibles beneficios que traerá a nuestra región tal o cual idea o proyecto que se propone.

Esta línea nos involucra a todos, primero como habitantes de América Latina y también como seres humanos, agrupados en un país o región. Porque de ser un verdadero refugio para la humanidad habrá que considerar muchas y muy variadas cuestiones. Ser un refugio para la humanidad conduce a pensar en dos senderos: uno respecto al refugio de ideas de valores de humanismo, y otro un lugar de apoyo, de verdadero refugio físico de personas.

Teniendo en mente un refugio físico que dé cobijo, amparo, tranquilidad y seguridad para la humanidad, un lugar libre donde sea posible expresar sus ideas, desarrollar sus habilidades artísticas y artesanales, y mostrar su vocación de apoyo desinteresado a los demás. Para ello se debe pensar en las infraestructuras con las que se cuenta, las actuales tal vez sean suficientes apenas para este momento, pero surgen las preguntas como: ¿seguirá así? ¿Seguirá siendo suficiente? ¿Qué se puede o debe mejorar? Tal vez sea demasiado ambicioso decir que se plantee la unión como región de toda América Latina, pero por qué no. Un grupo de países que juntos presenten propuestas y acciones compartidas que, en su conjunto, ayuden a mejorar primero la calidad de vida de su respectiva población, y luego sentar las bases para de ahí impulsar el cambio en rutinas y actitudes, fomentando una verdadera vocación de superación, y entonces sí confirmar que es posible ser un verdadero refugio de la humanidad, e impulsar un verdadero orgullo por pertenecer a la región.

Una manera de evitar la dependencia alimentaria es proporcionando herramientas que fortalezcan al campo, que dé certeza y seguridad, y que anime a esforzarse por producir más y mejor que andar otorgando dádivas, que fomentan precisamente la dependencia de las poblaciones. Inclusive hay voces que proclaman que, en vez de buscar no desperdiciar la comida para repartirla, se debe llevar todo tipo de apoyo tecnológico al campo, para que los pequeños productores incrementen su producción para satisfacer su propia demanda, y pasar de ahí a una producción que pueda ser vendida a otros.

Las personas, los grupos, las organizaciones solidarias que se preocupan por llevar alimentos a quienes lo necesitan, ahora proponen invertir en los pequeños agricultores locales para que se movilicen y produzcan lo necesario. Lo recomendable es tener producción y consumo local, y así, de cada uno que produzca, se vaya sumando a una producción que, en el futuro que se plantea, sea posible alimentar a la población.

Se estima que para 2050 la población mundial estará entre 8 y 10 mil millones de personas, una cuestión que en términos de crecimiento no está lejana. Al pensar en las generaciones siguientes es mejor iniciar ahora un esfuerzo propio que fije los cimientos sólidos de una producción alimentaria suficiente y variada, libre de la voracidad de quien ahora controla la producción de alimentos. La agricultura puede ser reforzada mediante el uso de tecnología. Solo hay que detectar las necesidades de cada región en particular y apoyarla, pero se requiere del esfuerzo y compromiso para lograr esta meta.

Para lograr todo proyecto se requiere de inversión y, como parte de un plan maestro, sería conveniente desatar una verdadera búsqueda de organizaciones a nivel mundial que quieran aportar recursos para la región. Insistir en involucrar a organizaciones como la ONU, OEA, UNESCO, PMA y todas aquellas que estén en posibilidades de aportar recursos, tiempo y conocimiento. Los proyectos, aunque se puedan considerar sencillos, pueden ir desde invertir en mejorar una calle hasta la implementación de micro y pequeñas empresas que incrementen la producción y consumo regional. Al plantear y desarrollar estos proyectos se impacta directamente en la sociedad, porque se está aportando soluciones rápidas y cercanas para problemas como el desempleo.

Es posible considerar que la clave sea detonar proyectos que involucren intereses particulares institucionales públicos y que involucren a los habitantes de cada zona, por ello es importante plantear intereses y necesidades de cada lugar, ciudad, país y región. Apoyar todo plan o programa que ya se tenga en funcionamiento, porque de algo ha estado sirviendo, y por lo mismo es mejor reforzar ese plan, ese programa para que continúe y se fortalezca, además de buscar que amplíe su impacto y cobertura para que sus beneficios sean mayores y mejores. Siempre hay que tener en mente que: *se requiere mejorar lo hasta ahora logrado, aunque sea básico, no destruir lo que se tiene para iniciar desde cero. No, no se trata de eso.*

Es posible plantear dentro de un marco de apoyo de superación que los integrantes de la región, en común, tengan acceso garantizado al uso de la tecnología para avanzar, para despegar en un esfuerzo común. La tecnología ofrece hoy muchas y diversas herramientas de aplicación, que pueden proporcionar un punto de apoyo, una plataforma que beneficie las labores del día a día. Herramientas de apoyo para el campo productor, como las imágenes satelitales, la mejora en semillas, la producción de semillas, y reforzar la producción de fertilizantes amigables con el medio ambiente y un diseño más eficiente y de bajo costo en implementos agrícolas. Cada una de las aplicaciones tecnológicas actuales se puede integrar para mejorar la producción en los terrenos dedicados a la agricultura.

Dentro de un plan maestro se debe destacar el fortalecimiento por lugar, por sitio detectado como potencial desarrollador de un proyecto. Este punto se puede fortalecer realizando el estudio de la potencialidad que pueda tener cada uno de los participantes, como un estado o región referente, a que lo pueda o no desarrollar de manera natural o tradicional. Aquí es válido argumentar que si la región no es propicia para el cultivo de cierto tipo de especie, tratándose de un proyecto agrícola, es posible también proponer el diseño y desarrollo de invernaderos, ya que presentan características adecuadas para el desarrollo de muchos tipos de agricultura.

Un proyecto que puede impactar, y que en algunos estados ya se explota, es la crianza de peces, algunas especies son más factibles que otras de ser criadas en acuarios. Solo habría que adaptar la tecnología para lograrlo, como el de la especie conocida como carpa y sus muchas variantes. La carpa, como la carpa europea, es un pez de agua dulce muy relacionado con la carpa dorada, con la que se puede generar una descendencia híbrida, una especie que puede ser criada en este tipo de instalaciones.

La gran mayoría de habitantes en nuestros países busca emigrar de su región, busca horizontes en otros países, aun cuando en ellos terminen haciendo todo lo que en sus propios países se negaban a realizar. Sin embargo, en cuanto a tomar una decisión personal de dejar su lugar de origen nada se puede interponer.

Aunado a lo anterior se debe tener en cuenta que una proporción de ellos puede acceder a estudios superiores, dado que su meta al emigrar hacia otros países es lograr un grado académico. Esto también es una decisión muy personal, pero también es posible que aporten sus conocimientos realizando un servicio social, apoyando alguno de los proyectos que se plantea para su comunidad o región, agregando esa actividad a su experiencia profesional. También es posible que algunos de los que tuvieron la oportunidad de complementar sus estudios en otros países puedan regresar y encontrar en sus países de origen planes y proyectos que los atraigan, que los convenzan para aportar todo el bagaje académico y experimental que ahora poseen.

No podemos dejar de comentar que nos sentiríamos orgullosos, muy orgullosos de que en nuestro país, en nuestros países, en esta región hispanoparlante, pudiéramos desarrollar nuestra propia tecnología, y hacer planes a corto y mediano plazo sin prisa, para seguir disfrutando de todo lo bello que nos rodea, como el sol, mar, bosques, ciudades hermosas; pero no hay que dejar de lado lo que pasa actualmente, porque gran parte de la población tiene serios problemas para encontrar empleo, para llevar alimentos a sus hogares, problemas de salud, y hay que agregar. lamentablemente, serios problemas, muy serios problemas, de inseguridad. A todo esto, en este momento hay que agregar que todo se complica aún más debido a la espantosa pandemia que azota al mundo.

Al leer los periódicos la atención se centra en artículos que relatan las condiciones en las que se encuentra la región de Centroamérica, con el azote de los eventos climáticos, por lo que se puede proponer cómo

hacer para que al menos, cuando estos efectos de la naturaleza se presenten, no sean tan devastadores. Siempre resulta aterrador observar los terribles efectos que resultan del azote de huracanes, tifones, lluvias torrenciales y maremotos.

Como siempre en estos casos lo único que puede ayudar es la prevención, formar protocolos de advertencia de movilidad de la población vulnerable ante la cercanía de cualquier evento de este tipo. Identificar lugares de posibles albergues que, a la primera advertencia de un evento atmosférico, se habiliten para recibir a las personas que lo necesiten, para resguardarse y evitar desgracias mayores. Este tipo de acciones de prevención y acción deben estar coordinadas con las diferentes autoridades encargadas de la protección civil en cada país de la región.

Una buena medida a implementar es mantener contacto con algún centro de prevención de huracanes, para estar al tanto del avance de los eventos, seguir paso a paso el movimiento y advertir de la posible ruta que tome, y no descartar las medidas de seguridad hasta que se decreta que ha tomado una ruta diferente, o hasta que haya pasado y tocado tierra. Sería muy conveniente formar grupos de vigilancia y prevención, que incluyeran a diferentes delegaciones de los países con mayor incidencia de eventos atmosféricos. Estos grupos se encargarían de estar al pendiente de todos los reportes concernientes a la región.

3. ESQUEMA DE COOPERACIÓN EN UN PROYECTO DE INTEGRACIÓN REGIONAL

Para esto se plantean dos esquemas principales:

1. Se tiene una participación de dos o más municipios o estados de un solo país. Estos seguirían los protocolos de análisis de fortalezas y debilidades de cada uno de los integrantes.
2. Este esquema comprendería la participación de dos o más países que quisieran participar en un conglomerado que potenciaría una región, que abarcara los territorios de los países participantes. Se seguiría el mismo protocolo de análisis de fortalezas y debilidades que se plantea cuando se tiene el primer esquema, el de un solo país.

Las áreas propuestas para enlazar a los participantes en un conglomerado, y en las que se haría un análisis de factibilidad para conocer sus fortalezas y las debilidades son:

- *Industria.* Con qué industria cuenta cada participante. Incluida la hotelera.
- *Cultura.* Eventos de música teatro danza, casas editoras. Eventos de difusión cultural.
- *Universidades.* Intercambios estudiantiles. Cooperación interinstitucional entre grupos académicos, laboratorios y bibliotecas. Escuelas de verano. Prácticas profesionales con validez curricular.
- *Agricultura.* Tipos de agricultura, espacios propicios para la agricultura, tecnologías factibles de aplicarse

La idea general es el desarrollo sostenido de un país o región, que ofrezca certeza, seguridad, buen ambiente y confianza, y para entender la enorme magnitud del esfuerzo se puede dividir cada área en secciones o temas a tratar.

3.1 Diagnóstico previo al planteamiento de acciones conjuntas

El primer paso, el más importante a dar, es el relacionado con un análisis de la situación. Aun cuando pueda resultar impactante es bueno generar un diagnóstico de lo que se dispone, de lo que es necesario hacer para llevar a cabo el o los proyectos, y de lo que es también necesario aportar, para empezar un buen desarrollo. Los cuestionamientos ya se conocen y se deben aplicar a todo proyecto:

¿Que produce cada participante? Verificar posibilidades de asentamiento o desarrollo en el ramo agrícola, en el Industrial. Lo mismo en cuanto a la Infraestructura hotelera, ya sea tradicional, hostel, casa huéspedes, hotel. Servicios que ofrece, como infraestructura para congresos y convenciones, o parques acuáticos, bosques para excursionismo, instalaciones para ecoturismo.

3.2 Plan de implantación para una integración

Como en todo plan, proyecto o desarrollo de ideas, primero es necesario sentar las bases de participación y definir cómo es que se va a transitar de un semi-aislamiento a una total integración regional o continental. El protocolo de integración sería:

1. Propuesta. Invitación a participar
2. Acordar un lugar de reunión.
3. Planteamiento.
4. Formación de grupo de trabajo por cada participante.
5. Sugerencias para integrar el análisis de fortalezas y debilidades.
6. Vías de acceso. Carreteras, aeropuertos, marina.

Todo deberá ser definido para evitar en lo posible los problemas de logística para las reuniones.

3.3 Número de participantes

El esfuerzo de superación en cualquiera de las áreas que se proponga puede ser llevado a cabo por una nación, o mejor aún, conjuntar el esfuerzo de dos o tres naciones del continente. Cuando es una sola nación la que participa es posible llegar a acuerdos para un desarrollo regional entre dos o tres estados, buscar qué puede aportar cada uno y procurar el apoyo mutuo. De ser posible se busca que los estados sean vecinos colindantes, aunque no necesariamente. Esto debido a que se facilita las comunicaciones terrestres en tiempo, el traslado de bienes y servicios, y sería rápido elevar la eficiencia y calidad.

Pongamos como ejemplo para empezar a dos estados mexicanos, el estado de Chiapas, y el estado de Oaxaca. En un principio, ¿Qué sería posible encontrar en ambos estados? Una actividad importante es el turismo. Como un inicio se podría proponer mejoras en el ramo de hospedaje, definido como lugareño, pero también de la hotelería, edificaciones expresas para esa actividad. Es posible agregar la actividad de la artesanía junto con la producción de café, solo por mencionar algunas. Es seguro que se pueda encontrar mayor número de productos susceptibles de impulsar, pero en realidad eso se puede deducir de lo que se produce en cada uno de estos estados.

3.4 Propuestas de proyectos

No solo se trata de darle visibilidad a los problemas que aquejan al continente, también se propone algunos proyectos y tareas que ayudarían a disminuir o a erradicar algunos de los problemas.

3.5 Reservorio de proyectos

Para empezar, hay que tener un sitio donde guardar las propuestas de proyectos, un reservorio de proyectos. Es importante no solo proponer un proyecto, que es una buena práctica, sino dejar huella de cada uno de ellos. Por lo mismo, es conveniente plantear un formato de presentación y de almacenamiento de los diferentes proyectos. La propuesta se podría impulsar con un formato de registro, iniciando con la autoría del mismo, así como el tema y áreas que pueden verse involucradas, los posibles participantes y, por supuesto, quiénes serían los beneficiados.

La estructura de almacenamiento permitiría el acceso a diferentes niveles de la propuesta, iniciando con un acceso universal para conocer nombre de proyecto y un resumen acerca de lo propuesto, sus alcances, su viabilidad, así como los posibles participantes. Se requiere implantar un sistema de acceso jerarquizado para conocer quién o quiénes se interesan en los proyectos, así como determinar en qué nivel de acceso se puede permitir la modificación de cada uno. Lo anterior se impulsa porque desde un principio la idea es que cualquier interesado en un país región o en cualquier parte del mundo pueda acceder a ellos, y en ese primer acercamiento bastaría con saber quién o quiénes se interesan, inclusive que puedan agregar comentarios y propuestas que fortalezcan los proyectos, o que inclusive señalen desventajas o medidas preventivas. Para acceder a otros niveles si se requeriría de mayores controles de acceso.

3.5.1 Desarrollo portuario

El traslado de personas y bienes siempre ha representado una buena oportunidad para brindar un servicio amplio en todos sentidos. Tratando siempre de ajustar los beneficios sobre todo en cuanto a traslado de personas con tarifas que les ayuden, que sean accesibles. Además, para cumplir con el traslado de los mencionados bienes. Haciendo énfasis en el traslado de personas, qué mejor propaganda que la de un servicio que invite a regresar a utilizar el servicio, ya no por un compromiso de negocios, sino de esparcimiento, para hacer turismo sin que se tenga que hacer un desembolso desmedido.

Actualmente, cuando se menciona el traslado de bienes y de personas se piensa en aeropuertos. El vuelo implica rapidez, pero también costo, y no siempre es económico. Además de los posibles retrasos, en algunas ocasiones la sobreventa y en el peor de los casos hasta el extravió de equipajes.

Una buena oportunidad de desarrollo es precisamente la mejora y el desarrollo de los puertos marítimos con los que la región cuenta. Si se piensa en un triángulo de desarrollo que comprenda a tres países vecinos entre sí, se podría decir que la referencia natural es hacia los países de Guatemala, El Salvador y Honduras. Buena parte del traslado de bienes en barcos mercantes que realizan los países europeos hacia América tiene como destino puertos en el Pacífico, y por fuerza deben bajar hasta Panamá para hacer uso del canal.

Pero qué mejor oportunidad de arribar a puertos centroamericanos que realizar la descarga en ellos y transitar y mover por tierra las mercancías para llevar todo hacia puertos del Pacífico, para ahí volver a embarcar todo en cargueros y subir hacia Norte América o salir hacia puertos en Suramérica.

La anterior idea puede que no se acepte de inmediato, pero se debe tener en cuenta que cada día que pasa las embarcaciones son más grandes, porque requieren trasladar más mercancías, mayor volumen. Actualmente, los barcos de traslado más grandes cumplen con las medidas estándar o medida Panamá, que son las dimensiones que les permiten a los barcos transitar por dicho canal, sin embargo, ya existe embarcaciones que superan dichas dimensiones y por lo mismo no pueden cruzar. Solución, agrandar el canal, y lo están haciendo, porque es redituable. Habría que estimar los beneficios en costos y tiempos para saber qué tiempo se requiere para desembarcar en la parte del Atlántico, Centroamérica, transitar los contenedores por carretera o tren hacia el Pacífico y volver a embarcar en otro carguero en los puertos.

Otra ventaja cuando se arriba a un puerto del Atlántico es que, si se tiene mercancías para trasladar a Europa, podría ahí mismo cargar sus contenedores y partir inmediatamente a su destino. El transportador de contenedores que llegó y se descargó, puede en ese mismo puerto cargarse con los contenedores con destino a Europa, y salir en cuanto se complete su carga. Todo esto mientras la carga con la que arribó está en movimiento hacia su destino en el Pacífico. Por supuesto que, con esa idea, en el Pacífico ya se tendría un carguero de contenedores listo a recibir los recién arribados a los puertos del Atlántico que fueron llevados por tierra. Es necesario contar con una logística de operación bien afinada para evitar todo retraso.

Actualmente, las tres naciones cuentan con instalaciones portuarias, por lo que se tendría que valorar el costo de adecuarlas con las dimensiones necesarias para un patio de maniobras con las grúas de carga y descarga, y también las condiciones de las carreteras que permitirían el traslado hacia el Pacífico, además de las vías para el ferrocarril. Los puertos marítimos sugeridos, y que ya existen en cada nación en el Atlántico, pueden ser, para Guatemala, Puerto Barrios, y para Honduras, Puerto Cortés. Así mismo, los puertos en el Pacífico con los que cuentan y que podrían ser adecuados son Puerto San José en Guatemala, Golfo de Fonseca en Honduras y Golfo de Fonseca en El Salvador.

Es necesario que cada opción sea ampliamente analizada para esta propuesta, ya que estos puertos presentan accesibilidad y están en uso actualmente. Además, para el caso de los puertos en el Pacífico se presenta el acceso al Golfo de Fonseca que, de ser la selección, además de los puertos de Honduras, se tendría que incluir puertos de El Salvador. Se tendrían más opciones para movimiento de carga ya que, si no se puede utilizar un puerto por no estar disponible por cualquier situación, exceso de carga, reparación o mantenimiento, siempre estaría la otra posibilidad.

El tema del costo siempre se presenta en cualquier proyecto, y en este caso no es la excepción ya que se tendría que buscar realizar una inversión razonada y planeada no con planos sobre las rodillas. Hacer una planeación dedicada para convencer a inversionistas públicos y privados mediante acuerdos que los beneficien en corto y mediano plazo. Los beneficios también serían para la población y cada país, ya que se genera empleos e impuestos por múltiples servicios. Habría que trabajar la idea, madurar el proyecto.

Como comentarios adicionales se puede afirmar que el canal de Panamá tiene alrededor de 80 Km desde aguas profundas del Pacífico hasta aguas profundas en el Atlántico. Una nave, un carguero de contenedores tarda entre 8 y 10 horas en lograr transitar el canal, pero el tiempo previo, el tiempo de espera para empezar a transitar, puede ser de días e incluso de semanas para cada carguero.

El canal fue abierto en 1914 y la peor estimación que se tiene es que se quede sin agua, esto debido a que en ocasiones las lluvias no son tan abundantes. Su funcionamiento se complica por falta de agua, lo cual se pudo evidenciar con la escasez de lluvias durante 2019.

Recientemente, se pudo ver los estragos que causó el carguero de contenedores Ever Given cuando quedó atorado en el canal de Suez, y bloqueó el canal por una semana. Este tipo de problemas sucede debido a que en ese punto solo se tiene esa opción de tránsito hacia el Mediterráneo. Si se hace una semejanza con el proyecto que aquí se propone, se tendría al menos dos puntos de acceso en el lado del Atlántico y el mismo número de puertos en el lado del Pacífico, aunque se pueden incluir más opciones. Los beneficios a corto plazo son el empleo de mano de obra para la readaptación de las instalaciones, seguida de la capacitación del personal que pueda operar en todas las instalaciones de los puertos.

3.5.2 Comunicación terrestre

Parte esencial es lograr una eficiente, confiable y segura comunicación terrestre. Los caminos terrestres como primera línea de comunicación son un excelente medio que permite traer y llevar bienes y servicios, y muchas veces para formar parte de proyectos a futuro. Como ejemplo se puede apreciar en los relatos que se hace acerca de las conquistas romanas, donde lo primero que procuraban eran los caminos, aquellos que tenían por objeto enlazar la principal ciudad del territorio recién conquistado con el camino que llevaba a Roma. Pues bien, como proyecto sería mejorar el estado del sistema carretero de los países de la región, con lo cual se podría intensificar el movimiento por carretera de bienes y servicios. Sería un proyecto apoyando a otros proyectos.

Un tema aparte lo constituye el ferrocarril, porque este medio de transporte para bienes y pasajeros se está convirtiendo en un excelente medio de transporte de carga, que desde sus orígenes ya lo era pero que ahora se ha incrementado su uso, como en los países desarrollados. Es cierto que cuentan con traslado de pasajeros, pero su principal actividad está en el transporte de bienes; cuenta con vías exclusivas, tiempos fijos de traslado y en pocas ocasiones se limita su carga. Algunos trenes se habilitan con dos locomotoras, todo en función de lo que vayan a arrastrar.

Sería una decisión excelente que en cada puerto marítimo se tuviera acceso a una vía de ferrocarril que pudiera transportar carga entre puertos del Atlántico y del Pacífico, regresando con el proyecto portuario. El recorrido podría darse de manera pronta, eficaz, segura, puntual y a bajo costo. Entonces, el movimiento de carga podría ser por carretera o por ferrocarril.

3.5.3 Alimentación auto-suficiente

Aun cuando pueda parecer simple, lo primero que se debe solucionar o procurar es la alimentación, y no solo en lo mínimo, sino aspirar a lograr una buena alimentación. Al asegurar una auto-suficiencia alimentaria lo demás es posible lograrlo aun cuando lleve un poco más de tiempo.

Dentro de este capítulo se debe incorporar el tema del agua, el acceso al agua, agua de calidad que no sea fuente de calamidades. Procurar un abasto de agua potable ayuda a mantener en buen nivel la salud de la población, no hay que olvidar los acontecimientos sucedidos en siglos pasados en torno al agua en Europa.

Plantear un sistema efectivo de purificación y distribución de agua potable. Un buen ejemplo para disponer de agua potable sin restricción es mediante la implantación de sistemas de purificación, que ayuden a promover el uso de agua limpia. Uno de los sistemas que se propone es una planta piloto para escuelas, para evitar el consumo de agua en botellas plásticas y de agua con azúcar y gas. El sistema de agua que se propone toma agua suministrada por el municipio y se hace pasar por un filtrado consistente de siete etapas de purificación. Se presenta este sistema como una opción más de diseño y desarrollo que puede hacerse efectivo para un uso generalizado en todas partes.

Este suministro de agua potable es un ejemplo de que sí es posible plantear proyectos viables, proyectos que den beneficios directos a la población en general y con acceso universal. El sistema dispensador de agua limpia basa su purificación en los siguientes pasos:

1. Filtración de macro partículas (del orden de 10 micras): retiene granos de arena, sales, polvo, sarro y sedimentos, empleando una rejilla de tela de poliéster o en su defecto un filtro basado en capas de fibra de coco.
2. Filtración con carbón activado granular de cartucho reciclable (5 micras): elimina el mal olor, sabor y color, además de que remueve el cloro disuelto en el agua.
3. Filtración con carbón activado en bloque (1 micras): misma función que el filtro anterior.
4. Filtración multicapas (lecho profundo o arenas sílices).
5. Filtración por membrana con ósmosis inversa (membrana de ultrafiltración): reduce considerablemente la presencia de minerales, metales y sales disueltos, además de compuestos dañinos.
6. Empleo de una fuente emisora de luz ultravioleta UV de muy bajo costo: La luz UV es un excelente germicida, elimina la flora y fauna presentes en el agua. Este método se enciende y apaga de manera automática y no daña al medio ambiente.
7. Inyección y dilución de ozono: el ozono es muy efectivo como purificador de agua, porque descompone a los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan dañar la salud o alterar el sabor del agua.

Una vez completado el ciclo de limpieza del agua, el sistema cuenta con un dosificador que se activa mediante una alcancía electrónica. Dispensa agua limpia en un recipiente que cada solicitante deberá tener. A todo lo anterior también se debe considerar que abundan las regiones que sufren de inundaciones, desbordes de ríos, lo mismo que del desfogue de presas que barren inclusive con asentamientos humanos. Y aunque parezca contradictorio, cuando los eventos de inundaciones se suceden lo más importante es suministrar agua potable y víveres.

Renglón importante a considerar es el del desarrollo de la tecnología de los invernaderos. Probablemente como en todo, en un principio se deba consultar con expertos la mejor forma de diseñar y desarrollar invernaderos, pero siempre dejando claro que es necesario que se desarrolle tecnología propia, buscar siempre la no-dependencia total. Tal vez se va a depender de alguien en un principio, pero la idea eliminar rápido dicha dependencia que parece sencilla y hasta reducida en costo, pero con el tiempo es muy dañina. Este es un renglón a tratar que no debe ser considerado como algo superfluo o sencillo. Si se hace mención de una sana y buena alimentación para la población, también se debe considerar que quienes nos visitan van a requerir alimentos tradicionales bien preparados, limpios, seguros, accesibles y todo debe ir dirigido hacia una buena imagen que los haga regresar y recomendar entre sus familiares y amistades. Siempre un cliente feliz es la mejor publicidad.

Incentivar el desarrollo de modelos climáticos que ayuden a programar las actividades agrícolas en cada zona; promover el análisis de posibles zonas para ser utilizadas para esta actividad, análisis de tierra, perforación de pozos, detectar ríos cercanos que puedan abastecer el riego, sin que se afecte abastecimientos a poblados, e inclusive proponer caminos que apoyen el traslado de los productos.

3.5.4 Ingeniería

Las áreas de la ingeniería se concentran para alcanzar las más diversas metas, por ejemplo, la ingeniería civil juega un papel importante en el desarrollo de cualquier región. El ramo de la construcción es un

poderoso motor que impulsa la economía de las naciones. También se requiere acondicionar los caminos, no necesariamente con concreto, puede ser un camino de empedrado que no rompa con la armonía de lugar, lo mismo que el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, así como el aporte a la infraestructura ferroviaria.

En cuanto a la electricidad, las regiones requieren de un diseño de alumbrado, y es posible llevar tendido eléctrico, o diseñar y construir luminarias ecológicas que funcionen con paneles solares independientes. Por lo tanto, hay que determinar las posibles fuentes de generación eléctrica, verificar los sistemas de drenaje y, en caso de no haber, promover el uso de fosas sépticas partiendo de diseños que se puedan desarrollar para cada lugar.

Un renglón que se puede proponer como proyecto del conglomerado es la posibilidad de la conservación de alimentos mediante técnicas de deshidratación, y actualmente se están situando diversas tecnologías enfocadas a la conservación para exportación.

3.5.5 El campo y las ciudades

Las tareas a realizar en beneficio de las ciudades y poblados considerados rurales, tienen algunas variantes, por ejemplo, pintar las orillas de las banquetas proporciona cierta calidad visual a la calle en donde se asientan viviendas, o en áreas que deben ser destacadas en zonas donde se asientan industrias o comercios, también puede destacar en los señalamientos en zonas de estacionamiento de unidades habitacionales y zonas comerciales. Para zonas rurales, en lo que respecta a caminos, tal vez lo ideal sería darles forma a los senderos y compactar con piedra y delimitar los caminos, agregándoles a los lados el dren de lluvia.

Un aspecto agradable en pequeños poblados es una buena iluminación, y para ello se propone el uso de luminarias, postes que funcionen con base a celdas solares de baja potencia, cuyo diseño y construcción generaría una empresa que se responsabilice de su construcción, distribución e instalación. Para este tipo de luminarias existen diferentes diseños y es seguro que entre ellos se puede encontrar el que brinde la mejor opción.

3.5.6 Interconexión eléctrica y comunicación

Por los alcances que implica este es un tema que convendría analizar a profundidad, ya que la generación e interconexión de sistemas de generación y distribución de energía se deben de considerar siempre desde el mencionado argumento del beneficio general para la población. El objetivo sería dar certeza en el servicio con planeación y distribución que busquen dicho beneficio. Hay que impulsar la inversión y el desarrollo de empresas interesadas en los campos de la comunicación, para que los servicios digitales estén disponibles en el total de los territorios y asegurando un acceso seguro y eficiente, además de mantener un costo razonable que apoye su uso.

Actualmente, con el uso de los nuevos teléfonos es posible acceder a las señales de radio, que antiguamente solo se recibían en las frecuencias de radio, pero que ahora llegan a través de las frecuencias asignadas a la Wifi. Lo mismo sucede con los sistemas de televisión, algunos son accesibles a través de la red, y es por lo mismo que se debe apoyar la generación de contenidos que ayuden a integrar a una región mediante comunicados de eventos culturales y noticias de interés, todo será posible ampliarlo si se tiene acceso asegurado a la red, de ahí la importancia de apoyar a las compañías que brindan este servicio.

Un esquema alternativo que puede ser de utilidad es que los gobiernos involucrados inviertan en un servicio abierto de Wifi, para un uso generalizado por parte de la población, sin que tenga que hacer uso de un servicio privado de telefonía con acceso a internet.

Es un punto complejo, sin embargo, no podemos dejar de mencionar la posibilidad de empezar con un estudio acerca de las posibles fuentes de generación eléctrica de que se disponga, y luego desglosar un posible sistema conjunto de generación y distribución. Las fuentes de generación hidráulica, eólica, plantas

de generación a base de gas o carbón y plantas con ciclos combinados que se puedan utilizar para mantener un suministro seguro y confiable a costos razonables.

3.5.7 Salud

Este es un tema de actualidad que ha servido para valorar aún más el tener una buena salud. Para lograrlo siempre es necesaria la orientación, la prevención y la concientización de la población, y en general de las medidas mínimas a tomar para cada uno. También enfatizar en servidores turísticos, la preocupación por asegurar un medio ambiente limpio, agradable y seguro, certificando que es un espacio seguro.

Se propone desarrollar clínicas regionales que atiendan a las poblaciones, respondiendo a exigencias como las actuales, tanto en prevención como en el desarrollo de vacunas. Proponer un centro de desarrollo de vacunas, tal vez en un principio donde se podría iniciar con la infraestructura necesaria para el envasado de vacunas, lo que ya sería un gran logro, para después pasar al desarrollo de vacunas que atendieran primero a la región y centradas en las características de los que en ellas habitan, porque actualmente se depende de lo que los demás países quieran y estén dispuestos a enviar a nuestros países.

Si se quiere hablar acerca de dependencia de los demás, basta con someter la situación actual, ya que en medio de esta pandemia se tiene que esperar a que los países que tienen vacunas primero inoculen a su población a tasas de un millón o millón y medio de habitantes por día.

Al tener centros de desarrollo de vacunas se tendría que disponer de un laboratorio, que estuviera dispuesto y que garantizara la fabricación en cantidades suficientes para cuidar de la salud de nuestra población. Poseemos universidades de prestigio con reconocimiento internacional, con institutos de investigación en biomedicina, con personal capaz de desarrollar las vacunas y los medicamentos, con la idea de lograr una independencia, aunque por el momento fuera limitada.

Para lograr resultados y una buena participación es recomendable diseñar e implementar protocolos de colaboración y de participación, que den certeza de los beneficios que se vayan obteniendo. Proponer un centro de control y prevención de enfermedades que se encargue de emitir alertas de posibles pandemias, como de información acerca de las novedades médicas que se tengan. Este centro tendría que colaborar muy en directo con la Organización Mundial de Salud OMS. Este tipo de centros de prevención y control pueden emitir recomendaciones, asesorar y probar los nuevos fármacos, para tener certeza de que todo medicamento disponible puede ser empleado con seguridad en la población.

3.5.8 Fronteras

En la actualidad se ha despertado un creciente interés por las fronteras entre los territorios de las naciones, y es un tema de importancia que debe ser tratado con apertura respeto y con aceptación acerca de lo que representa para cada una de las naciones su frontera. No todos están obligados a pensar o valorar de igual manera la importancia de las fronteras, es por ello que se debe mantener un acuerdo que permita a corto plazo una libre circulación, mediante una identificación única que acredite al portador sin ninguna sombra de duda. Más aún, hoy se debe de estar proponiendo esquemas de certificación de vacunación para garantizar una inmunidad, aunque de momento sea relativa. Con un documento de este tipo se podría por lo menos asegurar un tránsito más seguro, más responsable.

3.5.9 Turismo

Este es un tema que en toda América Latina nos viene bien, porque en nuestro continente tenemos vocación para el turismo, nos gusta que visiten nuestros países, y los visitantes vienen porque aquí tenemos bosque, playa, desierto, grandes ciudades y pueblos tradicionales que invitan a disfrutar del buen clima, excelente servicio y de los buenos alimentos, así también de nuestras bebidas. Y lo más importante que siempre se debe resaltar: amabilidad. Pero también remarcar el buen cumplimiento de normas y reglas del lugar por parte de nuestros visitantes.

Es importante promocionar los congresos y convenciones, enfatizando todo aquello que favorece la estancia con fines académicos en un ambiente tranquilo, con todos los servicios que requieren. Por eso hay que localizar lugares que puedan ser ocupados por asistentes a eventos académicos. Esto conviene ser trabajado muy de cerca con los organizadores en cada universidad, en cada centro de investigación, en cada empresa pública o privada que tenga por norma la realización de este tipo de eventos.

Realizar promoción turística entre las entidades universitarias y de investigación y, de ser posible, promover también entre las industrias, con paquetes económicos para sus empleados y ejecutivos, e incluir una promoción especial a las dependencias gubernamentales en cada uno de sus niveles. Una de las tantas posibles promociones podría contemplar planes de estadía totales, preparados con traslados, hospedaje, alimentos y transporte local. La promoción de planes de ocupación requiere una preparación de los diferentes servidores, y por supuesto es una buena estrategia incluir a los participantes/visitantes para que siempre sea una promoción bajo diseño, combinando paquetes de ocupación y de traslado.

3.5.10 Medio ambiente

El cuidado del medio ambiente es un tema muy importante, que debe ser incluido en cualquier proyecto de desarrollo que se plantee. No es recomendable dejar de lado los reglamentos que para este tema se tenga en cada país, es necesario acrecentar su importancia, y su inclusión en todo proyecto debe ser primordial para mantener el equilibrio con la naturaleza.

Como proyecto de promoción del empleo está la integración de brigadas de recolección de envases de plástico. Formar brigadas que eliminen del paisaje de nuestros lugares de vivienda todo envase plástico y de botellas de vidrio. En algunos países estas brigadas cooperan en sus ratos libres a lograr un mejor aspecto y un ambiente más limpio, entienden que son ellos los que ahí viven, disfrutan de playas y bosques, pero cuando estos se ven atascados con desperdicios todo empieza a deteriorarse, y son ellos los más afectados debido a que la imagen que a diario presencian es el del descuido, la indolencia, el desinterés por los demás y por el medio ambiente. Todo esto daña no solo el aspecto del lugar, sino a la fauna, ya que se propicia el surgimiento de otra fauna nociva que puede agredir y acarrear enfermedades, y un desbalance que cuesta mucho rehabilitar.

3.5.11 Políticas

- *Esquema de asesorías.* Pensando en la propuesta de un conglomerado, cada país está en la libertad de asignar sus contratos y supervisarlos hasta la conclusión de los mismos. Y aun terminados tendrá bajo su supervisión el buen desempeño que se tenga. Sin embargo, si alguno de los países integrantes del conglomerado regional considera prudente solicitar apoyo o la concesión de una parte del desarrollo que tiene asignado, recibirá el apoyo sin menoscabo de sus intereses, o si lo considera prudente podrá ceder en concesión dicho desarrollo cubriendo los costos del mismo. Siempre en el espíritu de igualdad y de equidad en el trato entre participantes.
- *Convenios entre los países.* Promover el empleo de profesionales locales en las diferentes áreas de desarrollo de los proyectos, apoyando en todo momento a los ciudadanos que conforman el conglomerado, brindándoles la posibilidad de desarrollarse en cualquiera de los países.
- *Sistemas de seguridad.* Plataformas de seguridad compartidas de forma regional y conjunta. Recibir turismo es complicado, pero lo que siempre se debe dejar bien en claro es que se debe cumplir las reglas, normas de estancia en los lugares.
- *Población.* Esta sección se puede empezar a trabajar con base en el impacto que pueda tener el proyecto global de participación en cada uno de los estados o países involucrados.

3.5.12 Agenda

Una tarea fundamental en la promoción de todo tipo de proyectos y nos corresponde a todos por igual sin importar si nuestras actividades o áreas de trabajo difieren de los proyectos, y hay que tener presente que

una de las ideas propuestas es la participación en todos en los proyectos, por lo que meta es concientizar al mayor número de personas.

Proponer protocolos de participación y la realización de métodos de difusión de ideas entre todos los participantes. Dentro del esquema de protocolos agregar siempre una actividad que lleve a la incorporación del mayor número de participantes. No hay que dejar de tener presente, la necesidad de involucrar a organizaciones de carácter mundial. Es muy importante contar con su apoyo y asesoría. Son instituciones que pueden aumentar la visibilidad de todos los proyectos que se propongan a nivel mundial.

Una vez encontrado el modo en cómo es que se va a participar es necesario realizar la asignación de tareas: 1) realizar un calendario de promoción que sea presentado por todos los interesados dentro de sus círculos de influencia, 2) hacer énfasis en la recopilación y almacenamiento de proyectos, y 3) proponer una red de actividades que incluya a cada integrante por ciudad, estado o país.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta diferentes líneas de acción que requieren la participación en conjunto con una mira: el desarrollo de soluciones a problemas sociales.

Se necesita desarrollar un plan maestro que guíe los esfuerzos para aprovechar al máximo los recursos con los que se cuenta.

Se plantean las dos vertientes que involucran a un solo país o a varios países que formen un conglomerado en el que se tenga una participación por igual de cada uno de los integrantes.

No esperemos a que lleguen propuestas, porque podemos proponer y buscar llevar a cabo las tareas que nos convenga. Es posible permanecer abiertos a escuchar a todas las voces, pero siempre hay que tener presente que se busca el beneficio de nuestro continente.

En todos los proyectos que se plantea se busca el empleo local, tanto de personas que realizan labores directas, que conforman brigadas de construcción de instalación de remodelación, así como de personal altamente calificado que aporte su experiencia y conocimientos en el planteamiento desarrollo y puesta en funcionamiento de todos ellos.

Este planteamiento general es un proyecto que se generó pensando en solo dos estados participantes de un mismo país, para de ahí pasar a extenderlo hacia dos países interesados en la libre cooperación. Y ahora se piensa que puede ser implementado, que puede ser de utilidad a toda una región, que puede involucrar a dos o tres naciones que se vean identificadas con el proyecto. Se le puede dar difusión e impulsar sus ideas. Las acciones aquí propuestas son solo un impulso, una voz que llama o que clama por la unidad para que nuestros países estén unidos, estén fuertes, se apoyen e impulsen hacia un mejor futuro. Estamos convencidos de poder incidir en algunos y esperamos que puedan a su vez comunicar, proponer en sus lugares de residencia proyectos que ayuden a lograr mejores condiciones de vida para todos. Estamos seguros que es posible lograrlo.

Análisis prospectivo para la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad ante fenómenos naturales

María del Rocío Guadalupe Morales Salgado¹

Fabián Leonardo Yory Sanabria²

Juan Pablo Salazar Giraldo³

Manuel Alberto Pérez Coutiño⁴

^{1,4} *Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla*
México

² *Universidad Libre Seccional Socorro*

³ *SENA Regional Antioquia*
Colombia

En este capítulo se presenta los resultados de un análisis prospectivo cuyo objetivo es reducir la vulnerabilidad de la población amenazada por fenómenos naturales en los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander (zona norte de la región andina colombiana). La información se obtuvo de una revisión de productos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y de una entrevista estructurada aplicada a 388 habitantes de la zona de estudio. Los cálculos se realizaron a partir de algunos indicadores propuestos para cuatro tipos de limitantes (categorizadas en aspectos políticos, académicos, económicos y físicos), claves en la restricción de acceso a las alertas preventivas como una medida para la prevención del riesgo de desastres. Se propone una definición de vulnerabilidad, basada en el análisis cualitativo de documentos de diversos autores, y se desarrolla cuantitativamente identificando la limitante más restrictiva. La aplicación de redes neuronales y redes bayesianas permitieron establecer cuál de las limitantes es la que impide principalmente que la sociedad acceda a la información preventiva, ante las amenazas naturales de su entorno, y la generación de un modelo causal del sistema ha permitido simular diversos escenarios, en donde se identifica las acciones adecuadas para reducir la vulnerabilidad de la población.

¹ Doctora en Tecnologías de Información y Análisis de Decisiones. Directora del Doctorado en Tecnologías de Información y Negocios Electrónicos.

Contacto: mariadelrocio.morales@upaep.mx

² Doctor en Tecnologías de Información y Análisis de Decisiones. Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias.

Contacto: fabian.yory@unilibre.edu.co

³ Especialista en Evaluación del Impacto Ambiental y Doctor en Ingeniería con Énfasis en Ambiental. Instructor ambiental.

Contacto: jpsg0501@gmail.com

⁴ Doctor en Ciencias Computacionales. Presidente del consejo directivo del Clúster de Tecnologías de Información TIC en Puebla.

Contacto: direccion@pymenweb.com

1. INTRODUCCIÓN

Con base en diversos estudios asociados al tema de la Gestión del Riesgo de Desastres, se ha hecho evidente que la sociedad está expuesta a diversos fenómenos convirtiéndose en lo que varios autores han denominado *sociedad del riesgo* (Freire y Natenzon, 2013), las recientes pérdidas a nivel global causadas por los desastres demuestran la necesidad de incorporar y fortalecer los procesos de la Reducción del Riesgo de Desastres y la adaptación al cambio climático (Iberico, 2011).

Si bien estos eventos son llamados naturales, en muchas situaciones obedecen a problemas desencadenados por la actuación del hombre en el entorno donde desarrolla sus actividades, por este motivo su tratamiento no debe dejarse exclusivamente a los actores de gobierno *dado que se está hablando de una construcción de conocimiento emergente para la gestión local del riesgo, se debe involucrar en todo el ciclo a los actores locales, es decir, a los habitantes de los territorios* (Peña y Cuervo, 2015).

Si bien en el Marco de Acción de Hyogo en 2005 se establecieron las líneas de acción necesarias para la reducción del riesgo tales como *utilizar los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel, reducir los factores de riesgo subyacentes y fortalecer la preparación para casos de desastre a fin de lograr una respuesta eficaz* (ONU, 2005), muchas de las acciones se han limitado en la definición de políticas y conformación de estructuras administrativas que poca o nula injerencia tienen en la realidad que vive la sociedad. La acción más común de los diversos organismos ha sido la elaboración de estudios que han ayudado a entender los profundos lazos que se asocian al concepto de riesgo, en diversos documentos se encuentran referencias claras sobre el concepto de desastre, sus posibles orígenes y la necesidad de gestionar los riesgos asociados para reducir el riesgo de evento extremos (Freire y Natenzon, 2013).

Para reconocer estos fenómenos y la manera cómo afectan a la sociedad, se han acuñado algunos términos como amenaza, vulnerabilidad, riesgo y desastre, cada uno de estos como una temática especial que debería comunicarse efectivamente a la sociedad ante su evidente vulnerabilidad ante los fenómenos, muchas veces derivados de la misma actividad humana (Iglesia y Coma, 2011).

El concepto de vulnerabilidad ha sido tratado por diversos autores, y las definiciones que se presentan cobijan aspectos en general uniformes, tales como falta de acceso a recursos, susceptibilidad de sufrir daño, nivel de exposición a una amenaza (Instituto de Estudios Ambientales y Cardona, 2003), probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos etc. (Banco Mundial et al., 2013), sin embargo, el hecho de no tener garantizado el acceso a la información preventiva no es considerado como una de las principales causas para que el nivel de riesgo ante una amenaza se vea incrementado y se va haciendo evidente que la estrategia para reducir esta brecha es culturizar a la población identificando sus factores de vulnerabilidad (Rosas y Barrios, 2017) y desarrollar acciones que ayuden a reducirla.

Desde hace cerca de tres décadas, los esfuerzos por trabajar en el tema de reducir la vulnerabilidad han sido intensos, se han desarrollado estrategias por parte de diferentes entidades especializadas, pero actualmente esta información está dispersa, situación potencialmente desencadenada por la discontinuidad en los mandos de las instituciones y los organismos encargados de la mitigación de desastres (Sarli, 2005).

La consecuencia de estos eventos y situación técnico-administrativa del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, además de los daños en las diversas infraestructuras y alteraciones en la economía, en muchos casos es la pérdida o afectación de vidas humanas debido a la carencia de un mecanismo unificado que permita la consolidación, procesamiento y análisis de la información que las diversas entidades generan y que potencialmente pueden ser tomados como una herramienta de protección civil como pueden ser los modelos digitales de elevación, información geológica e hidrológica, etc. (Maass, 2015) y que no son conocidos por la comunidad por diversos motivos, que pueden ir desde la falta de conocimiento de su existencia hasta la dificultad de acceso a los diferentes recursos web, por ignorancia en la lectura e interpretación de información técnica e incluso por la dificultad inherente a la generación de alertas ante eventos de imposible predicción (Galván et al., 2010).

Según el (BID, 2001), para reducir la vulnerabilidad de la población *es necesario enfrentar esta problemática de manera sistémica y coherente en sus causas, en la prevención, mitigación y transformación*, se requiere intervenir en aquellos aspectos que permitan reducir el riesgo a través de la promoción o debilitamiento de las capacidades de resiliencia y adaptación social (Soares y Gutiérrez, 2017) todo esto dentro del marco de la cotidianidad de la población, es decir, sin introducir nuevas variables que hagan más difícil la apropiación del conocimiento. Es preciso construir, de modo sistémico, un modelo de decisión política en donde un elemento del sistema pueda interactuar eficientemente con otro (Cejudo y Michel, 2016), esto es, que una política que procure la generación oportuna de las alertas vaya asociada a otra en la cual se garantice dar aviso a las comunidades amenazadas ante cualquier eventualidad ocasionada por un fenómeno natural. Por los motivos anteriores es que la investigación se direccionó con base en las siguientes preguntas:

- ¿Las limitantes académicas son las que más influyen para que las alertas sobre las amenazas por fenómenos naturales no lleguen eficientemente a la sociedad?
- ¿Es posible generar un modelo basado en las variables asociadas al entorno de vida diario de la sociedad, con el cual se pueda modelar escenarios que ayuden a la reducción de la vulnerabilidad de la población?

2. MÉTODO

Para responder a las preguntas de investigación, el estudio se desarrolló en diversas etapas, la primera consistió en estudiar definiciones anteriores propuestas por diferentes autores para establecer si la vulnerabilidad había sido estudiada previamente con el mismo enfoque, en segundo lugar se propone un nuevo concepto de vulnerabilidad de modo cualitativo y cuantitativo, de manera tal que en una tercera fase permitió establecer el aspecto más influyente en la sociedad amenazada, y por último se desarrolló un modelo conceptual que facilitó definir algunas estrategias de actuación para la reducción de la vulnerabilidad en la población.

2.1 Delimitación de la zona y población de estudio

La zona de estudio se encuentra en Colombia en el sector norte de la Región Andina, en los departamentos de Boyacá, Norte de Santander y Santander, donde se encuentran algunos de los principales centros económicos y urbanos como Bucaramanga, Cúcuta y Tunja, entre otras, y donde en 2015 la población fue de 4'669.675⁵ habitantes.

Para obtener información por parte de la población objetivo, se aplicó una entrevista estructurada. La selección del tipo de instrumento obedeció a que fue la que se consideró más adecuada para la captura de información de la cual no se encontraron evidencias o estudios previos en las áreas específicas de conocimiento y la comunicación efectiva de las alertas e información general como herramienta de prevención ante los fenómenos naturales. La muestra se determinó en diversas etapas, en la primera, se realizó un muestreo no probabilístico debido a que fue preciso determinar las limitantes en zonas donde hay evidencias de que anteriormente han sucedido desastres naturales, también es conocido como *muestreo por conveniencia*, y su único requisito es cumplir con la cuota del número requerido de unidades de observación (Salinas, 2006).

Con base en la información histórica obtenida a partir de la base de datos del proyecto DESINVENTAR, se determinaron aquellos municipios donde se han presentado dichos fenómenos, estableciendo la cantidad de eventos y el número de afectados; se seleccionaron los municipios con mayor representatividad para el estudio. La segunda etapa consistió en fijar el número de la muestra en general, con un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error de 5% (obteniendo un Z de 1,96 siguiendo una distribución normal), con lo cual se calcula la muestra total de la población en 385. En la tercera etapa se determinó, para cada municipio, la población estimada en 2015⁶, y se calculó un primer valor para la muestra, con base en el tamaño del estrato que es equivalente al porcentaje de la población.

⁵ Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE. Recuperado: http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/home

⁶ Recuperado: http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/home

La cuarta etapa consistió en ajustar el tamaño de la muestra con base en la necesidad de optimizar el trabajo de campo, debido a que económicamente no era viable enviar encuestadores a municipios lejanos por un número de encuestas menor a 10, por los costos de desplazamiento y manutención requeridos. En la quinta y última etapa, sobre el número de muestra ajustada por municipio, se optó por dividir la muestra de cada municipio en dos grupos: urbano (70%) y rural (30%), valores que se acercan a la distribución de la población según la ubicación de la residencia de la población en general. Con base en el Informe sobre Desarrollo Humano 2015 (ONU, 2015), el 76.1% de la población son habitantes urbanos, deduciendo así que un 23.9% habita en un entorno rural. No se utilizaron los valores exactos por la necesidad de obtener un número entero para las muestras de cada población, de esta manera se obtiene el total de muestras requeridas para los municipios en el sector urbano y rural (Tabla 1).

Tabla 1. Determinación del tamaño de muestra por ciudad.

Ciudad	Departamento	Población	%	Base	Ajustada	Urbana	Rural
Tunja	Boyacá	188.380	8.01	30	25	17	8
Sogamoso	Boyacá	113.295	4.81	18	15	10	5
Villa de Leyva	Boyacá	16.478	0.70	2	10	7	3
Cómbita	Boyacá	14.632	0.62	2	10	7	3
Tibaná	Boyacá	9.186	0.39	1	10	7	3
Paipa	Boyacá	30.740	1.30	5	10	7	3
Garagoa	Boyacá	16.944	0.72	2	10	7	3
Tenza	Boyacá	4.112	0.17	0	10	7	3
Santana	Boyacá	7.692	0.32	1	10	7	3
Cúcuta	Norte de Santander	650.011	27.63	106	70	49	21
Los Patios	Norte de Santander	76.531	3.25	12	10	7	3
Ocaña	Norte de Santander	98.229	4.17	16	15	10	5
El Zulia	Norte de Santander	22.843	0.97	3	10	7	3
San Cayetano	Norte de Santander	5424	0.23	0	10	7	3
Bucaramanga	Santander	527.913	22.44	86	60	42	18
Barrancabermeja	Santander	191.768	8.15	31	20	14	6
Charalá	Santander	10.540	0.44	1	10	7	3
Simacota	Santander	7.789	0.33	1	10	7	3
Floridablanca	Santander	265.407	11.28	43	20	14	6
Puerto Wilches	Santander	31.511	1.34	5	10	7	3
Guadalupe	Santander	4.756	0.20	0	10	7	3
Rionegro	Santander	27.114	1.15	4	10	7	3
Socorro	Santander	30.577	1.30	5	10	7	3
Total		2.351.872	100	374	385	268	117

2.2 Análisis cualitativo y cuantitativo del concepto de vulnerabilidad

Esta fase se realizó debido a la necesidad de determinar que la vulnerabilidad basada en el modelo propuesto de esta investigación no había sido utilizada por otros autores en el mismo contexto ni con componentes similares. Como herramienta de trabajo se utilizó el software NVivo para el análisis de 27 documentos relacionados con la temática de riesgo, amenaza y vulnerabilidad. Se encontró que a pesar de la variedad de estudios no existe uno que incluya las limitantes estudiadas o el enfoque de analizar la vulnerabilidad como un resultado de la carencia de acceso a la información, y se propone la siguiente definición y estructura conceptual (Figura 1).

- *Vulnerabilidad*: Es el grado de limitación de acceso a la información preventiva al que está expuesta la sociedad debido a restricciones de tipo económico, político, académico y físico, que le impide disminuir su nivel de riesgo por el desconocimiento de las alertas publicadas a través de diversos medios de comunicación acerca de los fenómenos naturales amenazantes monitoreados durante el desarrollo de los objetivos del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (Salgado et al., 2018).
- *Limitantes económicas*. Son las restricciones asociadas a la capacidad económica de los individuos, colectivos sociales y entidades especializadas, que les impiden desarrollar estudios técnicos o acceder a los recursos tecnológicos e informativos por donde son transmitidas las alertas. Se asocian con la capacidad económica, entendida como el potencial que tiene la sociedad o una parte de ella para acceder

al alquiler o compra de sistemas tecnológicos que les permitan generar o conocer la información de las amenazas. Son potencialmente impedimentos en el acceso directo a la tecnología que se utiliza para la difusión de las alertas en el caso de la sociedad vulnerable, como a la capacidad de hacer estudios técnicos y monitoreos adecuados y en el nivel adecuado para generar alertas adecuadas por parte de las entidades.

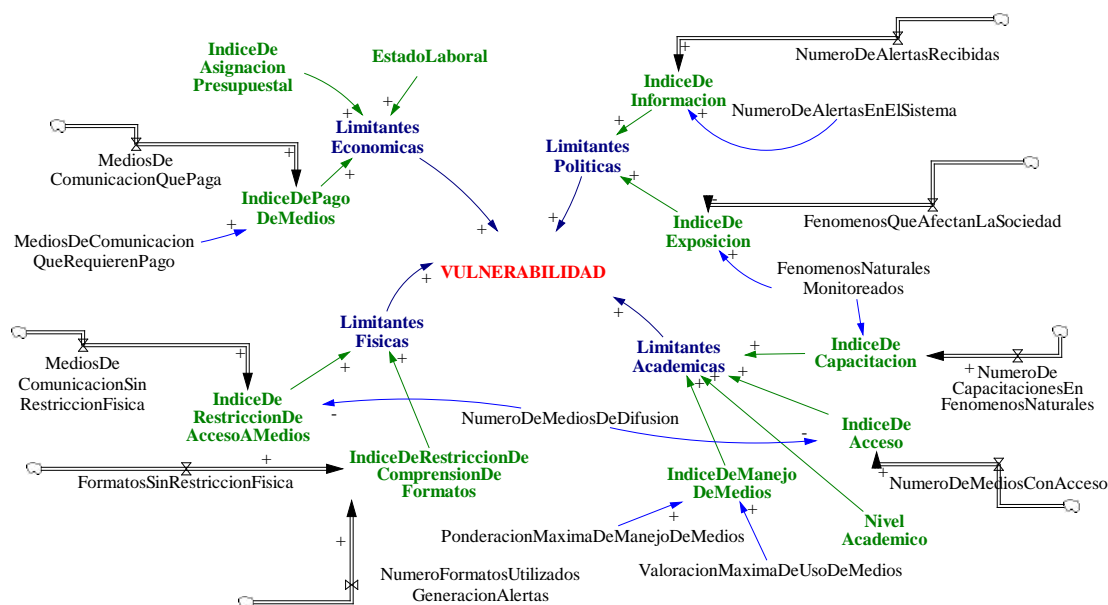


Figura 1. Modelo Conceptual propuesto para la Vulnerabilidad

- *Limitantes políticas.* Están asociadas a los lineamientos nacionales que propenden por una cultura de prevención ante los fenómenos naturales y que desarrollan los estudios técnicos e implementan tecnologías a través de entidades formalmente constituidas las cuales deberían desarrollar estudios y/o monitoreos de manera tal que generen la información primaria que permitan la construcción de las alertas como medida de prevención para la sociedad.
- *Limitantes académicas.* Son impedimentos asociados a la falta de formación académica que genera una negativa en el acceso al material difundido como alerta, limitando el acceso a los recursos tecnológicos e informativos por donde son transmitidas. Su origen podría estar asociado a las políticas educativas de Colombia, que son los lineamientos generales que propenden para alcanzar un estándar educativo adecuado el cual proporcione soporte a una sociedad sostenible mediante el conocimiento y acceso a recursos informativos.
- *Limitantes físicas.* Son los impedimentos asociados a las condiciones de salud de los individuos que les impiden acceder a los recursos tecnológicos e informativos por donde son transmitidas las alertas. Obedecen generalmente a causas externas no controlables en su totalidad por el individuo o población, dado que existe una relación directa entre la herramienta tecnológica utilizada para la difusión del mensaje y la capacidad física del individuo o colectivo de utilizarla o acceder al mensaje con base en su condición especial, esto es por ejemplo, entidades especializadas que generan modelos predictivos y confiables, los cuales se presentan a través de mapas que son descargables en un sitio web, en este caso, una persona con discapacidad visual tendría limitantes obvias que hacen que requiera de un intermediario para acceder a la información.

2.3 Cálculo de la vulnerabilidad

Para cuantificar la vulnerabilidad se hizo uso de los valores obtenidos en el procesamiento de la entrevista estructurada y el cálculo de las limitantes anteriormente expuestas. En la Tabla 2 se presenta el resumen de las variables utilizadas. Estas constantes se obtuvieron procesando información de diferentes fuentes, tanto documentales como de revisión directa, por parte de los autores y se trata de un trabajo realizado en la fase inicial de la investigación.

Tabla 2. Parámetros e Indicadores utilizados para el cálculo de la Vulnerabilidad

ID (F)	Parámetro o Índice	Cálculo (Fila ID)	Limitante
1	Fenómenos que afectan la sociedad	Por entrevistado	Políticas
2	Fenómenos naturales monitoreados	Constante = 18 *	Políticas
3	Índice de exposición	F1 / F2	Políticas
4	Número de alertas recibidas	Por entrevistado	Políticas
5	Número de alertas en el sistema	Constante = 38 *	Políticas
6	Índice de información	F4 / F5	Políticas
7	Limitantes políticas	(F3*0,5) + (F6*0,5)	Políticas
8	Nivel académico	1. Primaria: 0,2 2. Secundaria: 0,4 3. Técnica o Tecnológica: 0,6 4. Universitaria pregrado: 0,8 5. Universitaria posgrado: 1,0	Académicas
9	Número de capacitaciones en fenómenos naturales	Por entrevistado	Académicas
10	Índice de capacitación	F9 / F2	Académicas
11	Número de medios con acceso	Por entrevistado	Académicas
12	Número de medios de difusión	Constante = 13 *	Académicas
13	Índice de acceso	F11 / F12	Académicas
14	Σ Ponderación de manejo de medios	Por entrevistado	Académicas
15	Σ Valoración máxima de uso de medios	Por entrevistado	Académicas
16	Índice de manejo de medios	F14 / F15 1. No tiene acceso: 0,0 2. Mala habilidad: 0,2 3. Regular habilidad: 0,6 4. Buena habilidad: 1,0	Académicas
17	Limitantes académicas	(F8*0,15) + (F10*0,20) + (F13*0,35) + (F15*0,30)	Académicas
18	Estado laboral	1. No labora: 0,5 2. Si labora: 1,0	Económicas
19	Medios de comunicación que paga	Por entrevistado	Económicas
20	Medios de comunicación que requieren pago	Constante = 9	Económicas
21	Índice de pago de medios	F19 / F20	Económicas
22	Índice de asignación presupuestal	Por entrevistado 1. No destina presupuesto: 0,0 2. Destina entre el 1 y el 10%; 0,4 3. Destina entre el 10 y el 30%; 0,7 4. Destina más del 30%; 1,0	Económicas
23	Limitantes económicas	(F18*0,20) + (F21*0,50) + (F22*0,30)	Económicas
24	Medios de comunicación sin restricción física	Por entrevistado	Físicas
25	Índice de restricción de acceso a medios	F24 / F12	Físicas
26	Formatos sin restricción física	Por entrevistado	Físicas
27	Número de formatos utilizados en la generación de alertas	Constante = 5 *	Físicas
28	Índice de restricción de comprensión de formatos	F26 / F27	Físicas
29	Limitantes físicas	(F25*0,50) + (F28*0,50)	Físicas
30	Vulnerabilidad	(F7*0,25) + (F17*0,25) + (F23*0,25) + (F28*0,25)	N/A
31	Categoría de vulnerabilidad	Alta: >= 0,00 y <0,50 Media: >= 0,50 y <=0,75 Baja: >= 0,75 y <=1,00	N/A

2.4 Desarrollo cuantitativo del modelo propuesto

Con base en el modelo propuesto, se establecieron los valores constantes (Ej.: Número de Formatos Utilizados en Generación de Alertas = 5 obtenidos de una revisión detallada de los productos generados por el SNGRD de Colombia), por otra parte, se dispuso de la condición específica de diversos habitantes de zonas en riesgo, para obtener esta información, la entrevista aplicada incluyó preguntas en diversas temáticas acordes al modelo en estudio. La captura de información en campo se llevó a cabo durante 17 semanas.

Cuando la información estuvo validada, se incorporó al software IBM SPSS Statistics v23, debido a que no fue posible establecer un comportamiento normal para las variables se aplicaron pruebas no paramétricas.

Moore (2005) indica que *son pruebas que pueden sustituir las pruebas t y el análisis de la varianza de un factor cuando no se cumplen los supuestos de normalidad*. Dado que el objetivo principal se centró en establecer cuál de las limitantes es la que mayor incidencia presenta en la vulnerabilidad de la población, Marqués (2014) sugiere el uso de técnicas asociadas a la minería de datos ya que las limitantes se presentan equilibradas y se procura la búsqueda de patrones que expliquen cuando los entrevistados han sido clasificados como de vulnerabilidad baja, media o alta.

Se utilizaron modelos de redes neuronales (perceptrón multicapa) y redes bayesianas mediante las cuales fue posible obtener, en función de la variable objetivo (vulnerabilidad), la importancia de los predictores, se configuró la partición de datos para utilizar un 75% como entrenamiento y el 25% restante como validación o prueba. El uso de redes bayesianas se propuso porque permiten modelar un fenómeno mediante un conjunto de variables y las relaciones de dependencia entre ellas, además de dar información respecto a cómo se relacionan, pudiendo ser interpretadas en ocasiones como relaciones causa-efecto (Sucar, 2015).

Las redes neuronales se utilizaron para aprovechar el intercambio de datos o información que se utiliza para reconocer patrones, incluyendo imágenes, manuscritos y secuencias de tiempo a partir de tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial (Matich, 2001), gracias a la capacidad de aprendizaje, permiten descubrir relaciones complejas entre variables sin ninguna intervención externa Marqués (2014), y autores como Garson (1991) manifiestan que se evidencia una aparente superioridad de estos métodos no paramétricos respecto de las técnicas estadísticas convencionales.

2.5 Desarrollo del modelo conceptual propuesto

Este apartado surge de la necesidad de gestionar la información de modo tal que no solamente permita observar la relación entre los componentes del sistema sino además poder generar prospectiva con los datos y crear escenarios en los cuales se vea reflejada la respuesta a las intervenciones propuestas para reducir el problema en estudio. Huapaya et al. (2015) proponen que *los modelos conceptuales ... proveen un medio para capturar y representar el conocimiento y es especialmente efectivo para representar la organización que el estudiante posee entre los conceptos*. Por otra parte, Parush (2015) justifica su uso por ser una técnica compatible con el desempeño humano en los procesos de análisis de información, *hay una fuerte conexión entre la actuación humana y la facilidad de uso de los modelos conceptuales*.

Utilizando el software Vensim se realizó el modelado de las diferentes variables, incluyendo aquellos parámetros susceptibles de intervenir para establecer una propuesta de plan de acción que permita reducir la vulnerabilidad. Los valores ingresados para el punto de partida del modelo fueron las medianas de cada uno de los parámetros y limitantes. Para el cálculo de la vulnerabilidad, a las cuatro limitantes se les asignó la misma ponderación (0.25) y se estableció su rango de valores entre cero (0) y uno (1).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Medidas de dispersión de las limitantes y vulnerabilidad de la población

Como se puede observar en la Figura 2, las limitantes políticas son las de menor dispersión (con excepción de las limitantes físicas que tienen un comportamiento diferente), el valor medio fue de 0.2109 y es posible manifestar, que a pesar de existir un trabajo serio por parte del gobierno en el tema del monitoreo y seguimiento de los fenómenos naturales, la sociedad no está siendo correctamente informada, lo anterior, debido al bajo número de alertas que recibe, el cual es el indicador que hace descender notoriamente el cálculo en las limitantes políticas, situación que se muestra concordante con lo que expresa Huerta y Domínguez (2016), indicando que *no se considera explícitamente el efecto que producen las políticas obtenidas en el riesgo de inundaciones aguas abajo*, con lo cual se reduce la cantidad de información que potencialmente puede ser una fuente de alertas para la sociedad, incrementando así la vulnerabilidad.

Si de cada estudio técnico se utiliza aquella información que es susceptible de ser utilizada para la generación de alertas, en el nivel primario o mediante post-procesamiento, es posible disponer de datos extras que facilite la toma de decisiones, tal como lo expresa Galván et al. (2010) cuando indican que *el*

editor desea agregar más granularidad de datos al servicio de alerta ... para que así el suscriptor pueda tomar ventaja utilizando la información contenida en los extra parámetros difundidos. Igualmente, esto es concordante con lo expresado por Barrantes y Márquez (2011) cuando manifiesta que *la vulnerabilidad es incrementada por la poca capacidad de respuesta y de prevención que suelen presentar los gobiernos de los países en vías de desarrollo*. Una situación similar la plantean Freire y Natenzon (2013) manifestando que *la vulnerabilidad social está involucrada con las condiciones políticas a que los pueblos tengan derechos a decidir acerca de su vida con el mayor conocimiento posible de los riesgos presentes y futuros*.

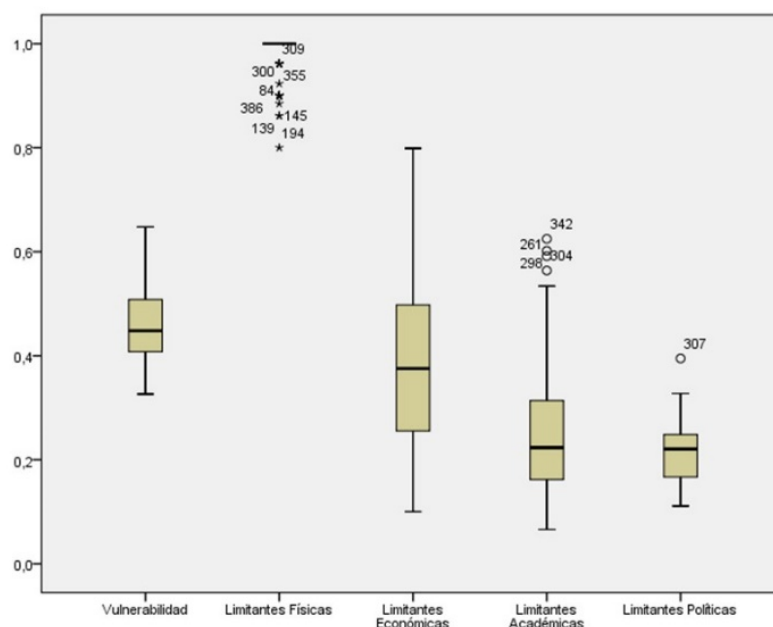


Figura 2. Resultado del cálculo para las limitantes y la vulnerabilidad

Respecto de las limitantes académicas, el valor medio obtenido fue de 0.2462, lo cual deja ver que la sociedad no cuenta con medios ni competencias avanzadas en cuanto a acceso a medios de comunicación y su respectivo manejo, parámetros que son los de mayor ponderación en la propuesta. Con dicho valor, se apoya lo expresado por Barrantes y Márquez (2011) indicando que *las personas en los países pobres carecen de educación y de tiempo para dedicar a las acciones de preparación y de los recursos para recuperarse después de un desastre*, aspecto que también trata Sarli (2005) cuando expresa que se requiere que la población expuesta tenga acceso a *la difusión de información, transferencia de conocimientos y asistencia técnica sobre materiales, componentes y tecnologías ... de manera tal que les permitan mejorar la capacidad de resistencia*.

Para las limitantes económicas se obtuvo un valor medio obtenido de 0.3843, con lo cual se puede deducir que la sociedad no tiene garantizado el acceso a todos los medios de comunicación y explícitamente a servicios como internet. Este factor puede presentarse como un serio inconveniente debido a que la mayoría de las alertas generadas en el sistema tienen este medio de difusión como el de mayor preferencia.

3.2 Limitante de mayor incidencia en la vulnerabilidad de la población

Para determinar cuál de las limitantes es la de mayor incidencia en el cálculo de la vulnerabilidad, se hizo uso de una herramienta que incorpora el software IBM SPSS Modeler denominada *Importancia del Predictor*, que presenta en una escala de 0 a 1 cuál variable es la más influyente en el cálculo del objetivo. La Figura 3(a) muestra la importancia de los predictores en la estimación de la red neuronal, la precisión de este modelo fue del 99.3%. Se encontró que la limitante más incidente es la de tipo económico.

Este aspecto es tratado por diversos autores, quienes expresan la debilidad económica como un factor de alto riesgo, por ejemplo cuando el BID (BID, 2001) indica que *hay ausencias de opciones para los más pobres, lo que los hace aún más vulnerables ... y se deben hacer estudios de la influencia de los factores económicos y actividades productivas de la dinámica social que generan y propagan la vulnerabilidad*.

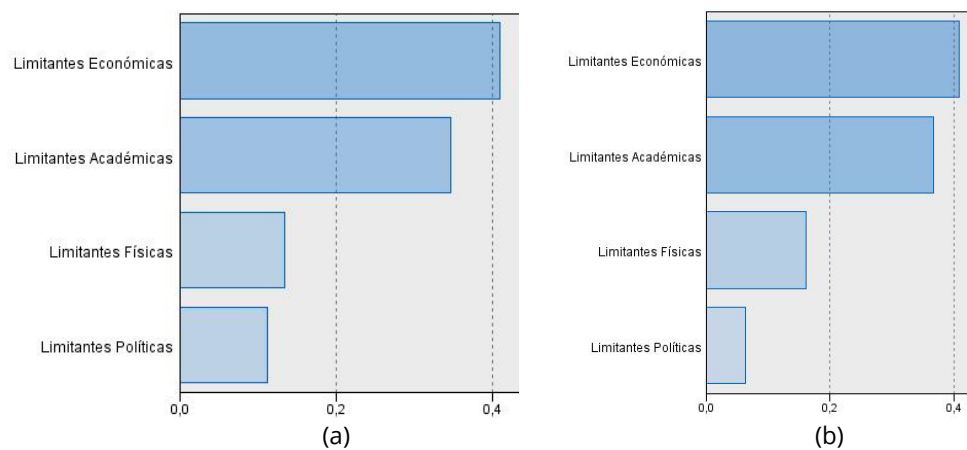


Figura 3. Importancia de los predictores para el modelo de Red Neuronal y Bayesiana

En lo referente a las limitantes físicas, el valor es muy homogéneo, y como conclusión preliminar, puede establecerse que la gran mayoría de población entrevistada no presenta limitaciones físicas, ni en el acceso ni en la comprensión que le impidan acceder a la información generada como alertas ante fenómenos naturales.

Como se observa en la Tabla 3, el 70.9% de la población entrevistada se encuentra clasificada como de vulnerabilidad alta ante los fenómenos naturales, solamente un 29.1% de la población se categoriza como de media vulnerabilidad y no se encuentra ningún entrevistado que se clasifique como de baja vulnerabilidad. Esta categorización se realiza para facilitar la lectura del valor de vulnerabilidad calculado y surge desde la definición de los indicadores, que fueron concebidos a partir de parámetros de cumplimiento, donde el número más cercano a uno (1) indica que el entrevistado, por ejemplo, accedía a más medios, o asignaba más presupuesto, o tenía mayor nivel académico, por este motivo, para la vulnerabilidad, los valores cercanos a uno (1) implican un mayor nivel de protección, y por este motivo se considera como baja.

Tabla 3. Análisis de frecuencias para la categorización de la Vulnerabilidad

		Rango	Frecuencia	Porcentaje
Válido	Alta	≥ 0.00 y < 0.50	275	70.9
	Media	≥ 0.50 y ≤ 0.75	113	29.1
	Baja	≥ 0.75 y ≤ 1.00	0	0
	Total		388	100.0

Cambiando el nodo de análisis a una red bayesiana y ejecutando el modelo, el cual obtuvo una precisión del 96.03%, respetando los porcentajes de entrenamiento y predicción para poder comparar los resultados, se encontró nuevamente que las limitantes más influyentes para la sociedad son las de tipo económico (figura 3b) y por consiguiente donde, en teoría, se deberían enfocar los esfuerzos para reducir la vulnerabilidad, pero que en la práctica no deja mucho campo para la intervención. Por este motivo, a continuación, se propone alternativas para reducir la vulnerabilidad de la sociedad.

4. PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Una de las utilidades de un modelo conceptual es poder evaluar su comportamiento ante el cambio en los valores de sus parámetros. Aprovechando esta condición, se realizaron algunos ajustes en los valores de aquellos parámetros que sean más propensos de intervenir y se determinó el aumento en el valor final de la vulnerabilidad (Figuras 4 a y b), comparándolo con el valor obtenido en la presente investigación, el cual fue de 0.460148 en promedio para la población. Este tipo de simulaciones las justifica Ibararán et al. (2014) indicando que *el ejercicio de simulación tiene por objeto calcular el cambio en el índice de vulnerabilidad ante un cambio en cada uno de sus componentes* y apoya su realización con miras a la mejora de las limitantes políticas cuando expresa que *tales resultados son relevantes para el análisis de las políticas públicas y su fortalecimiento al identificar los rendimientos de una mejora en las variables claves causantes de la vulnerabilidad ante los eventos naturales*.

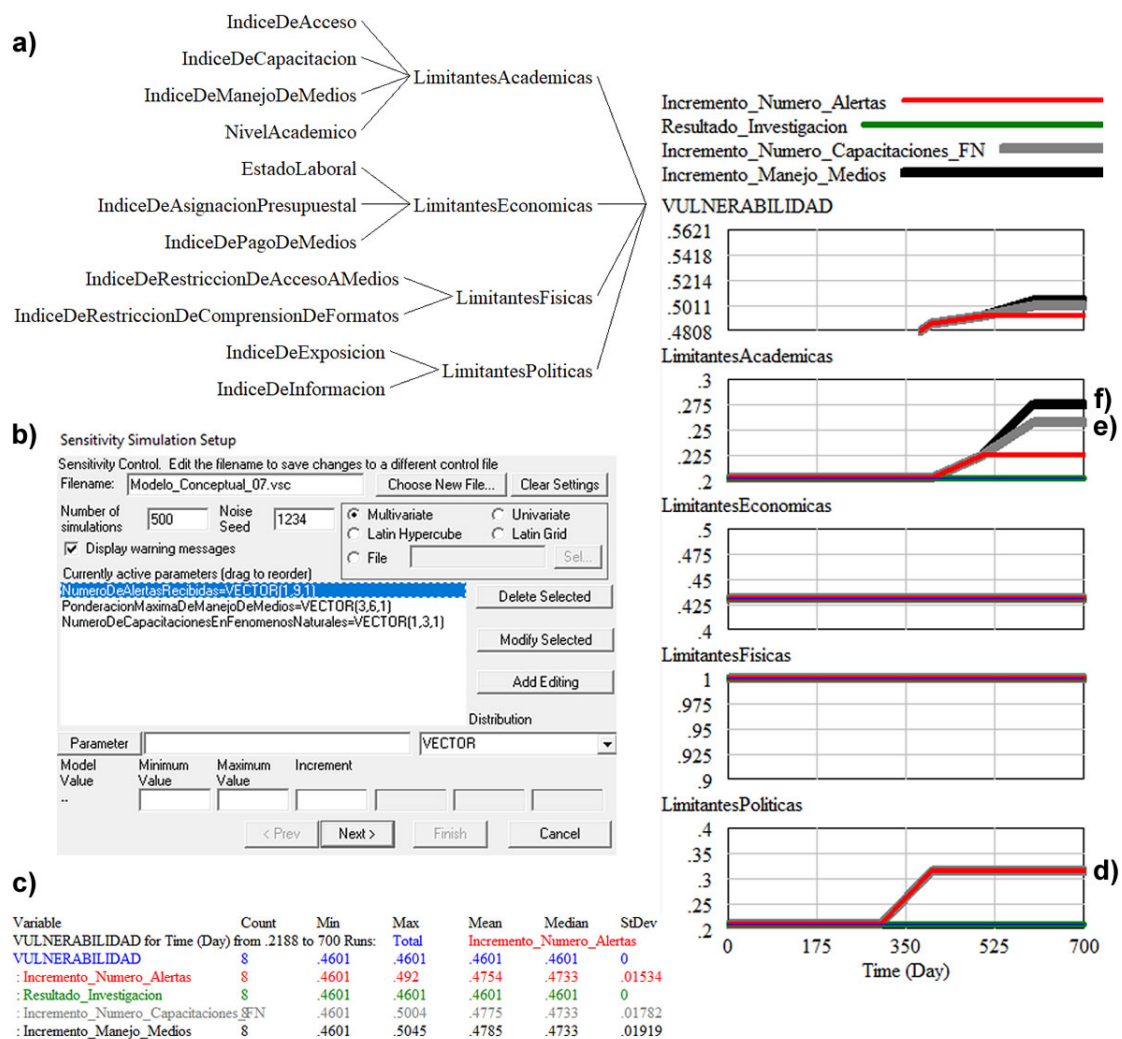


Figura 4. Comportamiento de las limitantes y la vulnerabilidad en diferentes escenarios

- *Incremento del número de alertas recibidas.* En el modelo inicial se estableció este valor en 1 para la primera fase del análisis, se propone que se incremente a 9 alertas (de 38 que fueron evidenciadas, esto es, asegurar al menos la recepción de la cuarta parte de la información generada en el sistema), para facilitar la visualización de dicho incremento, se configuró para que el cambio se realizara a los 365 días, estimando un tiempo adecuado para la fase de desarrollo de una posible solución que permita alcanzar este objetivo. Programando este ajuste en el software Vensim y ejecutando el modelo, se evidencia un incremento pasando de 0.460148 a 0.486464 unidades de vulnerabilidad (Figura 4d).
- *Incremento en el número de capacitaciones en fenómenos naturales.* Para seguir reduciendo la vulnerabilidad de la sociedad ante los fenómenos naturales, se propone que se incremente el número de capacitaciones recibidas acerca de la temática en estudio, el análisis inicial arrojado por los resultados del instrumento permitió establecer que cada entrevistado ha recibido una sola sesión de capacitación, por esto se propone que se garanticen por los menos 3 jornadas donde pueda generarse mayor conciencia acerca de los peligros naturales a los que se está expuesto. Una vez se ejecuta el modelo, se obtiene un nuevo valor de 0.49202 que se acerca aún más al 50% establecido como meta (Figura 4e).
- *Incremento de la ponderación máxima del manejo de medios.* Este parámetro que está asociado a la capacidad del entrevistado en el manejo de los diversos medios de comunicación, es otro de los factores que es susceptible de ser intervenido para reducir la vulnerabilidad de la sociedad. Su valor original inició en 3 y podría llegar hasta 13, se propone que se incremente mediante diversas capacitaciones en el manejo de estos recursos hasta lograr un valor de 6, que equivale a asegurar que la población puede manejar fluidamente el 50% de las tecnologías por las que se difunde los diversos mensajes de alerta. El resultado de la ejecución de este nuevo modelo da como resultado un valor de 0.50452 (Figura 4f).

En la Figura 4c se evidencia el comportamiento que tienen las diferentes limitantes propuestas, así como el impacto que tienen finalmente en el cálculo de la vulnerabilidad. Se puede observar que, al intervenir en los parámetros asociados a las limitantes académicas y políticas, es posible lograr que el nivel de vulnerabilidad de la sociedad ante los fenómenos naturales sea más favorable mediante la implementación de estrategias sencillas. A pesar que las limitantes económicas se determinaron como las más influyentes, no se ha propuesto la intervención en sus componentes debido a la dificultad de implementación.

5. CONCLUSIONES

A pesar de que las definiciones encontradas asociadas a la vulnerabilidad cobijan muchos aspectos del comportamiento social, en la literatura revisada no se encontró, de modo específico, que la falta de acceso a la información sea una condición que pueda ser considerada un factor de riesgo. Se encuentran diversos conceptos que mencionan la necesidad de difundir la información preventiva pero no se tratan a fondo los aspectos técnicos que se involucran en el proceso de comunicación que debe entablarse con todos los habitantes expuestos.

No son las limitantes académicas las que más inciden en la vulnerabilidad de la población, son las limitantes económicas, a esta conclusión se ha llegado después de generar de manera independiente los modelos de análisis por redes neuronales y redes bayesianas. La explicación de este comportamiento puede estar asociado a que la mayoría de alertas publicadas en el sistema utilizan como base principal internet, que es un medio al que se requiere contar con disponibilidad económica para su acceso y así poder estar informado de manera permanente. Se ha establecido que la sociedad en general no destina una parte significativa de su presupuesto para acceder a los medios de comunicación.

Respecto de las limitantes económicas, la principal causa parece apuntar a la necesidad de recursos para la compra o alquiler de tecnología que le permita acceder a la red internet y obtener la información de interés. Aunque existe un programa del gobierno que busca masificar el acceso y uso de internet en zonas urbanas y rurales (Proyecto Vive Digital), donde el potencial receptor de la información podría acceder gratuitamente a internet, persiste la necesidad de recursos para el desplazamiento de la persona hasta el sitio de acceso, así como el tiempo requerido para hacer dicho desplazamiento.

En los dos modelos desarrollados, el segundo parámetro de importancia se encuentra en las limitantes de tipo académico, con esta afirmación se propone que para disminuir el nivel de riesgo de la sociedad se requiere seguir trabajando en la capacitación de la sociedad acerca de la temática investigada, en el fomento de la educación avanzada y en el uso de medios de comunicación enfocados a su protección. Una alternativa de acción es fomentar dicha capacitación dentro del programa de Proyectos Ambientales Escolares que por ley deben implementarse en todas las escuelas y colegios.

A partir del máximo valor obtenido (0.50452, Figura 4c) mediante la intervención en tres de los parámetros del modelo, se establece que es posible incidir directamente en la vulnerabilidad, mediante la actuación en diversos escenarios, para lograr que la sociedad reduzca su nivel de riesgo. No se ha propuesto una actuación en las limitantes económicas, ya que involucra parámetros de difícil intervención debido a su naturaleza, es decir, desde el punto de vista de una posible solución no es viable asegurar que la sociedad cuente con acceso a trabajo, o que destine un mayor presupuesto para el acceso a medios de comunicación.

En la propuesta de mejora planteada se ha mejorado el estado asociado a la vulnerabilidad de la sociedad con la aplicación de las siguientes acciones: 1) Estado actual estimado = 0.460148, 2) + Incremento en el Número de Alertas Recibidas (1→9) = 0.486464, 3) + Incremento en el Número de Capacitaciones en Fenómenos Naturales (1→3) = 0.49202, y 4) + Incremento en la Ponderación de Uso de Medios (3→6) = 0.50452.

Es importante dejar claro que la mejora en la vulnerabilidad queda sujeta a la realización de las tres propuestas anteriores, no se considera necesario efectuarlas en el mismo orden ni en los tiempos propuestos, pero sí en cuanto a la cantidad de acciones indicadas para cada una. Una vez se alcance el valor correspondiente al 50% igualmente se podría ver incrementada la posibilidad que con la retransmisión de

información apoyada en las redes de comunicación personales y/o laborales, las alertas se difundan entre la población, ayudando, por consiguiente, a la reducción de la vulnerabilidad en un porcentaje mayor.

REFERENCIAS

- Banco Mundial, Yamin, L., Ghesquiere, F., Cardona, O. y Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia*. Banco Mundial.
- Barrantes, G. y Márquez, R. (2011). De la atención del desastre a la gestión del riesgo: Una visión desde la geografía. *Revista Geográfica de América Central* 2(47), 15–38.
- BID. (2001). *Un tema del desarrollo: La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cejudo, G. y Michel, C. (2016). Coherencia y políticas públicas. Metas, instrumentos y poblaciones objetivo / Public Policies and Policy Coherence: Goals, Instruments and Target Populations. *Gestión y Política Pública* 25(1), 3–31.
- Freire, N. y Natenzon, C. (2013). Vulnerabilidad social, inundaciones catastróficas y geo-tecnologías en regiones subdesarrolladas. Riesgo e Incertidumbres en el Litoral Norte de la Provincia de Alagoas – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6(5), 1227–1315.
- Galván, I., Santos, M. y Perez, J. A. (2010). Generic Model to Send Secure Alerts for Utility Companies. *Ingeniería. Investigación y Tecnología* XI(2), 217–231.
- Garson, G. (1991). A Comparison of neural network and expert systems algorithms with common multivariate procedures for analysis of social science data. *Social Science Computer Review* 9(3), 399–434.
- Huapaya, C., Lizarralde, F. y Vivas, J. (2015). Modelo para visualizar y evaluar el conocimiento conceptual. *TE y ET: Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología* 15, 14–24.
- Huerta, S. F. y Domínguez, R. (2016). Metodología para la estimación del riesgo aguas abajo de una presa en función de las políticas de operación a largo plazo. *Ingeniería. Investigación y Tecnología* XVII(3), 343–356.
- Ibarrarán, M., Reyes, M. y Altamirano, A. (2014). *Medición de la vulnerabilidad ante desastres hidrometeorológicos extremos*. Universidad Iberoamericana Puebla.
- Iberico, A. A. (2011). Aproximación teórica a las bases de una estrategia tecnológica orientada a la reducción del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe. *Interfases* (4), 105–140.
- Iglesia, J. y Coma, J. (2011). *Teoría de la comunicación de riesgo*. Editorial UOC.
- Instituto de Estudios Ambientales y Cardona, O. (2003). *La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Industrial*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Maass, S. (2015). Los sistemas municipales de información ambiental. Requerimientos y limitaciones para su puesta en marcha. *CIENCIA Ergo-Sum* 11(1), 85–94.
- Marqués, M. (2014). *Minería de datos a través de ejemplos*. RC Libros.
- Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Moore, D. S. (2005). *Estadística aplicada básica*. Antoni Bosch editor.
- ONU. (2005). *Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015*. Naciones Unidas.
- ONU. (2015). *Informe sobre Desarrollo Humano 2015*. Organización de las Naciones Unidas.
- Parush, A. (2015). *Conceptual Design for Interactive Systems: Designing for Performance and User Experience*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Peña, Y. y Cuervo, G. V. (2015). Hacia la construcción de conocimiento emergente para la gestión local del riesgo. *Cuadernos de geografía* 24(2), 15–34.
- Rosas, M. y Barrios, A. (2017). Comunicación de riesgo, cambio climático y crisis ambientales. *Communication of risk, climate change and environmental crises* 136, 179–194.
- Salgado, M., Coutiño, M., Giraldo, J. y Yory, F. (2018). Propuesta de una nueva definición de vulnerabilidad ante fenómenos naturales construida con soporte de análisis cualitativo. *Saber, Ciencia y Libertad* 13(1), 99–111.
- Salinas, A. (2006). *Tema 4: Métodos de muestreo*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sarli, A. (2005). Capacidad de resistencia. Vulnerabilidad y cultura de riesgos. *Espacio abierto* 14(2), 265–278.
- Soares, D. y Gutiérrez, I. (2017). Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: Un acercamiento al municipio de San Felipe, Costa de Yucatán. *CIENCIA ergo-sum* 18(3), 249–263.
- Sucar, L. E. (2015). *Probabilistic Graphical Models*. Springer.

Resiliencia de un territorio masewal en Cuetzalan del Progreso, México, ante la presión de urbanización

Jazmín Arias Hernández¹

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
México

Los pueblos originarios están sometidos a situaciones que amenazan todas las dimensiones ambientales de su territorio, desde los megaproyectos hasta eventos más sutiles, como la operación de comercios, que condicionan cambios en la cultura e identidad. Una de esas problemáticas es la presión de urbanización, que demanda bienes y servicios, característicos de las urbes, de territorios rurales habitados por pobladores originarios, conduciendo a la transformación física de los espacios, la mercantilización de la cultura local, el cambio en patrones de consumo y actividades económicas, y la pérdida de cohesión social e identidad. El municipio de Cuetzalan del Progreso, México, es un territorio eminentemente masewal, en el que la presión de urbanización ha sido motivada principalmente por el crecimiento de la actividad turística, y se ha traducido en pérdida de la vocación agrícola, vanalización de las fiestas y rituales, conflictos sociales y cambios identitarios. Sin embargo, desde el propio territorio se ha propuesto mecanismos para garantizar la integralidad del territorio; por ello y con el propósito de valorar la resiliencia territorial ante la presión de urbanización, se realizó una investigación cuali-cuantitativa que permitiera reconocer el estado de las resiliencias ecosistémica, social y cultural. Los principales resultados indican que la resiliencia ecosistémica se encuentra en un punto de vulnerabilidad importante, debido al incremento en la deforestación y de construcciones para la actividad turística. En cuanto a la resiliencia social, el despoblamiento de algunas localidades y la concentración poblacional en otras refleja una baja capacidad de adaptación social, sin embargo, hay gran interés de las organizaciones sociales en construir estrategias de resistencia y re-existencia. Finalmente, y a pesar de los embates de la modernidad, el territorio exhibe un importante grado de resiliencia cultural, reflejado en la persistencia y recuperación de rasgos originarios identitarios.

¹ Contacto: jariash@unal.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La presión de urbanización hace referencia a la relación entre las demandas urbanas y los bienes y servicios rurales (Csurgó, 2004), es decir, es la presión ejercida sobre los territorios rurales por parte de nuevos residentes, en procura de satisfacer sus necesidades de vivienda (primera o segunda), nuevas actividades económicas que demandan espacios para sus establecimientos, nuevos medios de transporte para desplazarse y áreas para ubicarse y turistas y excursionistas que solicitan prestación de diversos servicios; y si bien los nuevos habitantes y los turistas dinamizan la dinámica local, todas las demandas de la presión de urbanización amenazan la calidad, cantidad e identidad de la ruralidad (Overbeek y Terluin, 2006). Un territorio sometido a presión de urbanización será entonces aquel que presente características ecosistémicas, socioeconómicas y culturales con estructuras típicamente rurales, pero que cada vez se moldea con mayor intensidad, por influencias y presiones urbanas.

Entre las situaciones que produce el fenómeno de la presión de urbanización, se encuentran las tensiones crónicas, características de espacios urbanos y que empiezan a presentarse en la ruralidad. Que hacen referencia a los factores permanentes o cíclicos que generan presión y debilitamiento de los sistemas que caracterizan a los lugares habitados, así como la calidad de vida, debido a carencias e inequidades tales como falta de ingresos, déficit de viviendas y servicios básicos, dificultades de movilidad, contaminación, violencia y desigualdad social, entre otras (Equipo de resiliencia, 2017; Lipp, 2018; Pini et al., 2018).

Esas dinámicas urbanas propician el consumismo bajo las lógicas del capitalismo (Galano, 2013) y fracturan, además, la conexión de los habitantes con la tierra y su producción, así como la relación (y la conciencia de la relación) de su vida con los ecosistemas que le circundan, e inserta a los territorios dentro de la globalización, debilitando los lazos locales que permitirían la construcción y sostenimiento de capacidades adaptativas territoriales (Yorque et al., 2002).

Las realidades rurales transformadas por la influencia e incidencia de lo urbano, ha dado lugar a las *nuevas ruralidades*, *nuevas relaciones campo-ciudad en donde los límites entre ambos ámbitos de la sociedad se desdibujan, sus interconexiones se multiplican, se confunden y se complejizan* (de Grammont, 2004). Aquí, las relaciones económicas, sociales y organizacionales se dinamizan y transforman en función de los nuevos procesos, en procura de ampliar los beneficiarios de políticas, programas y acciones (Cadena et al., 2018), considerando que las y los pobladores rurales, tienen *derecho a la ciudad* (Ginés y Querol, 2019).

Así, el propósito de llevar desarrollo a los territorios rurales (desarrollo entendido desde un punto de vista neoclásico y global), ha dado como resultado la generación de nuevas actividades para la producción de bienes y servicios asociados a la ruralidad, nuevas articulaciones entre sectores y niveles de ámbitos rurales, urbanos, públicos, privados, locales y globales (Cadena et al., 2018), nuevas relaciones sociales en donde la identidad (estilo de vida, inquietudes, vivencias y deseos) de las personas, especialmente las más jóvenes, deja de ser típicamente rural y se va haciendo más común al conjunto social (Ginés y Querol, 2019).

Y aunque la intención (al menos teórica) de construir nuevas ruralidades es que nuevos actores intervengan progresivamente con mayor frecuencia en el desarrollo rural, incluso desde su misma planeación, considerando elementos que rescaten lo tradicional de los territorios, las prácticas sostenibles y la conservación de la biodiversidad, la realidad evidencia que esos nuevos actores pertenecen a sectores privados con intereses económicos, que dejan de lado tales pretensiones (Cadena et al., 2018).

En el caso de Cuetzalan del Progreso, aunque es previsible que la presión de urbanización tenga efecto a nivel ecosistémico, modificando usos de suelo, propiciando infiltración de agua y transformando la cobertura y composición florística, es importante resaltar que es un territorio rural habitado por pobladoras y pobladores originarios, por lo que tendrá afectaciones a nivel social y cultural, pues se incorporan nuevos tenses y elementos que la población valorará para posteriormente implementar, hibridar o rechazar.

Este territorio se ve sometido a presión de urbanización debido a dos elementos, el crecimiento demográfico y el interés turístico. El crecimiento demográfico es un factor esperable, pues es una condición inevitable en las poblaciones humanas, demanda un incremento paulatino en viviendas e infraestructura

de servicios. La actividad turística por su parte ha venido aumentando cada vez más, debido a la inclusión del municipio en el Programa de Pueblos Mágicos en 2002 y al interés político por realizar una promoción agresiva como destino de interés para deportes de aventura, etno y ecoturismo.

Es principalmente el segundo elemento el que genera mayores problemáticas y conflictos ambientales en el territorio, pues es una actividad que lejos de regularse, se ha estimulado sin medidas adecuadas, provocando la proliferación de establecimientos y edificaciones orientadas a los turistas, que no se ciñen a las medidas contenidas en el documento de ordenamiento territorial del municipio. Ambos factores, sin embargo, han llevado al deterioro ecosistémico, principalmente de cuerpos de agua, así como a la transformación de las dinámicas sociales y de algunos usos y costumbres de la comunidad masewal.

Por otro lado, al parecer el concepto de resiliencia se empleó por primera vez en ingeniería mecánica hacia 1858, para referirse a la propiedad de los materiales de resistir y absorber la aplicación de cierta cantidad de fuerza (Sánchez et al., 2016). Posteriormente, fue retomado en el marco de la teoría general de sistemas (con primera aplicación descriptiva y analítica, en sistemas ecológicos), para referirse a la propiedad que tiene un sistema para persistir y mantener las relaciones funcionales entre sus partes, luego de absorber cambios y disturbios que modifican sus variables y parámetros (Holling, 1973), dependiendo de las características intrínsecas del sistema, el ambiente en el que se desarrolla y la estructura política y social que le caracteriza (Holling et al., 2002).

En consecuencia, esta no es una propiedad aditiva de las partes, sino una propiedad emergente; esto significa que las interacciones y retroalimentaciones entre los elementos que constituyen un sistema, bajo unas condiciones contextuales particulares, dará como resultado cierto grado de resiliencia (Ambrosio, 2017), que podrán llevarlo a su persistencia o extinción, como posibilidades igualmente válidas, dentro de su proceso evolutivo (Gonçalves, 2018).

De los diferentes enfoques que giran alrededor de la resiliencia, el más completo es el evolutivo-adaptativo. En cuanto al rasgo evolutivo, se recalca que los cambios no son continuos sino episódicos; los atributos espaciales no son uniformes ni se mantienen constantes en diferentes escalas; las políticas administrativas deben ser flexibles y adaptables, dado que el futuro de los sistemas es incierto e impredecible y no existe un único estado de equilibrio, sino múltiples equilibrios que definen funcionalmente varios estados posibles; la estabilidad del sistema se entiende además, como la persistencia funcional. Por otro lado, la capacidad de adaptación se relaciona con el potencial de cambio, que determinará las opciones posibles; el grado de conectividad entre el control interno de variables y procesos, que afectará la sensibilidad ante factores externos y la vulnerabilidad ante disturbios impredecibles (Holling y Gunderson, 2002).

Desde una perspectiva espacial y bajo un enfoque pro-adaptabilidad evolutiva, un territorio resiliente será aquel que evolucione a partir de una amenaza, internalizándola, adaptándose a ella y robusteciéndose como resultado de la interacción (Gonçalves, 2018). Esta definición involucra aspectos ecosistémicos así como flexibilidad social para que el territorio efectivamente pueda hacer frente a las perturbaciones, adaptarse a ellas e innovar en las respuestas que pueden producirse (Holling, 2001); por lo tanto, es importante considerar elementos de organización social, aspectos culturales y determinantes políticos y económicos que moldean las dinámicas de cada espacio geográfico.

En relación con lo anterior, debe tenerse claro que más allá de la estructura biofísica, las interdependencias e interacciones entre individuos, grupos o comunidades a nivel material e inmaterial, son determinantes en la concepción de los territorios (Gonçalves, 2018) y por lo tanto, al considerar caminos para la construcción de propuestas que orienten los sistemas a ciclos de resiliencia, son necesarios los análisis complejos en los que se consideren las dinámicas intra e inter ecosistémicas, así como las sociales y culturales (Yorque et al., 2002). En consecuencia, debe asumirse la existencia de diferentes resiliencias territoriales puesto que los espacios urbanos y rurales, tanto entre ellos como hacia su interior, tienen características y realidades de dinámicas disímiles.

De los enfoques temáticos que se han venido trabajando sobre la resiliencia territorial, el socio-ecológico y el rural son los más pertinentes para el estudio realizado. El enfoque socio-ecológico integra componentes

ecológicos, políticos y sociales en las discusiones de resiliencia territorial, realizando aportes en torno a tres ejes: el alcance de propuestas de adaptación a corto plazo bajo perspectivas de sostenibilidad y protección, las implicaciones sociales de problemáticas multidimensionales en ambientes productivos y el impacto de la transformación paisajística en contextos sociales.

Con respecto al primer eje, se ha propuesto la consideración de la adaptación a transformaciones tanto humanas como socio-naturales, a partir de la integración de la gestión de recursos a políticas sectoriales y la propuesta de estrategias que orienten las actividades productivas a estados ecológicamente sostenibles (Romagosa et al., 2013).

Las implicaciones sociales de problemáticas multidimensionales en ambientes productivos se han enfocado al reconocimiento de los riesgos que enfrentan los productores, la determinación de la vulnerabilidad de los procesos productivos y la capacidad de respuesta; esto, con el propósito de realizar recomendaciones que permitan optimizar estos sistemas, bajo principios de sustentabilidad (Machado et al., 2018).

En cuanto al impacto de la transformación paisajística en contextos sociales, ha sido posible el análisis de los factores que perturban sistemas socio-ecológicos, resaltando no sólo el papel de la presión de urbanización y las actividades productivas, sino la manera en la que estos factores se vinculan y relacionan (p.ej. el vínculo entre agricultura y presión de urbanización), generando cambios dinámicos en el uso del suelo, según se va modificando la relación entre las actividades humanas (de la Torre, 2019). Adicionalmente, se ha evidenciado la relevancia de la organización de base territorial como vía para favorecer la cohesión social, como elemento que promueve la fortaleza de los sistemas socio-ecológicos, al pretender que el uso de los recursos se realice de la manera más responsable posible y se establezcan interconexiones con otros territorios (Henriques, 2016).

Debido a las particularidades en la estructura y dinámicas socio-culturales de esos territorios, la ruralidad ha sido foco de algunas reflexiones y estudios de resiliencia, así como la creciente vulnerabilidad a consecuencia de la modernidad (transformación de estructuras agrarias, acceso al mercado local y regional, adaptación de prácticas para el cambio climático, implementación de estrategias para darles mayor valor a los productos y búsqueda de recursos para el desarrollo) (Ambrosio, 2017; Cheshire et al., 2015).

En primera instancia, se ha puesto de manifiesto, la necesidad de considerar de manera integrada, los recursos territoriales, actores, acuerdos institucionales y dinámicas territoriales, de tal suerte que sea factible generar propuestas orientadas al diseño de políticas públicas rurales contextualizadas (Sánchez et al., 2016). Una de las estrategias que se han propuesto es la creación o modificación de sistemas de gobernanza, a partir de la endogenización de las fuentes de alteración. En estos sistemas se flexibiliza el uso o desuso de prácticas tradicionales, en función de su efectividad en su menor escala y se promueven las alianzas territoriales entre actores para el diseño y toma de decisiones (Ambrosio, 2017).

Por otro lado, la formulación de planes de desarrollo locales (incluyendo ordenamientos territoriales), gestados con la integración de procesos participativos, ha probado tener mayor viabilidad de implementación y sostenibilidad en el tiempo, lo que ha permitido la adaptación local ante cambios que se presentan a mayor escala (González, 2017). Asimismo, se ha identificado la importancia de considerar variables como tenencia de la tierra, inequidad social, pertenencia/identidad territorial y roles de género en la toma de decisiones, así como de incluir medidas multiescalares, con el propósito de proponer estrategias de resiliencia contextualizadas, tanto a las realidades rurales analizadas, como al factor disruptivo o modificador de las mismas (Argent, 2019).

Además, la identidad puede interpretarse como el sentido de pertenencia a un grupo social teniendo en cuenta la similitud social y cultural con otras personas y, por ende, la diferencia con personas de otros grupos sociales; de igual manera, existe un sentimiento de solidaridad que orienta las actitudes individuales a una convergencia de intereses a favor de la comunidad (Capello, 2018). Así, la identidad territorial puede definirse como *un grupo de condiciones socioeconómicas y culturales contextuales que permiten la convergencia de beneficios colectivos y particulares, alimentando el sentido de pertenencia y la lealtad a una comunidad* (Capello, 2018).

Dentro del pueblo masewal, la colectividad y el trabajo comunitario son rasgos característicos en los que se basa la construcción de gran parte de sus dinámicas socioculturales. Las festividades son clara evidencia de lo anterior, dado que estas se materializan gracias a las diferentes relaciones que se establecen al interior de la comunidad y a manera de retroalimentación, las celebraciones contribuyen al fortalecimiento de los vínculos entre la población (Herrera, 2018). El sistema de cargos y la mayordomía son de gran relevancia en el territorio y representan estatus social, pues se requiere una red consolidada de apoyo para costear los gastos que implican los cargos más altos; además, la organización de una fiesta conlleva al fortalecimiento del estatus comunal y su relación armónica con el cosmos (Zuckerhut, 2017).

Igualmente, el cultivo y transformación del maíz se constituyen en elementos que contribuyen a la configuración identitaria masewal, dado que consideran que la humanidad y el maíz tienen una esencia común y, por tanto, es necesario que quien lo cultiva, desarrolle actividades rituales y surta cierta preparación física y emocional para que este cereal se desarrolle apropiadamente; así, el consumo del maíz no sólo alimentará el cuerpo de las personas, sino también su alma (Zuckerhut, 2017).

Adicionalmente, en la identidad masewal es importante la consideración de la alteridad tanto física como espiritual o metafísica (Vélez, 1996; Zuckerhut, 2017), lo que se refleja por ejemplo en las actividades rituales, en las que se vincula el encuentro y la generación de otro espacio y tiempo, se construye socialmente la persona (Acosta, 2020) y se instaure la reciprocidad con seres naturales y sobrenaturales, con el fin de contribuir al bienestar y equilibrio del cosmos, la comunidad y la individualidad (Zuckerhut, 2017).

Sin embargo, el pueblo masewal se ha enfrentado a situaciones que han amenazado su identidad, como la pérdida importante de tierras sufrida en Cuetzalan del Progreso, Puebla, debido a la regulación liberal del mercado, aun así y usando este mismo recurso, se fomentó la escrituración de tierras a favor de la población originaria; esta es la razón por la que prima la propiedad privada sobre las tierras comunales (Gomes, 2020; Zuckerhut, 2017), lo que se evidencia en la pequeña propiedad dispersa por todo el territorio con una toponimia característicamente náhuatl² (Gomes, 2020). A pesar de las problemáticas que han amenazado la pervivencia cultural y territorial de la población originaria presente en el municipio de Cuetzalan del Progreso, la comunidad ha estructurado históricamente estrategias colectivas de resiliencia que les han permitido resistir los embates de la modernidad, adaptarse según sus propias visiones de mundo, evolucionar y re-existir.

2. MÉTODO

La valoración de la resiliencia territorial ante la presión urbanizadora se realizó a través de dos aproximaciones metodológicas. En la primera de ellas, se buscó verificar la implementación de las estrategias registradas en el instrumento de ordenamiento territorial (Ordenamiento Territorial Integral de Cuetzalan del Progreso OTIC), relacionadas con urbanización, a través de la revisión de documentación, observación directa en campo y conversaciones informales.

La segunda aproximación metodológica partió de variables seleccionadas para estimar la resiliencia actual del territorio en cada una de las dimensiones ambientales ante la presión de urbanización, seleccionando indicadores en cada una de ellas (Tabla 1).

Tabla 1. Operacionalización metodológica de variables

Variable	Indicador	Descripción	Técnica
Ecosistémica	Coberturas vegetales	Extracción de material vegetal	Revisión documental y conversaciones informales
	Uso del suelo	Perspectivas sobre usos del suelo	Conversaciones informales, entrevistas semiestructuradas, observación no participante
Social (comunitaria)	Poblamiento	Localidades en las que se concentra el crecimiento poblacional	Análisis espacial de la distribución de poblamiento y despoblamiento

² Variante del náhuatl de la región de Cuetzalan, en esta no se emplea la l final (González, 2020).

	Organizaciones sociales	Análisis de las líneas de acción de las organizaciones, su vinculación a los temas territoriales y su capacidad de incidencia	Análisis de actores
Cultural	Patrimonio cultural material e inmaterial	Estrategias de conservación del patrimonio cultural	Entrevistas semiestructuradas, observación participante
	Pertenencia territorial	Identidad y arraigo territorial	Entrevistas semiestructuradas

2.1 Variable ecosistémica

A través de esta variable, se pretendió determinar el estado de resiliencia ecosistémica teniendo en cuenta las afectaciones que podrían presentar a futuro. Para esto, se discutieron las características de los ecosistemas predominantes en el territorio, de acuerdo con revisión documental y la tendencia reciente de extracción de material vegetal, según información obtenida por medio de conversaciones informales en el Jardín Botánico Xoxoctic, con el Regidor de ecología del Ayuntamiento de Cuetzalan y habitantes del municipio. Lo anterior fue discutido, considerando las implicaciones que esto podría tener, a partir del estado actual del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado NVDI.

Asimismo, se consideró la tendencia de usos de suelo, a partir del estado actual, y la proyección de obras y actividades productivas en el municipio, teniendo en cuenta la información suministrada por habitantes a través de conversaciones informales y entrevistas semiestructuradas, así como la obtenida a través de observación natural (Bernal, 2010).

2.2 Variable social (comunitaria)

A través de esta variable, se pretendió valorar la resiliencia social (con énfasis en lo comunitario), a partir de una aproximación a dinámicas de poblamiento y organización social. Así, a partir de los datos abiertos del índice de marginación del Consejo Nacional de Población CONAPO, se elaboró la cartografía digital del municipio de Cuetzalan del Progreso para evidenciar las localidades que están sufriendo fenómenos de despoblamiento y aquellas en las que se está concentrando la población, analizando los efectos que esto puede tener en el territorio.

Por otra parte, se llevó a cabo un análisis de actores a través del modelo de poder e interés de Gardner (Acuña, 2012), teniendo en cuenta el quehacer de ocho actores que se enfocan en diversas líneas de acción en el territorio. Esto con el propósito de evidenciar el grado de incidencia de las organizaciones sociales en la construcción de resiliencia territorial.

2.3 Variable cultural

A través de esta variable y sin desconocer que la cultura es cambiante, se pretendió analizar la resiliencia de los territorios en cuanto a sus rasgos culturales e identitarios, con el fin de determinar la conservación de la cultura ante las transformaciones actuales y potenciales, relacionadas con la presión de urbanización.

Para ello, se realizaron entrevistas semiestructuradas (Bernal, 2010) que permitieran identificar los rasgos característicos de los pobladores y su sentido de pertenencia. Igualmente, a través de entrevistas semiestructuradas (Bernal, 2010) y observación participante, se buscó detectar las estrategias que la sociedad civil, los entes gubernamentales y las organizaciones sociales implementan para garantizar la conservación del patrimonio cultural material e inmaterial del territorio.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Ordenamiento Territorial Integral

El 3 de diciembre de 2010 se publicó en el Periódico Oficial del estado de Puebla la aprobación del Programa de Ordenamiento Territorial del municipio de Cuetzalan del Progreso, por parte del Ayuntamiento. Sobre el sustento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental LGEEPA y la Ley de Protección al

Ambiente Natural y Desarrollo Sustentable del estado de Puebla LPANDSEP. Este Programa de Ordenamiento Territorial (Ordenamiento Territorial Integral de Cuetzalan OTIC) proyecta la regulación del uso del suelo a través de criterios de regulación ecológica para doce sectores de actividad en el municipio; de ellos, cuatro están relacionados directamente con el desarrollo urbano (asentamientos humanos; industria, artesanías y comercio; infraestructura y servicio; turismo) (Gobierno del Estado de Puebla, 2010).

Adicionalmente, se propusieron nueve estrategias orientadas al mejoramiento o fortalecimiento de los aspectos sociales, económicos, culturales, productivos, ecosistémicos y de conocimiento de las características físico-bióticas del municipio (Gobierno del Estado de Puebla, 2010). En la Tabla 2 se presenta las estrategias contenidas en el OTIC que pueden orientarse de manera directa a la resiliencia del municipio ante la presión de urbanización.

Tabla 2. Estrategias y acciones del OTIC relacionadas con presión de urbanización

Estrategia	Acción
Conservación, manejo y uso sustentable de la biodiversidad local y aumento de la biomasa por unidad de producción	Elaborar un estudio dirigido a la identificación de las zonas de importancia histórica, cultural y natural, cuyos resultados deberán enfocarse a la promoción de actividades turísticas de bajo impacto
Manejo y mejoramiento de las microcuencas	Instalación del sistema de drenaje en juntas auxiliares y en la cabecera municipal
	Programa de infraestructura básica para la atención de los pueblos indígenas
	Construcción y rehabilitación de sistemas de agua potable y saneamiento en zonas rurales
Manejo y mejoramiento del suelo y vegetación	Desarrollo de sistemas agroforestales de propósito múltiple y conservación de la agrobiodiversidad cultural y local dentro de los sistemas productivos
	Estudios regionales para la recuperación del bosque mesófilo de montaña
Mejorar la calidad de vida de la población rural y campesina	Programa de mejoramiento de la vivienda rural
Turismo rural y ecológico respetuoso de la cultura local basado en premisas solidarias	Proyecto de turismo alternativo en zonas indígenas

Con el propósito de dar seguimiento al OTIC, vigilando el cumplimiento de las regulaciones allí contenidas, así como acompañar el desarrollo de las estrategias propuestas, se conformó el Comité de Ordenamiento Territorial Integral COTIC de acuerdo con las legislaciones en materia de ordenamiento territorial. Este es un colectivo estructurado en un órgano ejecutivo y un órgano técnico, en este comité hacen parte cerca de 86 organizaciones sociales del territorio (Ramírez, 2018), así como ciudadanas y ciudadanos no organizados y en el que se esperaría la participación activa de los tres órdenes de gobierno: Federal, estatal y municipal (Amaro, 2017); sin embargo, es importante referir el bajo o nulo interés de las autoridades municipales en involucrarse en las actividades relacionadas con el OTIC.

Cabe considerar por otra parte, que, si bien pueden evidenciarse las acciones del COTIC tanto en la práctica como en diversos documentos académicos y divulgativos publicados por diferentes personas y en diferentes momentos, desafortunadamente falta un ejercicio de sistematización y documentación con respecto al cumplimiento de los criterios de regulación ecológica y los avances de las estrategias propuestas desde la perspectiva y trabajo del COTIC. En ese último aparte, el presidente del órgano técnico refiere que todas las organizaciones participantes en el OTIC se comprometen a dar cumplimiento a los programas establecidos en su ámbito de competencia e interés y con base en el conocimiento que se tiene de sus acciones, afirma que se hay progresos en las estrategias propuestas, tal como se relaciona en la Tabla 3.

Tabla 3. Avances en las acciones relacionadas con la presión de urbanización.

Acción	Avance
Elaborar un estudio dirigido a la identificación de las zonas de importancia histórica, cultural y natural, cuyos resultados deberán enfocarse a la promoción de actividades turísticas de bajo impacto	Se conocen las zonas de importancia histórica, pero no se cuenta con registro documental. Se ha realizado capacitación y sensibilización a prestadores de servicios y guías.
Instalación del sistema de drenaje en juntas auxiliares y en la cabecera municipal	Se han realizado sistemas de drenaje a algunas comunidades, pero los sistemas no contemplan sistemas de tratamiento de aguas residuales.

	En 2013, se inició la instalación de biodigestores y biofiltros a familias en diferentes localidades, pero no se cuenta con registro documental. En 2020, el ayuntamiento inició un proyecto de saneamiento de aguas residuales en una comunidad.
Programa de infraestructura básica para la atención de los pueblos indígenas	Se han construido o rehabilitado las clínicas comunitarias y se han llevado a cabo campañas de salud sexual, reproductiva y derechos, entre otras.
Construcción y rehabilitación de sistemas de agua potable y saneamiento en zonas rurales	Se realizan regularmente faenas en las comunidades para dar mantenimiento a sistemas de agua potable (tres faenas por año). Se han construido nuevos sistemas de agua potable, pero al ser construidos por el municipio, el ayuntamiento ha buscado tener el control. Se han probado sistemas de captación de agua pluvial.
Desarrollo de sistemas agroforestales de propósito múltiple y conservación de la agrobiodiversidad cultural y local dentro de los sistemas productivos	La Unión de Cooperativas Tosepan promueve la producción orgánica de milpas y cafetales. Actualmente el programa federal <i>Sembrando vida</i> está apoyando la promoción de sistemas agroforestales y milpas intercaladas con árboles frutales. La sociedad de mujeres Maseual Sihamej Mosenyochicahuanij contempla fomentar la producción de milpas entre sus socias.
Estudios regionales para la recuperación del bosque mesófilo de montaña	Se desconocen avances en este tema. Sin embargo, existen algunos estudios de instituciones como la BUAP y UNAM, entre otras que han realizado observaciones en el mesófilo, en temas como diversidad y suelos.
Programa de mejoramiento de la vivienda rural	Ha habido programas de vivienda en las comunidades, pero que desafortunadamente obedecen más a propósitos políticos. La Unión de cooperativa Tosepan contempla la vivienda digna dentro de su plan de vida, permanente para familias socias.
Proyecto de turismo alternativo en zonas indígenas	Acciones desde las organizaciones Unión de cooperativas Tosepan, el Hotel Taselotzin, y la organización Tochan, quienes han fomentado el tema

De acuerdo con la revisión documental, las observaciones realizadas en campo, las entrevistas y las conversaciones informales, se verificaron algunas estrategias, así:

3.1.1 Elaborar un estudio dirigido a la identificación de las zonas de importancia histórica, cultural y natural, cuyos resultados deberán enfocarse a la promoción de actividades turísticas de bajo impacto

La administración municipal formuló un programa de desarrollo turístico con el propósito de proponer objetivos y líneas de acción que orienten a la actividad turística como eje de desarrollo y bienestar de las y los habitantes de Cuetzalan del Progreso. En este documento se presenta un diagnóstico del sector, se relacionan los atractivos turísticos (arquitectónicos, templos, arqueológico, culturales (artísticos), naturales, intangibles (festividades, danzas, tradiciones, música), gastronómicos y artesanales) y se proponen rutas turísticas para *detonar la inversión* turística en el municipio y que a la par, mejoren la infraestructura, protejan la biodiversidad y preserven el tejido social (Ayuntamiento de Cuetzalan del Progreso Puebla, 2018).

Este es documento oficial que relaciona de manera explícita y más completa, las zonas de relevancia turística y aunque menciona la importancia de minimizar las afectaciones ecosistémicas negativas, la necesidad de privilegiar la participación local y contribuir al desarrollo social, está lejos de promover actividades turísticas de bajo impacto pues se enfoca en la intensificación del turismo con énfasis en los aspectos económicos. Ello se refleja en los análisis FODA en los que se orientan a las demandas del mercado turístico global, más que en la vocación histórica y cultural del territorio; asimismo, las rutas propuestas se enfocan en la infraestructura necesaria para consolidarlas y presentarlas como oferta turística, pero no consideran estrategias de promoción económica asociada para las comunidades impactadas, su participación o inclusión en el desarrollo de los proyectos. En suma, el documento presentado por el Ayuntamiento de Cuetzalan del Progreso realmente parece tener una connotación de plan de inversión y no de programa municipal de desarrollo turístico.

Esta desconexión entre las propuestas del programa municipal de desarrollo turístico con los objetivos que el mismo documento plantea es consecuencia de diagnósticos, reflexiones y propuestas desde un punto de vista administrativo en el que no se realiza una construcción colectiva con la comunidad asociada a la prestación de servicios turísticos y la población que potencialmente podría incluirse o verse favorecida con ellos. El discurso oficial de la administración y sus prácticas no son consecuentes ni coherentes.

3.1.2 Instalación del sistema de drenaje en juntas auxiliares y en la cabecera municipal

Las administraciones municipales han venido realizando obras hidráulicas de sistema de drenajes. Asimismo, ha instalado biodigestores y cisternas en algunos hogares, al igual que la Unión de Cooperativas Tosepan. Sin embargo, y tal como lo expresa el presidente del órgano técnico del COTIC, no se encuentran documentos que den cuenta de la magnitud de las obras, sus características técnicas e impacto ecológico y social.

3.1.3 Programa de infraestructura básica para la atención de los pueblos indígenas

No se evidenció infraestructura orientada específicamente a la población originaria más allá del Hospital Integral con Medicina Tradicional, que funciona como hospital mixto desde 1990 (Duarte et al., 2004) aun con las dificultades para operar como centro de salud realmente intercultural. Cabe mencionar que debido a las medidas de la administración municipal para hacer frente a la contingencia por la pandemia de COVID-19, la sección de medicina tradicional suspendió indefinidamente sus actividades.

3.1.4 Desarrollo de sistemas agroforestales de propósito múltiple y conservación de la agrobiodiversidad cultural y local dentro de los sistemas productivos

El programa federal *Sembrando vida* ha tenido un impacto significativo en la recuperación de la vocación agrícola del municipio, vinculando a habitantes de varias comunidades en la plantación de especies ligadas a la tradición local, bajo principios y acompañamiento técnico que permita la producción tanto de subsistencia, como para comercialización. Igualmente, se evidencian esfuerzos de organizaciones como la Unión de Cooperativas Tosepan y Tochan A.C. por fomentar la producción orgánica y recuperar los traspatios, respectivamente.

3.1.5 Programa de mejoramiento de la vivienda rural

Como parte de estrategias de la administración municipal, se evidencia el mejoramiento de algunas viviendas con los programas de *Piso firme* y *Techo digno* que tienen una connotación general en la República y no obedecen a los contextos particulares del territorio. La Unión de Cooperativas Tosepan por su parte, promueve otras alternativas a la vivienda digna, pero además sostenible y territorialmente contextualizada, tales como la implementación de biodigestores, cisternas, estufas ecológicas, sistemas de aprovechamiento del agua pluvial, generación eléctrica a partir de la energía solar o eólica y aprovechamiento de los traspatios (Cobo et al., 2018).

3.2 Resiliencia territorial ante la presión de urbanización

3.2.1 Resiliencia ecosistémica

Uno de los rasgos ecosistémicos característicos del municipio de Cuetzalan del Progreso es la presencia del bosque de niebla o bosque mesófilo de montaña. Este ecosistema se caracteriza por una alta disponibilidad de agua proveniente tanto de lluvias como de niebla y en consecuencia, por una alta humedad relativa, adicionalmente, cuenta con una elevada especialización de plantas y animales; sus principales amenazas son la agricultura, la expansión urbana y la explotación forestal (Krasilnikov, 2019).

Tal como se aprecia en la Figura 1, en los últimos 20 años el valor más bajo de NVDI en Cuetzalan del Progreso mejoró, lo que puede vincularse con una reducción en la actividad ganadera y posterior reforestación (natural y artificial) o reconversión productiva de los predios empleados para tal fin. Sin embargo, el valor mayor de NVDI disminuyó, lo que evidencia que, si bien pudieron reducirse las zonas con pobre cobertura vegetal, el estado de la vegetación o de su densidad se redujo un poco; esto podría tener relación con el aumento de extracción de pesma o pezmo (helecho arbóreo de seis especies presentes en el municipio, pertenecientes a la familia Cyatheaceae) para elaboración de artesanías con los pelos de sus tallos debido al incremento del turismo, así como a la extracción de madera para comercialización. Por otro lado, los valores más bajos de NVDI (zonas más claras) corresponden justamente a los polígonos de las

áreas urbanizadas, lo cual es consistente con la densificación de estructuras urbanas que se ha venido presentando con el tiempo.

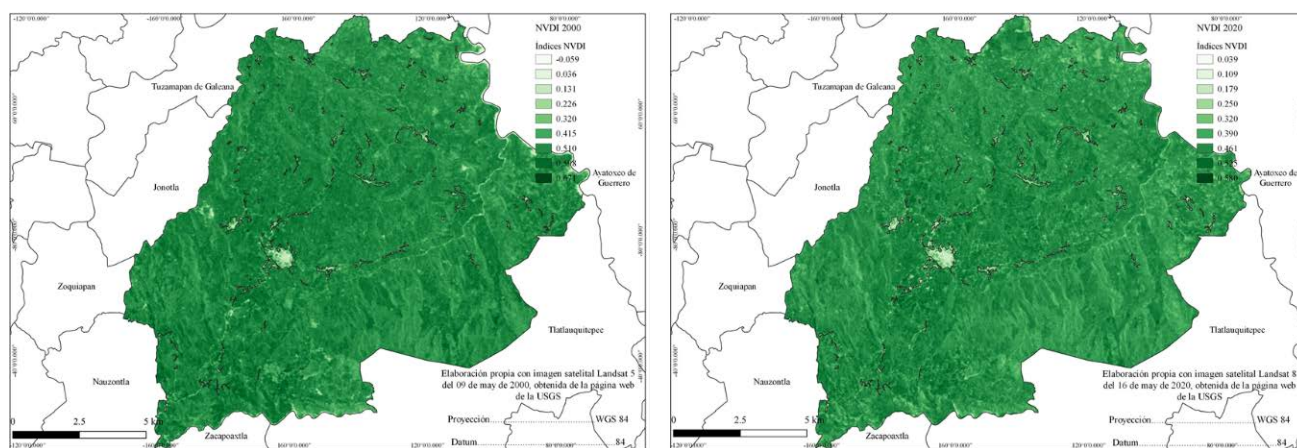


Figura 1. Mapas de NDVI para Cuetzalan del Progreso, año 2000 y 2020

Por otro lado, los usos de suelo actuales (Figura 2) muestran una tendencia al incremento de deforestación e instalación de infraestructura asociada a servicios turísticos, especialmente para hospedaje, provocando la fragmentación de los ecosistemas presentes en el territorio (bosque mesófilo de montaña/bosque de niebla y selva alta perennifolia). Las áreas más cercanas a los mayores atractivos turísticos naturales (San Andrés Tzicuilan y Ciudad de Cuetzalan, principalmente) son las que presentan mayor concentración de construcciones. Adicionalmente, se espera un incremento en las áreas de uso agrícola, teniendo en cuenta la implementación del programa federal “Sembrando vida”, que ha promovido el cultivo de café y la milpa.

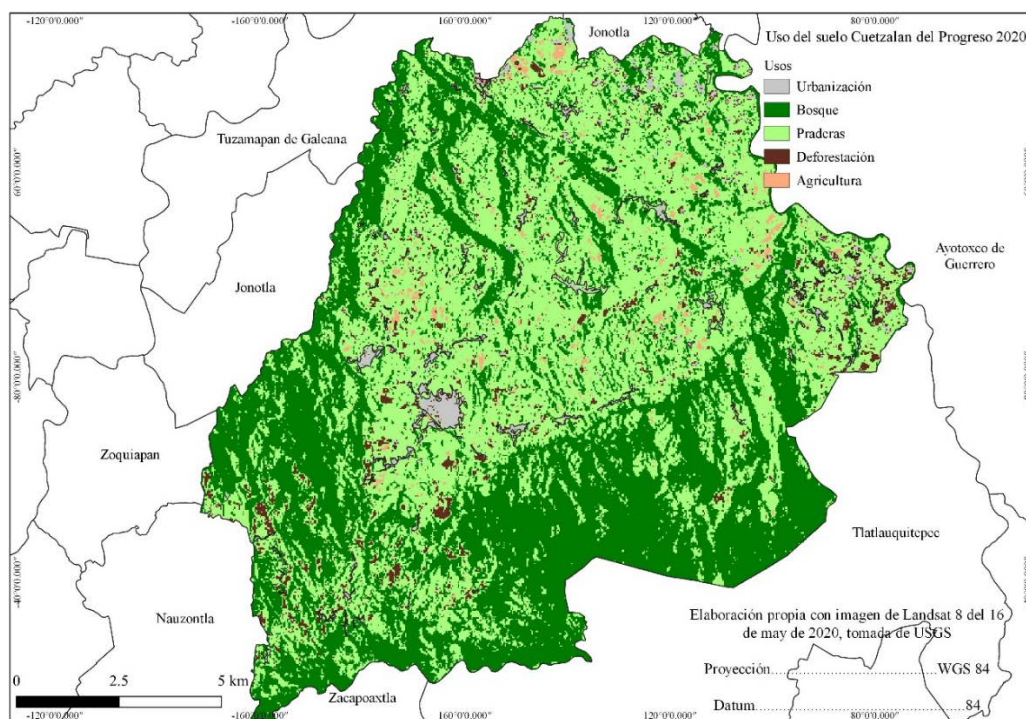


Figura 2. Mapa de uso del suelo para Cuetzalan del Progreso en 2020

3.2.2 Resiliencia social (comunitaria)

Uno de los fenómenos sociales que experimenta el municipio de Cuetzalan del Progreso es el cambio de actividades económicas y la desagrarización, lo que se ha traducido, entre otras cosas, en la concentración de la población en ciertas localidades en las que hay mayor prospección de desarrollo económico, principalmente asociado al sector turístico. Entre 2000 y 2010, el 46.98% de las localidades presentaron aumento poblacional, el 0.67% se mantuvo igual y el 52.35% mostró reducción; de estas últimas, el 10.26% se despobló completamente (Figura 3).

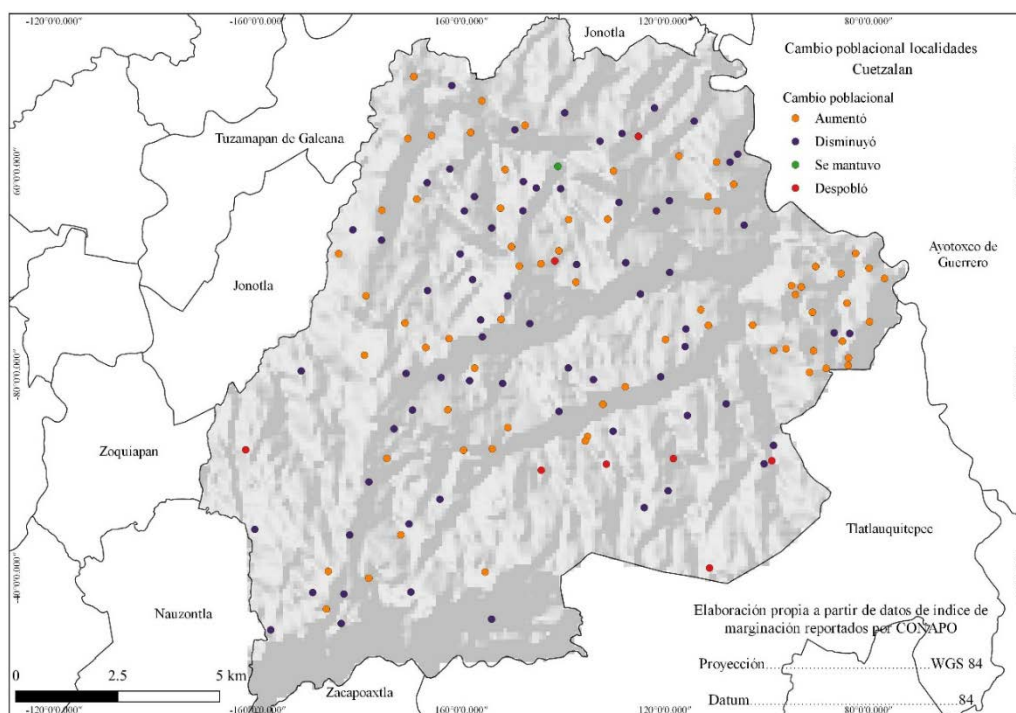


Figura 3. Modificación en la población de las localidades de Cuetzalan (2000-2010)

En diferentes lugares del territorio se evidencian viviendas deshabitadas y abandonadas (Figura 4), pues cuetzaltecos y cuetzaltecas vienen perdiendo interés en habitar ciertos lugares, especialmente la población de jóvenes adultos, generando mayor presión por demanda de bienes y servicios en ciertas localidades y perdiendo recursos e infraestructura en otras comunidades, que podrían ser aprovechados bien para proyectos colectivos o para dar respuesta a las necesidades de los migrantes internos de retorno.



Figura 4. Viviendas abandonadas en las localidades de Xocoyolo y Huaxtitán

Con respecto a la organización social, en el municipio de Cuetzalan del Progreso, es evidente la fuerza administrativa, política y comunitaria que tienen las organizaciones sociales, traspasando las actividades propias de su quehacer (misión y visión) y proyectándose a la co-construcción de alternativas múltiples para el territorio, desde ángulos de acción tan diversos como la promoción de la economía local (actividades productivas, turísticas y artesanales), fortalecimiento organizativo, equidad de género, garantías de derecho y juventud, entre otros.

En ese sentido y teniendo en cuenta tanto las líneas de acción de las organizaciones sociales, como la opinión que tiene la ciudadanía con respecto a ellas, fue posible analizar ocho actores con respecto al interés y poder para la construcción de resiliencia territorial integral (vinculando lo ecosistémico, lo social y lo cultural). Los actores organizacionales analizados fueron Tosepan, COTIC, MIOCUP, Tochan, Tajpianij, Tiyal Tlali, Centro de Derechos Humanos CDH Antonio Esteban, Radio comunitaria Quetzalcóatl MGR y Masehual Siuamej Mosenyolchicauani (Figura 5).

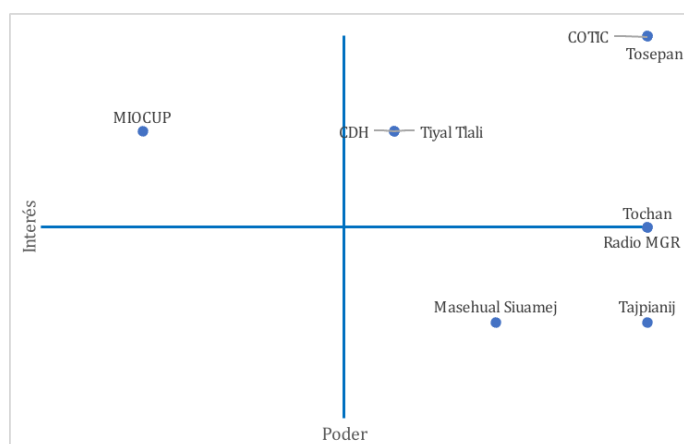


Figura 5. Matriz de interés / poder de ocho organizaciones sociales de Cuetzalan del Progreso

El análisis evidencia que ninguna de las organizaciones está en el cuadrante de bajo interés y bajo poder, lo cual resulta satisfactorio dado que refleja que todas las organizaciones analizadas se involucran de alguna manera en temas que impactan en la resiliencia territorial.

Por otro lado, únicamente la organización MIOCUP está en el cuadrante de bajo interés y alto poder; se encuentra allí debido a que sus líneas de acción aportan únicamente a la resiliencia social a través de las movilizaciones sociales, la solución de conflictos y el empoderamiento ciudadano, pero sus intereses no se orientan a la resiliencia ecosistémica o cultural. Sin embargo, y dado que posee un grado de poder importante en la región, es un actor relevante para difundir, discutir y analizar con la ciudadanía, temas territoriales que incidirán en las tres esferas de resiliencia territorial.

En el cuadrante de alto interés y bajo poder se encuentran las organizaciones Masehual Siuamej Mosenyolchicauani y Tajpianij dado que se involucran en diversos temas que se relacionan con la resiliencia ecosistémica, social y cultural, pero no tienen mucho poder de decisión e impacto más allá de las acciones con sus integrantes. Con respecto al interés, Masehual Siuamej Mosenyolchicauani se vincula a la resiliencia ecosistémica con el conocimiento y cuidado del entorno, en resiliencia social se enfoca en la independencia económica de las mujeres y sus derechos, y en resiliencia cultural promueve la cultura propia a través de la comercialización de artesanías. Por su parte, las acciones formativas y prácticas de Tajpianij se orientan al favorecimiento de la resiliencia ecosistémica, al generar apropiación del conocimiento y comportamientos favorables con la naturaleza en jóvenes; en cuanto a resiliencia social, trabaja en el empoderamiento de las y los jóvenes como actores sociales políticos, y en resiliencia cultural, reconoce la evolución cultural de las y los jóvenes actuales y favorece su reflexión para hibridar conscientemente sus bases culturales.

Entretanto, en el cuadrante de alto interés y alto poder se encuentra la mitad de las organizaciones analizadas, dado que el CDH Antonio Esteban, Consejo Tiyal Tlali, Tosepan y COTIC aportan a la resiliencia de al menos dos componentes ambientales y tienen un grado importante de poder, bien fáctico o simbólico tanto en el territorio como en la región. En lo que respecta a la resiliencia, el CDH y Tiyal Tlali únicamente exhiben interés en dos componentes, mientras que Tosepan y COTIC se insertan en los tres.

El CDH promueve la resiliencia social al formar a la población en derechos para su empoderamiento y a través de la visibilización de los procesos comunitarios, asimismo aporta a la resiliencia cultural con la difusión culturalmente apropiada sobre la importancia, alcance y avances en defensa territorial, valorando y posicionando la importancia de la cultura local. Por su parte, Tiyal Tlali se inserta en aspectos de resiliencia ecosistémica apoyando a las comunidades para impedir megaproyectos en sus territorios o para evitar que los que están instalados generen impunemente daños a los ecosistemas y grupos sociales; a su vez, apoya el empoderamiento ciudadano para que las poblaciones se apropien del manejo de las problemáticas que les aquejan, contribuyendo así a la construcción de resiliencia social.

La Tosepan se ha consolidado como la organización social que por más tiempo viene aportando a la construcción de resiliencia territorial integral, así: aporta a la resiliencia ecosistémica al buscar modelos de producción agroecológica que promueva la conservación del entorno biofísico, construye resiliencia social

al fomentar un modelo propio y autónomo de salud, educación y economía, y fortalece la resiliencia cultural a través del rescate y valoración de los rasgos culturales ancestral mediante estrategias diversas entre las que se encuentra un modelo educativo propio que fomenta, entre otras cosas, el bilingüismo y el orgullo por el traje propio; además, toda la concepción de la organización se encuentra en torno a la resiliencia cultural del pueblo masewal. Por otro lado, el COTIC como ente que vela por la implementación adecuada y oportuna del OTIC, pretende que se reduzcan las afectaciones ecosistémicas a través del uso apropiado del suelo y el manejo adecuado de los recursos del territorio, propende por el fortalecimiento de la organización social al involucrar a toda la ciudadanía en el conocimiento de temas que impactan al territorio y coadyuvar en la autonomía de las comunidades mediante la toma de decisiones colectivas, y gestiona estrategias para el respeto y conservación de los rasgos culturales masewal dentro y fuera del territorio.

Con respecto al grado de poder, el CDH y Tiyal Tlali se encuentran al mismo nivel de MIOCUP, pues su incidencia es local y regional. Su poder está dado por su capacidad de articularse con otros organismos e instituciones, incluso internacionales (p.ej. instituciones defensoras de derechos), para visibilizar las comunidades, defensa, defensoras y defensores, especialmente de territorio y en la capacidad de incidir en la prevención de hechos que afecten la integridad del territorio y que atenten contra la vida de actoras y actores sociales.

Finalmente, hay dos organizaciones, Tochan y Radio MGR, que se encuentran entre el tercer y cuarto cuadrante, pues exhiben alto interés en cuanto a resiliencia territorial se refiere, teniendo en cuenta que trabajan en los componentes ecosistémico, social y cultural, pero su nivel de poder es medio. A través de sus líneas de trabajo con mujeres, Tochan busca mecanismos que contribuyan a la resiliencia ecosistémica mediante la articulación con diversas redes para incidir en política pública ambiental con enfoque de género, en tanto que sus estrategias para el empoderamiento de las mujeres apuntan a la resiliencia social, y el rescate de prácticas propias como la alimentación tradicional y el cultivo de los traspatios, se encuentra en el marco de la resiliencia cultural.

Con respecto a la Radio MGR, y teniendo en cuenta que es una radio comunitaria originaria cuyo objetivo es transmitir narrativas empáticas con la audiencia como apuesta para el bienestar común (Martínez, 2019), se centra en la resiliencia social y cultural al contextualizar toda la información que se transmite, de tal forma que sea pertinente para la cotidianidad de la población y culturalmente apropiada para ella. Adicionalmente, aporta a la resiliencia ecosistémica a través de la difusión de prácticas que propenden por la conservación de los ecosistemas e información sobre los riesgos al territorio, incide en la resiliencia social con la promoción de derechos humanos y la construcción de tejido social para fortalecer estructuras comunitarias para el trabajo colectivo, y en cuanto a la resiliencia cultural, se centra en el orgullo de las tradiciones y formas originarias.

Si bien Tochan y la Radio MGR aportan a los tres componentes de resiliencia territorial y tienen un campo de acción importante, su grado de poder es medio. En el caso de Tochan, esto se debe a que el sistema patriarcal representa una barrera muy fuerte que impide reconocer el valor, impacto e incidencia de los procesos sociales, culturales y políticos que adelantan las mujeres, máxime cuando la gran mayoría de ellas son originarias.

Por su parte, el poder de la Radio MGR estriba en la capacidad de divulgar toda la información de interés para las y los habitantes del territorio, permitiéndoles tomar partido y participar en las diversas situaciones que se presentan, sin embargo, no puede ni debe incitar a que se realicen acciones a favor o en contra de ellas, debe ser imparcial; adicionalmente, su radio de influencia es actualmente muy bajo y por lo tanto su cobertura es aún pequeña. No obstante, en ambos casos existe un gran potencial para que su grado de poder se vea incrementado en tanto su incidencia con la población aumente y se superen las dificultades que enfrentan.

3.2.3 Resiliencia cultural

El municipio de Cuetzalan del Progreso se reconoce como un territorio masewal, teniendo en cuenta que esta es la población dominante en el sentido demográfico. Sin embargo, parece que este reconocimiento

identitario, otorgado por buena parte de la población, las autoridades cívicas, religiosas y gubernamentales, obedece básicamente a la característica de hablar náhuat y no considera todos los aspectos que constituyen la identidad étnica.

En la identidad étnica es fundamental la autoidentificación de pertenencia a un grupo social y el sentimiento asociado a ello, así como su participación en aspectos particulares de dicho grupo, como la lengua, religión, expresiones artísticas, tradiciones y prácticas cotidianas, entre otras (Pertegal et al., 2020). En consecuencia, una aproximación al autorreconocimiento identitario en un territorio originario permite valorar la resiliencia cultural desde la propia percepción de sus habitantes.

La población entrevistada coincide en que, en el territorio, existen dos identidades para cuetzaltecos y cuetzaltecos. Una de ellas se presenta en la cabecera municipal y otra en las comunidades. Esto obedece al hecho de que en la cabecera se concentra principalmente la población mestiza y extranjera que se ha asentado en Cuetzalan, mientras que en las comunidades se encuentra principalmente la población originaria. Adicionalmente y como consecuencia de lo anterior, entre la cabecera y las comunidades del municipio existen, persisten y se construyen, relaciones de cacicazgo.

Por un lado, la ciudad de Cuetzalan se ha constituido en el centro económico y administrativo del territorio en donde su población se reconoce a sí misma como mestiza, dado que no hablan mexicano (náhuat) y no portan el vestuario tradicional. Adicionalmente, se les percibe cierto aire de superioridad con respecto a mujeres y hombres de las comunidades, bien por su poder adquisitivo, bienes, actividades económicas, nivel de estudios o simplemente por residir en la *ciudad* del municipio. A su vez, esta población es percibida por otras personas del territorio como gente poco confiable, interesada y poco solidaria, tal como mencionó una de ellas: *la gente de la ciudad es doble, traicionera, desconfiada y chismosa, la ciudad es el patrón, el cacique, el 'conquistador' de las comunidades.*

Con respecto a las personas de las comunidades y las pocas de la cabecera que se consideran pertenecientes al pueblo masewal, sostienen que su identidad está fundamentada en su lengua, su forma de vestir, sus celebraciones y sus usos y costumbres. En primera instancia, el náhuat es identitario de las y los masewalmej³, dado que en la región se mantiene vigente como lengua materna (Báez, 2004); sin embargo, hay pobladoras y pobladores que aunque se auto-perciben como masewalmej, reconocen que entienden a la perfección el náhuat pero tienen dificultades para hablarlo más allá de conversaciones básicas.

En segundo lugar, el vestuario tradicional se ha perdido considerablemente con el paso del tiempo. Los hombres mayores y las mujeres son quienes más lo portan, incluso es frecuente ver niñas portando el traje tradicional, no así niños o adultos acompañantes (Figura 6). La población que se auto-identifica como masewalmej, pero no viste a la usanza tradicional refiere sistemáticamente que se debe a que sus madres y padres siempre les vistieron como koyomej⁴, o que, al salir del territorio, se encuentran con fuertes manifestaciones de discriminación y, por tanto, han preferido modificar su vestuario.



Figura 6. Población masewal portando el vestuario tradicional

³ Plural de masewal.

⁴ Plural de koyot, que se refiere a las mestizas y mestizos.

Con respecto a las celebraciones, la población originaria cuenta con una suerte de actividades rituales que reflejan el sincretismo de la cultura propia con la europea y se expresan a través de atuendos, danzas, música y gastronomía, que se despliegan principalmente durante las fiestas patronales y en las que progresivamente se ha venido permitiendo la participación más incluyente e inclusiva de mujeres, niñas y niños. Por otro lado, también se evidencian expresiones de religiosidad propia en celebraciones más íntimas, como bodas, funerales y bautismos.

Como cuarto elemento, el sistema de usos y costumbres en el territorio permite que, a través de la asamblea se tomen decisiones de manera colectiva en los diversos espacios de índole comunitaria (consejos y comités), permitiendo la participación con voz y voto, de la población. Este es un mecanismo de auto-gobierno característico de poblaciones originarias que permite la regulación de la forma de vida colectiva.

En cuanto al orgullo identitario, para la población que reside en el municipio y se auto-reconoce como masewal se siente orgullosa de su cultura, su territorio y los procesos comunitarios que allí se adelantan. Sin embargo, las personas que han salido de Cuetzalan para trabajar o estudiar en ciudades capitales, modifican drásticamente sus rasgos identitarios con el fin de evitar discriminaciones o insertarse de manera más adecuada en las sociedades occidentales. Al respecto, una líder social refiere:

Se van a la ciudad a trabajar, se van a la ciudad las chicas, las jóvenes, ahí está chistoso porque en la central (de transportes) de Puebla, cuando ellas llegan de aquí para allá van con su traje tradicional, pero llegando a la central se cambian, se ponen pantalón, se ponen ropa de mestizos y ya de regreso hacen al revés, en la terminal se cambian. O sea, es chistoso, pero habla del racismo que hay en las ciudades hacia la población de origen.

Por ejemplo, se va el chavo a trabajar, el chavo cuando regresa ese sí ya no se cambia, las chavas sí, los chavos regresan ya con el vestido de la ciudad, o sea, así con los pelos parados, tatuados, cadenas, con cosas así.

Con el idioma también, los chavos ya de repente no saben... pero muchos chavos por ejemplo en la ciudad no hablan náhuat, las mujeres sí hablan náhuat, les da pena.

Adicionalmente, las y los jóvenes vienen reconociendo que tienen una doble identidad, son masewalmej pero también son koyomej, teniendo en cuenta que han sido permeados por ambas culturas (Colectivo Tajpianij, 2016). Del trabajo adelantado con los y las jóvenes Tajpianij sobre su identidad, uno de los integrantes fundadores resume las cavilaciones del grupo:

Les preguntamos a los jóvenes en náhuat quiénes son ellos, si son indígenas o son mestizos y entonces vienen una serie de reflexiones sobre ellos y una crisis terrible para entenderse como lo mestizo desde las escuelas y desde la iglesia, o sea las instituciones que vienen de afuera, pero son indígenas desde las instituciones locales, que es la familia, el abuelo, la abuela, los parientes, pero también los cultivos, las costumbres, las tradiciones... al final son las dos cosas, tienen una doble identidad... son lo que no son muchos jóvenes de afuera, son las dos cosas, tienen una educación intercultural...

Independientemente de los choques culturales a los que se enfrenta de manera continua la población cuetzalteca, se reconoce el valor e importancia del patrimonio cultural material e inmaterial del territorio (Figura 7), bien como elemento central simbólico masewal y tununakú, bien como elementos estéticos y atractivos que favorecen la actividad turística y, en consecuencia, la economía local. Ello motiva la estructuración y propuesta de estrategias que favorezcan su conservación.

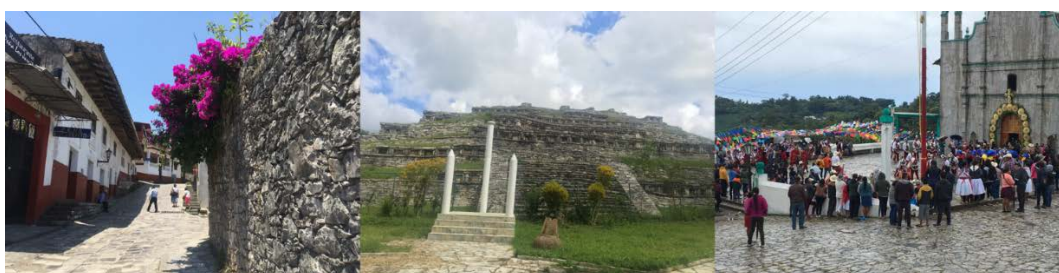


Figura 7. Patrimonio arquitectónico, arqueológico e inmaterial de Cuetzalan del Progreso

A nivel institucional formal, el OTIC es el instrumento de regulación y planificación de uso del suelo rector en el territorio, que, en lo que respecta a conservación de patrimonio, ha estipulado que *toda construcción deberá respetar los criterios arquitectónicos del Instituto Nacional de Antropología e Historia INAH y en general de la versión vernácula y tradicional* (Gobierno del Estado de Puebla, 2010). Adicionalmente, el municipio cuenta con un reglamento de imagen urbana, que establece el marco normativo para que el ayuntamiento garantice la recuperación y conservación del patrimonio cultural y arquitectónico, en donde se consideran los componentes urbano-arquitectónicos del Área de Protección Patrimonial (Gobierno del Estado de Puebla, 2014).

Por otro lado, en la localidad de Yohualichan se encuentra la zona arqueológica que corresponde al primer asentamiento tutunakú en la región (INAH, 2020) y dado que está a cargo del INAH, se siguen los lineamientos institucionales de conservación. Sin embargo, son sus funcionarios quienes realizan el diagnóstico de las necesidades y estrategias locales más pertinentes para el cuidado puntual del patrimonio y para promover que las actividades de turismo cultural sean de bajo impacto en la zona. En este particular, resalta la articulación del administrador con las artesanas que suelen vender sus productos junto a la zona:

Nosotros ya hemos trabajado desde la administración que tomé, tomamos acuerdos comunitarios con las vendedoras artesanales de la comunidad, que prácticamente pues acordamos tener un espacio de entrada y otro de salida, lo cual generaría que en el espacio de salida tuvieran toda la venta, y evitaríamos por completo esa aglomeración en la entrada o únicamente en un espacio para entrar y salir.

Nosotros tuvimos a bien tener varias reuniones... para acordar esos puntos. Anteriormente las señoras estaban en el área de entrada y se juntaba la gente que salía o entraba, entonces era un espacio donde estaban ambos sentidos... o sea, las artesanas de lado y el espacio se reducía a un metro, un metro y medio para que la gente pudiera entrar y salir. Entonces a través de pláticas y obviamente un mejor manejo del sistema, pues pudimos hablar y llegar a un acuerdo donde el beneficio fuera mutuo.

Hablamos con las señoras durante varios meses para llegar a acuerdos, obviamente yo las convoqué a reuniones con las principales líderes que son un comité organizado, y sobre ese comité pues tomamos decisiones, y sobre esas decisiones hicimos unas votaciones con todas en asamblea. Sobre eso, pues hablamos tanto con presidencia auxiliar para que nos pudiera ayudar también en la cuestión de que autorizara ciertos espacios -para usar espacio público-, pero obviamente que las señoras también respetaran ese espacio, que también vieran la manera de mejorarlo, que no fuera nada más un espacio muerto o que no tuviera una lógica, una logística como tal. Y a lo cual, las señoras dijeron: no, nos acatamos, al final de cuentas, pues nos beneficiamos de igual manera, somos partícipes de una zona arqueológica y pues como tal, debemos también ponernos a la medida. Entonces las señoras muy favorablemente han respondido; claro, los diálogos ayudan mucho, el hecho de que tú vengas e impongas, pues no se trata de eso, se trata de dialogar...

Adicionalmente y más allá de que el turista se lleve un recuerdo agradable y fotografías para presumir, se realizan esfuerzos para que haya apropiación contextualizada de la importancia cultural de la zona, estimulando así mismo el trabajo local. A este respecto, el administrador menciona:

Tenemos estelas informativas en toda la zona que te informan sobre el espacio, la cultura, el tiempo de afloramiento, el nombre de cada uno de los edificios y demás, porque está consolidado de esa manera, a qué se le atribuye este edificio, su tamaño, dimensiones, etc. Pero también contamos con guías comunitarios que explican lo que es el tema cultural, obviamente te dan botánica, te dan información cultural, te enseñan lo que es la zona Yohualichan y el pueblo; pero bueno, eso es a criterio personal de cada visitante si quiere tomar ese recorrido.

Pero obviamente los jóvenes no trabajan por un sueldo que da la zona, porque la zona o el INAH no les puede sustentar un pago, entonces aquí lo que se maneja es una aportación voluntaria... y ayuda a la economía del guía... no es mucho, pero a la economía ayuda.

Con respecto al patrimonio inmaterial, desafortunadamente las celebraciones y danzas e incluso la población, se promocionan por parte de agencias turísticas y entes gubernamentales, como uno más de los atractivos turísticos del municipio. Así, la intensificación del turismo promovido como de *identidad* atrae a un sinnúmero de visitantes que ven en las fiestas una suerte de experiencia exótica, generando en

consecuencia la molestia de las comunidades, pues estas actividades rituales no se llevan a cabo con el fin de atraer o llamar la atención de foráneos, por el contrario, hacen parte del sistema de costumbres asociadas al mundo místico y simbólico de los y las masewalmej.

Así, la localidad de San Miguel Tzinacapan, que puede considerarse el corazón cultural del territorio, procura mantener la esencia de sus celebraciones y, por tanto, ha optado por restringir y establecer medidas para las y los turistas que asisten a las celebraciones (limitaciones o cobro para el registro audiovisual, restricción de acceso a ciertos espacios o prohibición total para asistir, según las condiciones y decisiones de la comunidad).

Por último, las organizaciones Tosepan y Tochan adelantan acciones para recuperar y valorar la alimentación tradicional, tanto por razones nutricionales como identitarias. Tosepan publicó un recetario para la elaboración de más de 250 platillos a base de quelites⁵ como resultado de numerosas muestras gastronómicas realizadas a lo largo de 13 años por mujeres de una de sus cooperativas (Tosepan Siuamej), retomando así fuentes nutricionales importantes de la población originaria y contribuyendo adicionalmente, a la economía familiar (González, 2020).

Por su parte, Tochan trabaja con las mujeres del territorio para recuperar los traspatios que fueron abandonados debido a la sustitución de productos alimentarios propios por otros procesados; así, se pretende que a los traspatios regrese la producción de hortalizas, frutas, plantas aromáticas y medicinales (Centro de Asesoría y Desarrollo entre Mujeres, 2011), con el fin de aportar a la seguridad y soberanía alimentaria del territorio y recuperar valores y costumbres ancestrales.

4. CONCLUSIONES

En el aspecto ecosistémico de usos de suelo, el territorio se encuentra en un punto de vulnerabilidad importante, pues, aunque existe un instrumento de ordenamiento territorial muy completo y pertinente, no se ha avanzado en muchas de las acciones propuestas y los intereses particulares generan alta presión, conduciendo en consecuencia, a varios incumplimientos. Por otro lado, es evidente el incremento en la deforestación y construcciones orientadas a intensificar la actividad turística, y si bien aún representan un porcentaje bajo del territorio, su aumento representa una amenaza en la calidad y cantidad de ecosistemas presentes y, por ende, en los bienes y servicios que prestan al territorio.

En cuanto a la resiliencia social, es clara la tendencia al despoblamiento de algunas localidades y la concentración poblacional en otras, lo que lleva a un aumento en la demanda de bienes y servicios en algunas zonas y el bajo aprovechamiento en otras, así como a la pérdida de los tejidos sociales, estrategias de adaptación y reducida apropiación por parte de habitantes en algunos lugares. Por otra parte, la administración municipal, lejos de aportar a la resiliencia del territorio, ejecuta acciones con la pantalla del interés común, pero en realidad sus obras se limitan a aquellas que considera de *alto impacto* para favorecer su imagen.

No obstante, el territorio cuenta con una gran fortaleza que reside en las organizaciones sociales, las cuales, a través de sus diversas líneas de trabajo, contribuyen a la resiliencia ecosistémica, social y cultural, teniendo en el centro de su discurso, que el municipio tiene particularidades socioculturales que deben atravesar cada una de las estrategias propuestas, matizadas por la necesidad del pueblo masewal para resistir y re-existir en comunión con su territorio.

Finalmente, el territorio exhibe un grado importante de resiliencia cultural, en el que no se niega la influencia e hibridación con prácticas y costumbres mestizas, sino en el que esto es reconocido y con base en ello se realizan procesos constantes de reflexión alrededor de la identidad, para que esta no sea un reflejo de épocas pasadas o de la intrusiva modernidad, sino una construcción en evolución constante en la que está presente la persistencia y recuperación de rasgos originarios identitarios.

⁵ Hojas tiernas de herbáceas, arbustos y árboles, así como tallos tiernos y flores (Pérez y Coloxtitla, 2019).

REFERENCIAS

- Acosta, E. (2020). Relatos y cosmología nahua sobre la "otra tierra" y el "revés del mundo." *Iberoforum* XV(29), 84–108.
- Acuña, A. P. (2012). La gestión de los stakeholders. En *Encuentro Regional Zona Sur Adenag*.
- Amaro, M. (2017). *El Comité de Ordenamiento Territorial Integral de Cuetzalan del Progreso (COTIC) y el ordenamiento territorial integral como instrumentos de defensa del territorio*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Ambrosio, M. (2017). Ciclo adaptativo y cambio rural: el enfoque territorial en la gestión de la resiliencia rural. *Revista de Fomento Social* 72(3–4), 665–682.
- Argent, N. (2019). Rural geography II: Scalar and social constructionist perspectives on climate change adaptation and rural resilience. *Progress in Human Geography* 43(1), 183–191.
- Ayuntamiento de Cuetzalan del Progreso Puebla. (2018). *Programa municipal de desarrollo turístico Cuetzalan del Progreso*.
- Báez, L. (2004). Nahuas de la Sierra Norte de Puebla. En *Pueblos indígenas del México contemporáneo*. CDI / PNUD.
- Bernal, C. A. (2010). Instrumentos de recolección de información. En Fernández O. (Ed.), *Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación.
- Cadena, P., Camas, R., López, W. y Navarro, H. (2018). Implicaciones prácticas y teóricas de la nueva ruralidad en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(7), 1013–1026.
- Capello, R. (2018). Interpreting and understanding territorial identity. *Regional Science Policy and Practice*, 9, 141–158.
- Centro de Asesoría y Desarrollo entre Mujeres. (2011). *Proyecto diagnóstico participativo desde la perspectiva de género, para el acceso, promoción y participación de las mujeres nahuas en el programa de ordenamiento territorial integral en el municipio de Cuetzalan*.
- Cheshire, L., Esparcia, J. y Shucksmith, M. (2015). Community resilience, social capital and territorial governance. *Ager*, 18, 7–38.
- Cobo, R., Paz, L. y Bartra, A. (2018). *¡Somos Tosepan! 40 años haciendo camino*. U. de C. T.
- Colectivo Tajpianij. (2016). *Tercer manual Tajpianij. Identidad, milpa y alimentación*. Recuperado: https://92721209-7d56-427e-9844-9b081b2887d4.filesusr.com/ugd/0fe903_23cdb3afa3b64da7bf73e2214c9dae23.pdf
- Csurgó, B. (2004). Urban pressure-a recent phenomenon. The valley of arts. *Eastern European Countryside* 10, 155–165.
- de Grammont, H. C. (2004). La nueva ruralidad en América Latina. *Revista Mexicana de Sociología* 66, 279–300.
- de la Torre, H. C. (2019). Resiliencia del sistema socio-ecológico en la región subcuenca baja río Sonora. *Estudios Sociales* 29, 1–36.
- Duarte, M. B., Brachet, V., Campos, R., y Nigenda, G. (2004). Políticas nacionales de salud y decisiones locales en México: el caso del Hospital Mixto de Cuetzalan, Puebla. *Salud Pública de México* 46(5), 388–398.
- Equipo de resiliencia. (2017). *Santiago humano y resiliente*. Gobierno regional metropolitano de Santiago.
- Galano, C. (2013). Huellas del pensamiento ambiental latinoamericano en la construcción de territorios de vida. *Sustentabilidad(Es)* 7(7), 34–46.
- Ginés, X. y Querol, V. A. (2019). Construcción social de lo rural y Nueva Ruralidad. Una aproximación al marco de interpretación de lo rural de agentes políticos y sociales. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 19(1), 37.
- Gobierno del Estado de Puebla. (2010). *Programa de ordenamiento ecológico local del territorio del municipio de Cuetzalan del Progreso*. Recuperado: <http://www.puebla.gob.mx/index.php/gobierno/gobernador>
- Gobierno del Estado de Puebla. (2014). *Reglamento de imagen urbana del municipio de Cuetzalan del Progreso*. Recuperado: <http://www.puebla.gob.mx/index.php/gobierno/gobernador>
- Gomes, O. (2020). Territorialidades indígenas no México e a experiência do povo maseual de Cuetzalan (Puebla): diálogos e contribuições para as lutas indígenas no Brasil. *Revista Nera* 23(54), 90–114.
- Gonçalves, C. (2018). Perspetivas sobre resiliência territorial: resistência fluxível, interdependência sistémica, adaptabilidade evolutiva. *GEOgraphia* 20(43), 36–53.
- González, A. (2020). *Kaltaixtapeniloyan. Casa donde se abre el espíritu. Soñando el despertar del pueblo maseual*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- González, T. (2017). *Aproximación a un plan de desarrollo local con enfoque territorial para la cuenca alta del río Maipo. Integración de valores y servicios socio-ecosistémicos, conectividad, resiliencia y adaptación al cambio global*. FUNGOBE, EUROPAC España.
- Henriques, J. M. (2016). Coesão territorial, resiliência e inovação social: o programa rede social. En IESE-Instituto de Estudos Sociais e Económicos (Ed.), *Agricultura, floresta e desenvolvimento rural*.
- Herrera, B. (2018). La festividad tradicional de San Miguel Tzinacapan y su transformación como objeto de consumo por parte de los turistas. *Mitológicas* XXXIII, 71–92.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1–23.
- Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4, 390–405.
- Holling, C. S., Gunderson, L. H. y Ludwig, D. (2002). *In quest of a theory of adaptive change*. En Gunderson, L. y Holling, C. (Eds.), *Panarchy. Understanding transformation in human and natural systems*. Island Press.
- Holling, C. S. y Gunderson, L. H. (2002). *Resilience and adaptive cycles*. En Gunderson, L. y Holling, C. (Eds.), *Panarchy. Understanding transformation in human and natural systems*. Island Press.

- INAH. (2020). *Zona Arqueológica de Yohualichan*. Cultura. Gobierno de México.
- Krasilnikov, P. (2019). *Montane cloud forests*. En DellaSala, D. (Ed.), *Encyclopedia of the world's biomes*. Elsevier.
- Lipp, D. (2018). Ciudades resilientes. *Actas Científicas CIG*, 69–74.
- Machado, M. M., Nicholls, C. I. y Ríos, L. A. (2018). Social-ecological resilience of small-scale coffee production in the porce river basin, antioquia (Colombia). *Idesia* 36(3), 141–151.
- Martínez, G. (2019). La radio comunitaria indígena: alternativa para la descolonización, la interculturalidad y la construcción del bien común a través del sonido emanado del territorio. *Revista Latinoamericana de Comunicación* 1(140), 31–46.
- Overbeek, G. y Terluin, I. (Eds.). (2006). *Rural areas under urban pressure: Case studies of rural-urban relationships across Europe*. Rurban.
- Pérez, F. y Coloxtitla, G. (2019). *Los quelites. Otra mirada para consumirlos*. Instituto Nacional de los PUEblos Indígenas INPI.
- Pertegal, M. L., Espín, A. y Jimeno, A. (2020). Design of an instrument to measure indigenous cultural identity: Case study on the waorani amazonian nationality. *Revista de Estudios Sociales* (71), 56–63.
- Pini, F., Ferraro, R. y Lanari, S. (2018). Resiliencia urbana: Dinámicas y estrategias ecosistémicas para el desarrollo sustentable del hábitat local. Un caso de estudio: CABA Sur. *Revista de Investigaciones Científicas de La Universidad de Morón* 2(1), 69–73.
- Ramírez, A. (2018). Limitantes de la interculturalidad en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Estudios Avanzados* 29, 86–104.
- Romagosa, F., Chelleri, L., Trujillo Martínez, A. J. y Breton, F. (2013). Sostenibilidad y resiliencia socioecológica en el delta del Ebro. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 59(2), 239–263.
- Sánchez, P., Gallardo, R. y Ceña, F. (2016). La noción de resiliencia en el análisis de las dinámicas territoriales rurales: Una aproximación al concepto mediante un enfoque territorial. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 13(77), 93–116.
- Vélez, J. (1996). El nahualismo y los tapahtiani/nahualmej de Cuetzalan, Sierra Norte de Puebla. *Alteridades* 6(12), 33–38.
- Yorque, R., Walker, B., Holling, C. S., Gunderson, L. H., Folke, C., Carpenter, S. R. y Brock, W. A. (2002). *Toward an integrative synthesis*. En Gunderson, L. y Holling, C. (Eds.), *Panarchy. Understanding transformation in human and natural systems*. Island Press.
- Zuckerhut, P. (2017). Pluriversalidad exitosa: epistemologías y ontologías de los maseualmej del municipio de Cuetzalan, Mexico. *Revista Trama* 6(2), 41–56.

Formas, sonidos e imágenes en la ciudad discapacitada: Una aproximación a la percepción del espacio y su función social

Andrea del Pilar Arenas¹

Juan Manuel Aldana Porras²

Edwin Dorance Garzón Carrillo³

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Colombia

La ciudad se concibe como el escenario propicio en el que los ciudadanos construyen su identidad y establecen relaciones con otros y con el entorno en función de su percepción en tanto ser, estar y hacer contextualmente. Sin embargo, la urbe supone una serie de restricciones para aquellos cuyas particularidades no son catalogadas como *normales*, excluyéndolos de la trama citadina cotidiana. Por lo anterior, el trabajo que se presenta da cuenta de los hallazgos de la investigación que tuvo como propósito analizar la experiencia cotidiana del sujeto en situación de discapacidad física y sensorial en torno al derecho a la ciudad, reconociendo la percepción del espacio en función de la construcción y uso de una aplicación móvil para la georreferenciación de puntos accesibles en Ibagué como un proceso de innovación social. Se desarrolló desde un enfoque mixto con la participación de 30 personas, conformando 2 grupos etarios (jóvenes y adultos), a los cuales se les aplicó una encuesta, una entrevista y un grupo focal, y cuyos resultados muestran la exclusión socio-espacial que viven los participantes a causa de las barreras materiales e inmateriales que experimentan en la metrópoli, así como la resignificación del espacio y su función social a posteriori al uso del aplicativo en mención.

¹ Psicóloga, Especialista en Gerencia Servicios de Salud y Magíster en Intervención Social. Profesora investigadora en la Escuela de Ciencias Sociales Artes y Humanidades.

Contacto: andrea.arenas@unad.edu.co

² Ingeniero de Sistemas, Especialista en Seguridad Informática y Magíster en Inteligencia Artificial. Profesor investigador en la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería.

Contacto: juan.aldana@unad.edu.co

³ Ingeniero Industrial y Magíster en Prevención de Riesgos Laborales. Profesor investigador en la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería.

Contacto: edwin.garzon@unad.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La función social que cumple la ciudad en tanto espacio habitado indefectiblemente refleja la supremacía de unos sujetos sobre otros, justamente porque la estructura social que se materializa en el escenario citadino evidencia los procesos de exclusión individual y colectivos que experimenta el ser sujeto social. Tal es el caso de las personas en situación de discapacidad, quienes a causa de sus particularidades biopsicosociales cotidianamente luchan por salvar los obstáculos que les impone la urbe.

Así que, hablar de inclusión o exclusión remite considerar la accesibilidad y la participación como los primeros elementos para el disfrute del espacio y su injerencia en la construcción identitaria y vincular del individuo; al respecto, Linares et al. (2018) refieren que *para las personas con discapacidad, la participación está mediada por el acceso al medio físico o entorno, lugar en el que, a partir de la interacción entre el ser humano y el territorio, los sujetos construyen su subjetividad e identidad individual y colectiva*.

Y es que en cierta medida apropiar la ciudad y su escenografía es una expresión de territorialidad que dota de sentido y significado la existencia y trascendencia del individuo en los lugares que habita, por lo que armonizar las relaciones entre los sujetos con discapacidad, en tanto ciudadanos, con el medio físico y con las actividades humanas, se constituye en un ideal para la garantía de los derechos de las minorías.

Siendo precisamente el derecho a la ciudad, como aquel que da cuenta de la vida urbana en constante transformación y renovación, el eje central de la presente disertación, a través de la cual se expone la experiencia cotidiana del sujeto en situación de discapacidad física y sensorial con relación al disfrute y usufructo del espacio, así como, el uso de una aplicación de identificación de espacios accesibles, cuya construcción colectiva se constituyó en un proceso de Innovación Social IS, el cual tomó como base la colaboración de los participantes como una forma de agregar valor social articulando la tecnología con las necesidades y problemáticas sentidas por la comunidad.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 La función social del espacio vs la exclusión socio-espacial del cuerpo discapacitado

El espacio cumple una función social innegable. Una función que, en los términos y acepciones propios de la palabra, hace referencia a la relación existente entre varios elementos y la incidencia directa y proporcional entre estos. Una función que, abordada desde el escenario citadino da cuenta de cómo las construcciones, las calles, los parques y las estaciones, por nombrar solo algunos elementos constitutivos, suscitan el desarrollo de vínculos e interacciones entre los habitantes que los transitan, quedando así impregnados e impregnando diversas maneras de ser y estar en sociedad, como un derecho ineludible del hombre en su calidad de ciudadano.

No obstante, apropiar los escenarios que la metrópoli ofrece, para las personas en situación de discapacidad, se ha convertido en la palestra que reafirma su condición *diferente* y por tanto en el proscenio en el que se exhibe explícitamente la negación de su derecho a la igualdad como un acto de invisibilización de su derecho a ser diferente. Y es que en un contexto eminentemente capacitista la *normalidad* caracterizada por la uniformidad y más que eso, por el ajuste a la norma imperante, la urbe, cumple su función social de manera exclusivamente bidireccional con aquellos cuyas características dan cuenta de dicha *estandarización*, los cuales tiene la posibilidad de usufructuarla de forma equitativa dentro de los preceptos de democracia, inclusión y justicia social; afirmando así lo referido por Harvey (2008):

La ciudad es el intento más exitoso del ser humano de rehacer el mundo en el que vive de acuerdo con el deseo más íntimo de su corazón. Pero si la ciudad es el mundo que el ser humano ha creado, es también el mundo en el que a partir de ahora está condenado a vivir. Así pues, indirectamente y sin un sentido nítido de la naturaleza de su tarea, al hacer la ciudad, el ser humano se ha rehecho a sí mismo.

En tal sentido, para que se cumpla la función social de la ciudad debe existir un proceso de igualdad y justicia urbana garantizando a todos los ciudadanos, independiente de su condición, el uso pleno de los recursos y

espacios, por lo que en la actualidad han cobrado importancia los estudios relacionados con la construcción social del cuerpo y su relación con el contexto, justamente porque *la vida social está mediada por aspectos materiales (como el cuerpo) cuyos significados, condicionantes y significantes, se constituyen en un soporte esencial del proceso de socialización, de tal manera que si se concibe la relación triádica discapacidad - cuerpo - sociedad, se incursiona en un terreno de estigmas, control y violencias implícitas que desde siempre han signado al sujeto cuyas características físicas, sensoriales e intelectuales están al borde de los estándares sociales* (Arenas et al., 2020).

De modo tal, que hablar de la función social del espacio vs la exclusión socioespacial del cuerpo discapacitado, es comprender lo trascendente de articular la planificación de la ciudad y la construcción de una sociedad participativa desde lo urbano, como una *herramienta atenta y relacionada con los problemas sociales; de tipo horizontal, orientada a emplear modificaciones periódicas. Es más, un enfoque hacia un compromiso entre las fuerzas en juego para renovarse continuamente, que necesariamente lograr el cambio completo y definitivo, consciente de que su objeto corresponde a un proceso social de largo aliento, que no tiene lugar de forma homogénea y metódica* (Correa, 2010).

Ello posibilitaría menguar la exclusión socioespacial que el sujeto en condición de discapacidad experimenta en su diario acontecer, a partir de una experiencia cotidiana de su cuerpo alienado y oprimido y que se convierte por tanto en receptáculo de significados y significantes que lo estigmatizan y lo relegan a una posición inferior en la estructura social imperante, a razón de los discursos y prácticas clasificatorias que toman como punto de partida (medida) lo *normal* en términos de estructura, función y rol. Y es que el espacio físico (público y privado) se convierte en la plataforma en la cual se gestan las interacciones sociales, pues tal y como lo afirma Venturiello (2013):

La estructura urbana está en relación e interacción con otras estructuras de la sociedad. Las calles, los edificios, las rampas, las veredas, las plazas, los ascensores y los baños son mediadores de las redes sociales en las que circulan los individuos. Entorpecer la dinámica de las redes sociales tiene implicancias en la subjetividad y en la vida cotidiana de los sujetos que la componen, puesto que atenta contra los intercambios que constituyen los vínculos.

Así que, la ciudad como un espacio habitable y relacional, además de una construcción social que la dota de sentido e identidad, refleja una realidad compleja, diversa y contradictoria como resultado de la materialización de las acciones que el hombre (re)produce cotidianamente. Es más que grandes edificios, calles y paisajes; es una configuración socioespacial a partir de la cual los sujetos generan intercambios, cohesiones sociales, bienes y servicios, posibilitando una opción de desarrollo para unos y una limitación para otros, a causa de la desigualdad, marginación, barreras y discriminación que algunos grupos poblacionales experimentan.

Por lo que se podría pensar la ciudad como un espacio mayoritariamente público que representa el ideal de expresión, gestión y democracia para sus habitantes, pero que en la realidad se convierte en un escenario de barreras y obstáculos que inciden en la accesibilidad y participación de los sujetos cuyas características físicas, sensoriales y cognitivas no dan cuenta de los estándares clasificatorios de normalidad; advirtiendo de esta forma, cómo a nivel socioespacial la ciudad, para las personas en situación de discapacidad, está cargada de imaginarios urbanos en torno a lugares de afinidad y rechazo.

Al respecto, Margulis (2005) hace referencia a la ciudad como un escenario socialmente construido cuya multiplicidad de significados, posibilita dar sentido al proceso relacional que en ella se gesta; un espacio que con el tiempo vivifica las memorias, las historias y las experiencias de sus habitantes, entendiéndose entonces la ciudad como una comunidad compleja que rememora interacciones físicas, afectivas y simbólicas de quienes la transitan y disfrutan, haciéndose evidente que en la vivencia de la dimensión social de la ciudad, los habitantes se apropian del espacio público y le otorgan un significado en cuanto a su distribución, construcción, óbices y accesibilidades, proyectando cierta ambigüedad entre el anonimato y la necesidad de socialización.

Por lo anterior, la persona en situación de discapacidad vive la experiencia cotidiana de una existencia social de exclusión, como afirma Reguillo (2005): *la ciudad es construcción simbólica, dinámica, conflictiva,*

estructurada y estructuradora de los sujetos sociales..., estructuradora por el potencial descalificador que posee de negarle a todos los sujetos los mismos derechos. En esa línea, Fernández (2018) afirma que:

La discapacidad no es una propiedad inherente a ciertos cuerpos (ni ciertas mentes) sino que surge en la interacción entre algunos cuerpos y un entorno social que los 'discapacita'. El foco de análisis y de intervención, por lo tanto, se desplaza desde los cuerpos individuales hacia los modos en que las prácticas sociales, los entornos materiales, las representaciones culturales, etc., contribuyen a generar barreras para el funcionamiento de ciertas personas.

De esta manera, es evidente que la inclusión socioespacial y, por tanto, la disminución de barreras es responsabilidad de todos, por lo que la discapacidad no debe ser concebida como una situación de ellos *los discapacitados* y sus familias o profesionales que la abordan, puesto que, en tanto dimensión social, a de ser comprendida como un proceso interaccional que apela a un *nosotros* como una forma también de abolir las prácticas clasificatorias que construyen *al otro* distinto en términos de desigualdad. Lo que significa que, la discapacidad no se encuentra en el cuerpo que la padece, sino en los entornos que limitan el desarrollo del ser y un entorno social que no los reconoce.

Por lo tanto, es oportuno llamar la atención frente a las diferencias que posee cada sujeto, entendiendo que ninguna persona es igual a otra y que, sin embargo, *se siguen construyendo y diseñando ciudades, edificios y objetos con la idea de un modelo inexistente de perfección antropométrica* (Gutiérrez, 2008), que restringe el disfrute de sus formas, sonidos e imágenes a unos pocos, convirtiéndose así en una ciudad discapacitada desde la perspectiva de los discapacitados. Y es que el sonido, la forma y la imagen estructuran el ambiente, que no es otra cosa que el medio circundante, aquello que rodea al ser y a lo que algunos autores han denominado cerco: *como dice Eugenio Trías, ambiente sería el cerco dentro del cual se aposenta un ser vivo que lo habita. Habitar hace referencia a esa relación con el cerco que actúa sobre el habitante como envoltura tanto espacial como sonora* (Sagredo, 2006).

2.2 La Tecnología Asistiva como plataforma para la Innovación Social

Hablar de tecnología como un mecanismo de inclusión, exige abordar la temática desde aquellas dimensiones propias de la complejidad de los problemas sociales, pues a través de los años se ha convertido en una herramienta que permite modelar soluciones consecuentes a las necesidades puntuales de un grupo poblacional, donde su accionar es especialmente valioso en comunidades que han sido históricamente relegadas por el estigma al que los condena la sociedad, como es el caso de las personas en situación de discapacidad. De hecho, la tecnología ha logrado establecerse como un engranaje que facilita la integración de este tipo de población a la vida en sociedad, permitiendo solventar los obstáculos impuestos desde la concepción de *normalidad* que se ven reflejados en la infraestructura deficiente y poco amigable que presenta la ciudad.

En tal sentido, la correspondencia entre tecnología y discapacidad, da espacio a un concepto interdisciplinar conocido como Tecnología Asistiva TA, el cual, centra su interés en aquellas soluciones dispuestas de forma particular para las personas en situación de discapacidad, abarcando todo tipo de *productos, recursos, metodologías, estrategias, prácticas y servicios que tienen por objeto promover la funcionalidad relacionada con la actividad y la participación de las personas con discapacidad, impedimento o movilidad reducida, con miras a su autonomía, independencia, calidad de vida e inclusión social* (Comité de Ayudas Técnicas, 2009). Así pues, la TA está enmarcada por aquellas soluciones tecnológicas que incorporan cualquier requerimiento tácito derivado de limitaciones físicas, sensoriales o cognitivas, que redundan en soluciones para esta población.

Justamente, es posible delimitar la Tecnología Asistiva dentro de un enfoque holístico que integra la naturaleza humana situándola como intermediaria entre las dificultades que surgen de la interacción propia del sujeto con el contexto, supliendo capacidades motoras o cognitivas, instaurándose así como una interfaz entre la persona y la vida que le gustaría llevar (Desmond et al., 2018), posicionándose como un *término general para los productos y servicios conexos utilizados por las personas con discapacidad para permitir y mejorar su inclusión en todos los ámbitos de participación* (de Witte et al., 2018) indistintamente de la índole de su restricción (física, sensorial o cognitiva) o del tipo de actividad que se pretenda desarrollar.

De lo anterior, es posible evidenciar su dominio y alcance a soluciones encaminadas a favorecer la integración de la comunidad con algún tipo de discapacidad en cualquier contexto de la vida en sociedad, buscando fortalecer sus habilidades funcionales y suplir las necesidades originadas de su interacción con el medio, cuyo objetivo es *suscitar espacios de integración social donde los sujetos puedan crear una identidad propia mediante la interacción sin limitaciones con su entorno* (Montes et al., 2020), de forma tal que abordar problemáticas sociales implica, indefectiblemente, evocar aspectos culturales propios de la comunidad afectada, reflejando un conjunto de requerimientos que deben reconocerse al momento de plantear una solución, la cual, debe dar cuenta de sus necesidades y de cómo estas se integran a su contexto partiendo de aspectos socioculturales, respondiendo así a la imperante necesidad de sustentar respuestas a estas problemáticas más allá de un conjunto de preceptos teóricos situando a la comunidad como eje sustancial en su desarrollo e implementación.

Es precisamente allí, donde el concepto de Innovación Social entra en escena y adquiere un papel protagónico, *entendiendo que el rol de los actores inmersos en dichas problemáticas debe adquirir un carácter protagónico de cara a la formulación de medidas efectivas, estructuradas desde las propias comunidades, constituyéndose en un ejercicio de construcción colectiva de conocimiento, donde es posible plasmar un conjunto de requerimientos tácitos que suscitan un escenario a partir del cual la apropiación de dichas soluciones puede ser exitosa* (Arenas et al., 2020).

En congruencia, la Innovación Social se define como *nuevas ideas, modelos y servicios que tienen la virtud de satisfacer nuevas necesidades sociales y de bienestar desde nuevas relaciones entre los agentes implicados desde una cultura colaborativa* (Martínez, 2017), en tanto se pretende configurar aspectos teóricos y sociales dentro de una acción conjunta y grupalmente asistida, buscando satisfacer una demanda social, bien sea conjurando métodos, dispositivos o servicios, entendiendo que *la capacidad de innovar en el ámbito social está estrechamente vinculada al conocimiento y a la capacidad de dar respuesta a las necesidades sociales y ciudadanas, a imaginar y plantear soluciones como un atributo personal o de un grupo de personas basado en aptitudes y valores culturales e interpersonales* (Camargo et al., 2017).

En tal sentido, la convergencia entre la tecnológica y la Innovación Social puede entenderse como *un accionar interdisciplinar que aborda objetivos puntuales dentro de una comunidad, apoyando su labor en las virtudes de las TIC con el fin de configurar soluciones novedosas suscitadas desde los sujetos directamente involucrados* (Arenas et al., 2020). Siendo así, una plataforma que propende por un quehacer colaborativo dirigido desde y para la comunidad, como eje central de creación o adaptación de soluciones, delimitadas exclusivamente por una serie de requerimientos sociales suscitados desde las características socioculturales de la comunidad afectada, tal como lo expone Martínez (2017):

La innovación social supone un engranaje donde, para fortalecer la inclusión social, la calidad de vida y el bienestar humano, los beneficiarios participan en procesos de codecisión en una gran variedad de intervenciones cruzadas, ya sean de nuevos modelos económicos colaborativos, de formas éticas de financiación, de nuevas tecnologías para fines sociales y de nuevas formas organizativas en red. Todas estas dimensiones forman parte del engranaje que hacen de la innovación social un nuevo ecosistema del cambio y la transformación social a pequeña, mediana o gran escala. Estos componentes no quedan encasillados o aislados, sino que interactúan en un ecosistema de relaciones vivas y dinámicas entre sí mismas y con las instituciones tradicionales.

En tal aspecto, este binomio se instituye como una construcción comunitaria de conocimiento que deriva en una inteligencia colectiva, la cual, puede entenderse como un *sistema cognitivo auto-sostenido, auto-dirigido, integrado y distribuido que involucra tanto a otros humanos como a la tecnología para resolver exitosamente problemas más allá de las capacidades cognitivas de cualquier individuo fuera del sistema más grande* (Pelka y Terstrip, 2016).

Permitiendo abordar problemas sociales complejos desde sus cimientos, aproximándose a estos desde una perspectiva holística gestada desde la experiencia de los actores directamente involucrados, disponiendo de soluciones no solo más eficientes, sino acordes a los rasgos socioculturales propios de cada comunidad, que para los efectos del proceso de investigación desarrollado hace referencia a las personas en situación de discapacidad física y sensorial.

3. MÉTODO

3.1 Enfoque y tipo de investigación

El trabajo de investigación que se presenta se desarrolló desde la perspectiva del enfoque cualimétrico o mixto, al respecto Pérez (2011) refiere que la investigación mixta es *un estudio donde el investigador combina técnicas de investigación, métodos, enfoques, conceptos o lenguaje cuantitativo o cualitativo en un solo estudio* (p. 18). En coherencia con el enfoque planteado, el proyecto se ejecutó siguiendo los lineamientos del tipo de investigación descriptiva que, de acuerdo con Abreu (2012), encaja en las dos definiciones de las metodologías de investigación, cuantitativas y cualitativas, lo que posibilita recopilar información, datos y narraciones a partir de los cuales se describen acontecimientos y fenómenos sociales, por lo cual la descripción posibilita organizar los hallazgos en patrones o categorías específicas que surgen durante el análisis de los mismos.

3.2 Población

De acuerdo con los objetivos planteados en el proceso de investigación, la población participante fue un grupo de 30 personas en situación de discapacidad integrado por 15 jóvenes y 15 adultos respectivamente, los cuales se seleccionaron por evidenciar características similares y se clasificaron de acuerdo con lo referido por el DANE (2019) frente a la categorización de grupos etarios. Así, los jóvenes fueron personas entre los 18 y 28 años y los adultos sujetos entre los 29 y 59 años cuya distribución se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución poblacional

Grupo Etario / Tipo de Discapacidad	Física	Visual	Auditiva
Jóvenes	5	5	5
Adultos	5	5	5

La participación de los sujetos vinculados fue voluntaria, lo que se constituyó en un muestreo no probabilístico por conveniencia, que de acuerdo con Otzen y Manterola (2017) se define como aquel que *permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador*. Por lo tanto, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Ser parte de uno de los grupos etarios establecidos (jóvenes o adultos).	No estar dentro del rango de edades establecido (18 a 59 años)
Contar con una discapacidad física o sensorial.	No tener algún tipo de discapacidad.
Tener residencia en la ciudad de Ibagué.	No diligenciar el consentimiento informado.
Participar voluntariamente en el proyecto.	No estar radicado en la ciudad de Ibagué.
Diligenciar y firmar el consentimiento informado.	No participar voluntariamente en el proyecto..

3.3 Técnicas e instrumentos

Se utilizaron como técnicas e instrumentos la entrevista abierta semiestructurada, el grupo focal y la encuesta, los cuales se aplicaron con el propósito de reconocer las vivencias de la población participante en torno a la apropiación de la ciudad identificando las principales barreras que enfrentan a diario en el contexto citadino, así como, valorar la incidencia de la aplicación desarrollada desde la perspectiva del sujeto en situación de discapacidad física y sensorial en torno a la re-significación del derecho a la ciudad en Ibagué a partir del proceso de Innovación Social.

Los instrumentos fueron validados a través de la estrategia denominada validación de contenido por juicio de expertos, debido a que posibilita evaluar las categorías pertinentes al desarrollo del ejercicio investigativo. En ese sentido se hizo uso de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008), quienes definen la validez de contenido por juicio de expertos como *una opinión informada de personas con trayectoria en el*

tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones a partir de cuatro (4) categorías de análisis: claridad, coherencia, relevancia y suficiencia.

3.4 Procedimiento

El proceso de investigación se estableció a partir de seis momentos: 1) Reconocimiento disciplinar, 2) Acercamiento a la comunidad, 3) Planeación (diseño de instrumentos), 4) Desarrollo de la aplicación, 5) Pilotaje (aplicación, interpretación y análisis de los resultados), y 6) Socialización.

3.5 Consideraciones éticas

Tomando como referencia lo establecido en la Resolución 008430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, el proceso realizado para efectos de la normatividad fue catalogado como investigación con riesgo mínimo el cual hace referencia a

Estudios prospectivos que emplean el registro de datos a través de procedimientos comunes consistentes en: exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico o tratamientos rutinarios, entre los que se consideran: pesar al sujeto, electrocardiogramas, pruebas de agudeza auditiva, termografías, colección de excretas y secreciones externas, obtención de placenta durante el parto, recolección de líquido amniótico al romperse las membranas, obtención de saliva, dientes desiguales y dientes permanentes extraídos por indicación terapéutica, placa dental y cálculos removidos por procedimientos profilácticos no invasores, corte de pelo y uñas sin causar desfiguración, extracción de sangre por punción venosa en adultos en buen estado de salud, con frecuencia máxima de dos veces a la semana y volumen máximo de 450 ml en dos meses excepto durante el embarazo, ejercicio moderado en voluntarios sanos, pruebas psicológicas a grupos o individuos en los que no se manipulará la conducta del sujeto, investigación con medicamentos de uso común, amplio margen terapéutico y registrados.

En este orden de ideas la clasificación se justificó por cuanto el proyecto desde su diseño metodológico contempló la incorporación voluntaria de sujetos (población invidente, sorda y en situación de discapacidad física) con el propósito de realizar análisis de fenómenos y situaciones sociales a partir de la aplicación de instrumentos cualitativos y cuantitativos, de tal forma que desde la fase de recolección de información no se afectara los participantes en la investigación, quienes previamente diligenciaron el consentimiento informado acorde con los parámetros estipulados en los artículos 15 y 16 de la mencionada reglamentación.

4. RESULTADOS

Desde la experiencia cotidiana de los participantes se encuentra que la ciudad no está diseñada para que las personas en situación de discapacidad disfruten plenamente la ciudad, por tanto, su vivencia está limitada por las barreras que cotidianamente enfrentan y que hacen referencia a aspectos comunicativos, sociales y físicos. Con relación a los elementos comunicativos, es posible evidenciar que tanto jóvenes como adultos refieren que las principales barreras hacen referencia a la ausencia de señalización, falta de implementación del sistema braille, ausencia de alertas visuales y sonoras, ausencia de tecnologías inclusivas, superficies sin textura adecuada y desconocimiento de la lengua de señas, tal y como se muestra en el Figura 1, en donde para los adultos el mayor porcentaje se encuentra en las ausencias visuales y sonoras a diferencia de los jóvenes quienes refieren el desconocimiento de la Lengua de señas y las superficies sin textura para el caso de las personas con discapacidad sensorial.

Por otro lado, con relación a las barreras de tipo social los hallazgos muestran, en coherencia con el Figura 2, que desde la percepción de los participantes, al realizar desplazamientos en la ciudad el estigma incide de forma significativa en la experiencia de los sujetos, quienes enfrentan sentimientos de lástima y compasión, discriminación, murmullos o silencios, indiferencia, señalamientos, prejuicios, anulación, uso de palabras inadecuadas e insolidaridad; siendo tanto desde la perspectiva de jóvenes como de adultos, la insolidaridad, el uso de palabras inadecuadas y los sentimientos de lástimas los comportamientos y actitudes sociales que más afectan el disfrute pleno y en condición de igualdades de los espacios que la urbe ostenta.

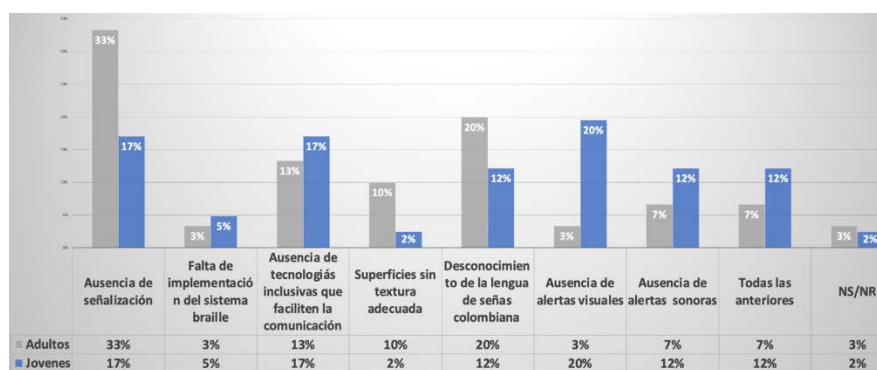


Figura 1. Barreras Comunicativas

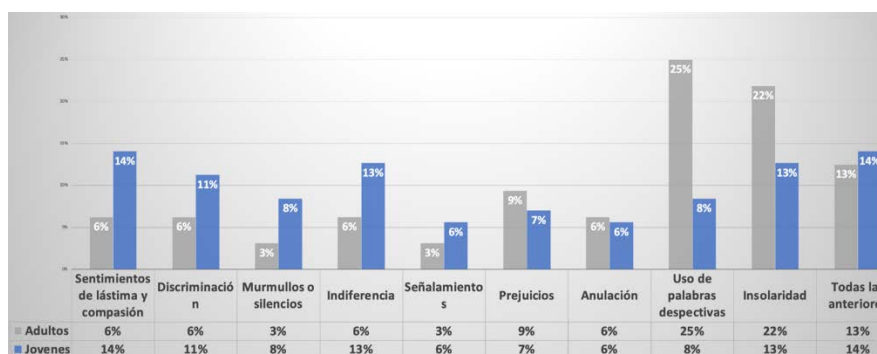


Figura 2. Barreras Sociales

Así mismo, en torno a los aspectos físicos de la ciudad, se evidencia que los sujetos en situación de discapacidad deben enfrentar cotidianamente ambientes cambiantes y transitar en espacios cuyas barreras y obstáculos impiden su accesibilidad, participación e inclusión. Las calles se constituyen en la principal barrera de acceso desde la perspectiva de las personas con discapacidad física y visual: andenes sin rampa o irregulares, rampas empinadas, desniveles en el pavimento, superficies sin textura, alcantarillas y rejillas de drenaje son las principales dificultades que experimentan. Por su parte, las personas con discapacidad auditiva refieren que la ausencia de señalización, el desconocimiento generalizado de la lengua de señas colombiana y la ausencia de alertas visuales son las barreras de acceso que más deben enfrentar en la ciudad. Así, al comparar los grupos etarios, tal y como se muestra en la Figura 3, los adultos refieren que las rampas empinadas y los tachos o estoperoles son la principal barrera a diferencia de los jóvenes quienes mencionan las tapas de alcantarillas, los andenes irregulares y las rejillas de drenaje.

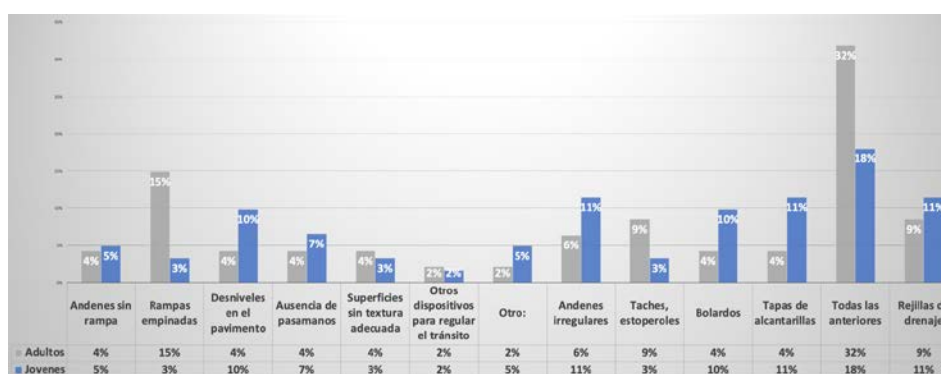


Figura 3. Barreras Físicas

Una vez identificadas las barreras y obstáculos que enfrenta la población en situación de discapacidad física y sensorial en la ciudad de Ibagué, se establecieron los requerimientos derivados de las necesidades propias de la comunidad en situación de discapacidad, constituyéndose en un proceso de Innovación Social que permitió el diseño de la aplicación móvil para la georreferenciación de puntos accesibles, a partir de la cual se pretendió promover la re-significación del espacio desde su función social. En la Tabla 3 se describe los seis requerimientos funcionales del aplicativo, lo que se constituyó a su vez en un proceso de construcción colectiva de conocimiento, ubicando a los usuarios como eje central de su desarrollo.

Tabla 3. Requerimientos funcionales aplicativo

Requerimiento	Descripción del requerimiento
RFC1	Los espacios geo-referenciados dentro del aplicativo deben responder a unas condiciones mínimas de accesibilidad identificadas por la propia comunidad en situación de discapacidad.
RFC2	La interfaz del aplicativo debe ser accesible para usuarios con discapacidad visual (etiquetas descriptivas disponibles para los lectores de pantalla)
RFC3	La interfaz del aplicativo debe ser accesible para usuarios con discapacidad auditiva (señalética en Lengua de señas Colombiana).
RFC4	El aplicativo debe validar que cada punto ingresado cumpla con las condiciones mínimas de accesibilidad establecidas desde la comunidad.
RFC5	La información de los usuarios y los puntos geo-referenciados deben permanecer encriptados y no debe guardarse registro de la persona que lo marcó dentro de la aplicación.
RFC6	El mapa de puntos accesibles debe ser público y estar disponible para cualquier persona que quiera acceder a dicha información.

Así, se llega a la construcción final de aplicativo tal y como lo muestra la Figura 4, cuyo uso en la voz de los participantes, a partir del grupo focal, posibilitó un escenario para *resignificar la ciudad*, construyendo nuevas formas de verla; es decir, se (re)elaboraron los significados en torno a la relación con el espacio y las prácticas subjetivas e intersubjetivas que en él se establecen.

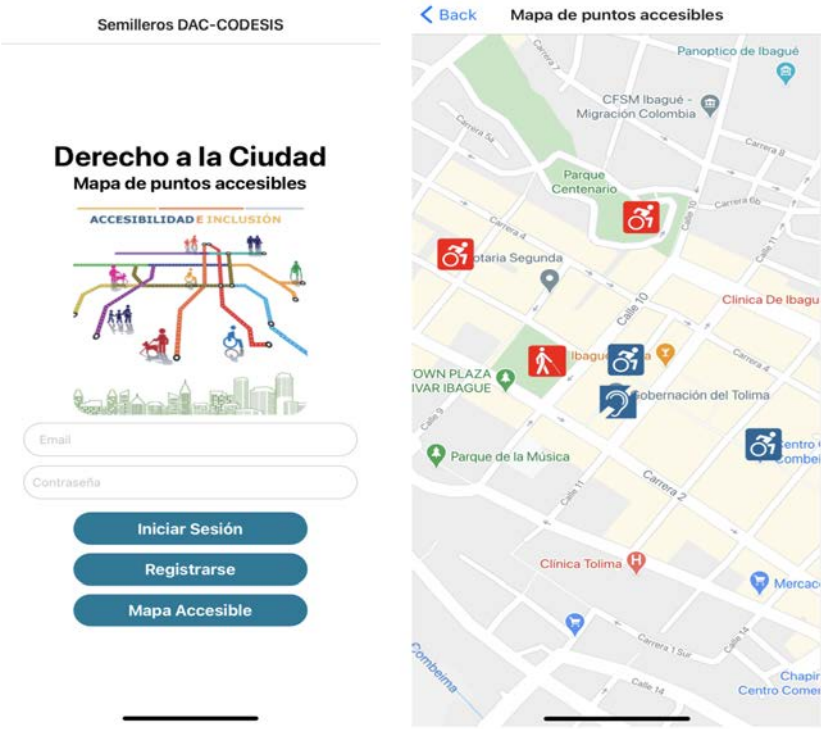


Figura 4. Aplicativo de puntos accesibles

De acuerdo con lo descrito, las Tablas 4 y 5 evidencian los resultados obtenidos a través del desarrollo del grupo focal con cada uno de los grupos etarios, que tuvo como propósito valorar la incidencia de la aplicación desarrollada desde la perspectiva del sujeto en situación de discapacidad física y sensorial en torno a la re-significación del derecho a la ciudad en Ibagué. Así pues, las tablas en mención dan cuenta de la voz de los participantes y su experiencia con el aplicativo de cara a la vivencia de la ciudad.

Tabla 4. Grupo Focal Adultos

A partir del uso del aplicativo: ¿consideran que su perspectiva de la ciudad ha cambiado? ¿Por qué?	Invidentes	Se ha afirmado, no ha cambiado pues a través del mapeo que hemos realizado es posible ver cómo siguen faltando elementos para nosotros como invidentes o personas con baja visión. No hay señalética, no hay alertas sonoras, en los edificios hay muchas escaleras y donde hay ascensor no se indica audiblemente el piso en el que se abre y cierra etc. La perspectiva de la ciudad creemos que es la misma, definitivamente Ibagué tiene muy pocos sitios accesibles para personas invidentes o con discapacidad visual; creemos que es por desconocimiento y porque definitivamente todo está diseñado para personas sin discapacidad o normales. Se habla de diseño universal, pero en la práctica no se cumple.
---	------------	--

A partir del uso del aplicativo: ¿consideran que su perspectiva de la ciudad ha cambiado? ¿Por qué?	Físicos	<p>El uso del aplicativo nos ha permitido conocer algunos sectores de la ciudad que son accesibles y que antes no teníamos en cuenta. Todos tenemos algunos sitios que frecuentamos y que son comunes, pero otros no, entonces cada uno conoce sitios específicos y eso nos ha ayudado, porque al mapear podemos fijarnos qué otras partes de la ciudad pueden tener cierto grado de accesibilidad y eso servirá para conocer más Ibagué.</p> <p>Nosotros teníamos la percepción de que la ciudad era menos accesible, sin embargo, consideramos que en los últimos años se ha dado más el tema de accesibilidad en las edificaciones por las normas mejorando el acceso a centros comerciales, algunas oficinas y uno que otro parque de reciente construcción. Pero a pesar de esto, no se tiene una accesibilidad completa porque, por ejemplo, hay rampas en algunos edificios pero su inclinación no favorece nuestra autonomía.</p>
	Sordos	<p>Consideramos que la ciudad es un lugar maravilloso que lamentablemente no podemos disfrutar en su totalidad por las limitaciones que tenemos para lograr la comprensión con los oyentes. La experiencia con el aplicativo nos permitió ver con más claridad esta situación, dándonos cuenta que son realmente pocos los sitios que cuentan con el centro de relevos como apoyo en la interacción sordo-oyente, los cuales no teníamos presente antes de realizar el proceso de mapeo.</p> <p>Sería muy interesante que la aplicación pudiera usarse sin necesidad de tener acceso a datos en el celular, pues como saben muchos Sordos no cuentan con planes de internet permanente y si no se necesitara el internet uno podría constantemente marcar los puntos.</p>
	Invidentes	<p>Para los jóvenes es una gran oportunidad, ellos cada vez reclaman mayor autonomía e inclusión y disponer de esta herramienta contribuye a que reconozcan mejor la ciudad, pero también a que tengan evidencia por decirlo de alguna manera para exigir igualdad en medio de la diferencia.</p> <p>El uso del aplicativo para los jóvenes creemos que les permite tener un panorama más esperanzador y amplio de la ciudad, incluso se puede constituir en un medio de incidencia para generar cambios y motivar la participación social y ciudadana, puesto que los jóvenes forman agrupaciones con mayor facilidad y se integran con los amigos de su misma condición sin mayores dificultades.</p> <p>Los logros que obtengan los jóvenes servirán también para nosotros los adultos, pues, aunque el aplicativo es útil para todos, nosotros los adultos ya tenemos experiencia y estamos acostumbrados a nuestras rutinas. Uno termina por acostumbrarse a salir a lo estrictamente necesario y a las entidades o instituciones donde suplimos necesidades básicas e inmediatas; los jóvenes en cambio son más aventureros, más arriesgados y están interesados en disfrutar espacios más allá de los convencionales.</p>
	Físicos	<p>Los jóvenes son más dados a salir y a formar grupos, entonces la aplicación les sirve mucho porque pueden tener otros puntos de encuentro y ayudar también a marcar la ciudad. Esta aplicación al ser nueva permite que nosotros mismos seamos quienes indiquemos qué tan bien está Ibagué en este tema, por donde podemos transitar, donde podemos estar y donde no.</p> <p>A nuestro modo de ver la aplicación sirve tanto para jóvenes como para adultos, creemos que es un paso importante que se está dando para mejorar nuestra participación y esto genera también inclusión.</p> <p>Aunque sirve para ambos, si es importante mencionar que por ejemplo marcar los parques es importante para los jóvenes quienes han entrado en la época de hacer ejercicios y salir e integrarse, incluso formar equipos deportivos, lo cual es muy valioso porque de una u otra forma se apropien de esos escenarios.</p>
	Sordos	<p>Los jóvenes son muy hábiles en todas estas herramientas y aplicativos tecnológicos, incluso manejan muchas que nosotros no manejamos, pues se nos dificulta un poco más, por eso creemos que será una nueva herramienta para que puedan explorar y manejar alimentándola para cada vez tener más puntos accesibles.</p>

Tabla 5. Grupo Focal Jóvenes

A partir del uso del aplicativo: ¿consideran que su perspectiva de la ciudad ha cambiado? ¿Por qué?	Invidentes	<p>Más que la perspectiva de la ciudad, lo que ha cambiado es el conocimiento de la ciudad, tener la posibilidad de desplazarnos a sitios que antes eran desconocidos o que generaban temor, para mapearlos e identificarlos como accesibles o no, hace que uno piense la ciudad como un espacio más amplio.</p> <p>Con el uso del aplicativo hemos sido más conscientes de qué tan accesibles son los sitios que frecuentamos, por ejemplo, nosotros formamos parte del equipo de fútbol, tenemos un entrenador del IMDRI, pero solo podemos entrenar en una cancha que es la del topacio, pues es la única adaptada. Antes nos conformábamos y adaptábamos, pero ahora consideramos importante tener más escenarios deportivos.</p> <p>También la carrera tercera, por ejemplo, hablando de movilidad tiene una franja con textura que es exclusiva para nosotros y uno se guía, pero hay un problema que no es de</p>
---	------------	--

		la construcción sino de las personas, los vendedores ambulantes invaden esos espacios y uno tiene que transitar por donde sitios estrechos, poniendo en riesgo nuestra integridad. Sería muy interesante que no solamente nosotros los que tenemos discapacidad usemos la aplicación, este es un tema que todos debemos tener en cuenta, entonces si las personas videntes la conocen y la usan también puede ser una forma de sensibilización.
	Físicos	El aplicativo puede ser una plataforma para expresar nuestras inconformidades frente a las limitaciones que tiene la ciudad, a pesar de ello es grato encontrar que hay zonas de la ciudad que si bien no están 100% adaptadas, brindan una posibilidad para que personas como nosotros podamos ser más independientes, para que podamos compartir espacios de recreación o de ocio, que podamos disfrutar de la ciudad en lugares que nunca frecuentamos por el temor a no poder ingresar o a necesitar ayuda, y si bien en términos de accesibilidad a Ibagué le falta mucho, este tipo de cosas nos motivan a salir y hacer nuestra parte como aquellas personas que estamos directamente implicadas dentro de esta problemática.
	Sordos	El aplicativo nos ha parecido muy interesante porque hemos podido identificar algunos lugares accesibles que, si bien son pocos, nos dan una visión diferente de la ciudad y esperamos que sirva para que más lugares se preocupen por brindar accesibilidad a nuestra comunidad. Incorporar el centro de relevos como uno de los requisitos para marcar puntos accesibles nos parece un acierto, ya que en nuestro caso las barreras comunicativas son las más relevantes.
¿Cómo considera que el uso del aplicativo ha incidido en jóvenes y adultos frente al disfrute de la ciudad?	Invidentes	Es útil para jóvenes y adultos, porque todos nos beneficiamos, compartiendo, conociendo, mapeando y haciendo mayor uso de los sitios con mayor grado de accesibilidad. Así mismo quienes nos representan que usualmente son adultos, pueden tener bases para buscar mejorar las políticas públicas y planes de acción, porque, aunque hay normas estas no se cumplen en la totalidad, pues todo es construido por videntes, no por invidentes. Nosotros hemos logrado agruparnos y formar equipos y asociaciones y vincularnos a asinviol, esta es una oportunidad para tener soportes o evidencias para decirle al gobierno, a la alcaldía etc. qué necesitamos, cómo estamos y hacia dónde vamos.
	Físicos	Al momento de desplazarnos fuera de la casa a un lugar que no conocemos llevamos el temor de encontrarnos con algún obstáculo o con que el sitio que pretendemos visitar no es accesible para la silla de ruedas, y el aplicativo nos ha sido muy útil, para marcar aquellos lugares que no son accesibles y compartir nuestra experiencia con otras personas, esto nos brinda mucha tranquilidad al momento de movernos por la ciudad, lo cual es beneficioso tanto para jóvenes como para adultos y nos facilita los desplazamientos con más autonomía.
	Sordos	Para nosotros los jóvenes ha incidido de manera positiva, pues complementa los demás aplicativos a los cuales tenemos acceso por nuestra condición, como centro de relevos, etc. Poderlo usar, nos permite conocer los lugares que son accesibles o no accesibles, y así podernos desplazar y disfrutar. Para las personas adultas, creemos que ha incidido mucho más, porque muchos de ellos no salen a ningún lugar por temor a no poderse comunicar con ninguna persona y si lo hacen, lo hacen acompañados por el temor a la discriminación que muchas veces existe, por esta razón, consideramos que es muy interesante para ambos grupos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La ciudad hoy es un contraste de disparidades, es la ciudad mecanizada que emerge con una dinámica acelerada, la cual no sería posible sin los sectores comerciales, industriales y tecnológicos que producen bienes y servicios y sin una red de transporte robusta que promueva el intercambio y tránsito entre hombres y mercancías; pero también es la ciudad que no da cabida en tales sectores a quienes no responden a los estándares corporales, intelectuales y de producción que la sociedad impone y en cuyos espacios públicos y privados se deslegitima el derecho a la ciudad de las personas en situación de discapacidad. En la voz de los participantes, Ibagué tiene una infraestructura precaria, tanto pública como privada, en materia de instituciones y organizaciones accesibles y se hace necesario promover acciones desde abajo que posibiliten la participación para la toma de decisiones y generación de políticas encaminadas a visibilizar las necesidades de las personas en términos de accesibilidad.

Lo anterior, incide en la percepción de libertad, autonomía y seguridad en la ciudad. No es posible una movilidad libre e independiente cuando la ciudad se convierte en un desafío constante a causa de las barreras físicas, sociales y comunicativas que impone a sus habitantes, pues de acuerdo con lo expuesto en la mayoría de los casos se requiere el acompañamiento de un tercero, quien usualmente es un cuidador,

para lograr el desarrollo de actividades cotidianas más allá de la seguridad del hogar. Esto repercute en la autonomía y en la posibilidad de ser y estar socialmente activo, una autonomía como la describe Venturiello (2013) para las personas con discapacidad, un espacio que favorece su aislamiento es también un espacio que genera pérdida de autonomía. Postura que se fundamenta en una libertad desde la construcción entre sujetos, no desde un ser que prescinde de los otros; es decir, a partir de un enfoque relacional donde el sujeto decide cuándo, dónde y con quienes relacionarse apelando a un mayor desenvolvimiento social.

Ahora bien, la accesibilidad en la ciudad y su función social son dos categorías relacionadas. Al ser la ciudad un escenario poco accesible para el sujeto en situación de discapacidad, la vivencia de su dimensión social también se ve afectada, puesto que el escenario ciudadano da cuenta de una normalidad implícita que legitima unos cuerpos sobre otros a partir de una construcción social hegemónica de la corporalidad. En tal sentido, la práctica social y el intercambio subjetivo al tener como escenario de reproducción un espacio físico, los obstáculos o barreras que existan en este último, entorpecen en cierta forma la dinámica social de la persona en situación de discapacidad. Al respecto, los participantes refieren que en Ibagué no todos los espacios públicos y privados son propicios para socializar, justamente porque no son accesibles, lo que en palabras de Venturiello (2013) se debe a que el espacio físico no solo es la superficie para los encuentros y desencuentros, también es parte activa en esa relación, por lo que el disfrute del espacio como derecho se relaciona directamente con lo que los participantes denominan sectores de afinidad y sectores de rechazo.

Lo anterior permite entender cómo las personas les dan significado a los lugares de la urbe, pero no solo a nivel de representaciones, sino también como parámetros que orientan sus relaciones con el espacio, traduciéndose en emociones y comportamientos (Silva, 2000) de cara a afrontar la discapacidad, a manera de libreto cultural determinado por normas y prácticas de un grupo social que inculca la concepción de un cuerpo ilegítimo.

En este término, desde el proceso de Innovación Social, a partir del uso del aplicativo, se diferenciaron los imaginarios contruidos de la ciudad, de las vivencias contruidos en la ciudad en donde se logró, por una parte, la apropiación de escenarios antes no contemplados como posibles rutas para ser, estar y trascender en la ciudad y, por otra, se logró una vinculación de los sujetos indistintamente de su tipo de discapacidad, lo que para los participantes constituye una nueva forma de relación social desde el espacio; siendo mutuamente incluyentes y buscando cohesionadamente la reivindicación de sus derechos.

Así, a partir del uso de la aplicación desarrollada se logró la participación de las personas en situación de discapacidad física y sensorial, (re)elaborando los sentidos y apropiaciones de su entorno, dado que la sociedad es tecnológicamente construida, y la tecnología es socialmente conformada proceso que además hizo evidente la necesidad de un *tránsito de ciudades invisibles a ciudades iguales y participativas por su integración en la vida de la comunidad* (García, 2012).

6. CONCLUSIONES

Las personas en situación de discapacidad comparten percepciones en torno al espacio y su función social, las cuales dan cuenta de la experiencia cotidiana de los sujetos desde los condicionantes del derecho a la ciudad. La ciudad es entonces el escenario donde el hombre se desarrolla individual y colectivamente y se constituye en obstáculo o posibilidad para la interrelación, a partir del diseño y construcción de espacios marcados por la carga ideológica imperante, que exhiben un precepto social de cómo debe ser el individuo.

La ciudad es pues, un sistema complejo integrado por entornos de apropiación constante y uso colectivos que fomenta el encuentro para unos y el confinamiento para otros, otorgando un sentido y un significado en virtud de los preceptos de normalidad imperante, en donde la experiencia de lo cotidiano supone ir más allá de las ataduras impuestas por las estructuras basales y romper los esquemas de significado anclados a la relación binaria normal/patológico, a partir de una disposición reflexiva de las prácticas cotidianas que impregnan el acontecer diario de imaginación, plasticidad y dinamismo como sentido recursivo del sujeto.

Si bien existen diferencias entre jóvenes y adultos relacionadas con la vivencia del espacio, en la mayoría de los casos se comparte la experiencia en torno a las barreras y obstáculos que se enfrentan a diario desde

los aspectos comunicacionales, sociales y físicos, las cuales inciden en su proceso de integración a ámbitos propios de la vida en sociedad tales como la escuela, entidades de salud, instituciones de trabajo, escenarios de ocio y recreación.

El derecho a la ciudad no debe ser opcional, voluntario y basado en las concepciones de unos pocos, urge proponer nuevas formas de usufructo de la urbe y por tanto de inclusión social para las personas en situación de discapacidad, en donde el diseño y construcción de escenarios posibles transformen la naturaleza actual excluyente en un ejercicio de reivindicación de sus derechos de manera equitativa e igualitaria.

REFERENCIAS

- Abreu, J. (2012). Hipótesis, método & diseño de investigación. *International Journal of Good Conscience* 7(2), 187-197.
- Arenas, A., Aldana Porras, J. M., Castellanos García, G. et al. (2020) Ciudad, discapacidad e innovación social digital: APP móvil para la georreferenciación de puntos accesibles. *Revista Espacios* 41, 426-443.
- Camargo, J. E. P., Contreras, F. G. y Jiménez, Y. Y. R. (2017). Estado del arte de la innovación social: Una mirada a la perspectiva de Europa y Latinoamérica. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales* 82, 563-587.
- Comité de Ayudas Técnicas. (2009). Tecnología Asistiva. Recuperado: <https://www.asistiva.com.br/tassistiva.html>
- Correa, L. (2010). ¿Qué significa tener derecho a la ciudad? La ciudad como lugar y posibilidad de los derechos humanos. *Territorios* 22, 125-149.
- DANE. (2019). Metodología Proyecciones de Población y Estudios Demográficos PPED. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- de Witte, L., Steel, E., Gupta, S., Ramos, V. D. y Roentgen, U. (2018). Assistive technology provision: Towards an international framework for assuring availability and accessibility of affordable high-quality assistive technology. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 13(5), 467-472.
- Desmond, D., Layton, N., Bentley, J. et al. (2018). Assistive technology and people: a position paper from the first global research, innovation and education on assistive technology (GREAT) summit. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 13(5), 437-444.
- Escobar P., J. y Cuervo M., A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición* 6(1), 27-36.
- Fernández, F. (2018) *¿Cómo se produce un espacio discapacitante? Perspectivas del espacio en la geografía de la discapacidad. Geografías del presente para construir el mañana*. Centro de Investigaciones Geográficas CIG.
- García, A. H. (2012). La discapacidad como factor de exclusión social: evidencias empíricas desde una perspectiva de derechos. *Disertación Doctoral*. Universidad de Salamanca.
- Gutiérrez, J. (2008) Persona con discapacidad y ciudad minusválida. Percepción de la ciudad de México desde la discapacidad motriz y la discapacidad visual. *Disertación Doctoral*. Universidad Iberoamericana.
- Harvey, D. (2008). El derecho a la ciudad. *New left review* 53(4), 23-39.
- Linares-García, J., Hernández-Quirama, A. y Rojas-Betancur, H. M. (2018). Accesibilidad espacial e inclusión social. *Ciencias sociales y Humanas*, 18(35), 115-128.
- Margulis, M. (2005). *La cultura de la noche*. En Margulis, M. (Ed.), *La cultura de la noche, la vida nocturna de los jóvenes en Buenos Aires*. Biblos.
- Martínez-Celorio, X. (2017). La innovación social: orígenes, tendencias y ambivalencias. *Revista de Ciencias Sociales* 247, 61-88.
- Montes, J., Aldana, J. y Castiblanco, D. (2021). Promoting the self-efficacy of deaf people through the application of translator of signifiers. En CIT 2020. Quito, Ecuador.
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International journal of morphology* 35(1), 227-232.
- Pelka, B. y Terstrip, J. (2016). Mapping the Social Innovation Maps-The State of Research Practice across Europe. *European Public & Social Innovation Review* 1(1), 3-16.
- Pérez, Z. P. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista electrónica Educare* 15(1), 15-29.
- Reguillo, R. y Godoy, M. (2005). *Ciudades translocales: Espacios, flujo, representación - Perspectivas desde las Américas*. ITESO.
- Sagredo, M. S. C. (2006). El paisaje sonoro: "Una experiencia basada en la percepción del entorno acústico cotidiano". *Revista de folklore* 302, 49-56.
- Silva, A. (2000). *Imaginarios urbanos*. Tercer Mundo Editores.
- Venturiello, M. (2013). Los cuerpos con discapacidad en los diferentes ámbitos sociales: Espacios físicos e interacciones sociales. En *VII Jornadas de Jóvenes Investigadores*. Buenos Aires, Argentina.

Traductor de significantes a lengua de señas: La tecnología asistiva como mediadora de la interacción comunicativa sordo oyente

John Fredy Montes Mora¹

Gloria Esperanza Castellanos G.²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Colombia

En este capítulo se presenta un análisis reflexivo de la interacción sordo oyente, fortalecido por el desarrollo de una aplicación para traducción de significantes a Lengua de Señas Colombiana LSC como estrategia de comunicación inclusiva en Ibagué, Colombia. Es producto de una investigación que tuvo dentro de uno de sus objetivos, implementar un prototipo de la aplicación a partir de los requisitos técnicos de visión computacional, con una base de conocimiento de 100 significantes. La investigación se orientó desde un enfoque mixto de tipo descriptivo no experimental, cuya población participante estuvo integrada por diez sujetos en situación de discapacidad auditiva y diez oyentes: familiares, profesores y pares educativos. Dentro de las técnicas de recolección de información, se diseñó una entrevista abierta estructurada y una encuesta que permitiera identificar desde la percepción de los sordos, la necesidad de generar un proceso de comunicación inclusiva en términos de autoeficacia. Igualmente, para el desarrollo del aplicativo móvil se utilizó la Metodología Mobile-D, a través de la cual se comprende el proceso integrado, desde el desarrollo de la aplicación en el entorno de desarrollo Android y su integración con la visión computacional o por computadora, subcampo de la inteligencia artificial. Esta reseña permite prever el impacto de esta temática, que junto con el análisis de categorías, como: interacción, comunicación, discapacidad auditiva y traductor de significantes, entre otras, permitió dilucidar que la discapacidad auditiva no solo es sensorial, sino que también tiene un componente interactivo y por tanto, busca contribuir al cierre de la brecha comunicativa de la población sorda con respecto a los oyentes, resignificando el valor comunicativo de la LSC como facilitadora y aportando a la desmitificación del sordo como persona imposibilitada.

¹ Ingeniero de Sistemas, Especialista en Informática y Telemática, y Magíster en E-Learning.

Contacto: John.montes@unad.edu.co

² Psicóloga, Especialista en Gerencia de Recursos Humanos y Desarrollo Organizacional, y Magíster en Educación y Desarrollo Humano.

Contacto: gloria.castellanos@unad.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este discurso no es la persona que está en una silla de ruedas o aquella que usa una prótesis auditiva, o aquella que no aprende según el ritmo y la forma como la norma espera, sino los procesos históricos, culturales, sociales y económicos que regulan y controlan el modo a través del cual son pensados e inventados los cuerpos, las mentes, el lenguaje, la sexualidad de los otros (Skliar, 1997).

La comunidad sorda considerada socialmente como una minoría lingüística por sus particularidades y a razón de las prácticas comunicativas clasificatorias que impone la estructura social dominante, ha estado destinada al plano de la invisibilidad y la exclusión, por lo que la comprensión de las interacciones comunicativas entre sordos y oyentes ha sido un tema de estudio que ha cobrado relevancia en la actualidad. Esto se sustenta en el presupuesto de que por años se ha buscado incluir socialmente al sordo desde los preceptos de normalidad, buscando, por decirlo de alguna manera, su ingreso al mundo oyente, en donde el castellano se evidencia como la principal barrera pero a la vez como la principal meta en términos comunicativos, lo que relega el entendimiento de la interculturalidad y por ende el reconocimiento de la otredad en medio de la igualdad y de la diferencia como orillas estrechamente vinculadas.

Así, la situación problemática radica en el proceso de comunicación, base fundamental para la socialización a través del lenguaje y códigos simbólicos que facilitan la relación con el otro y que, en palabras de Moreno (2011), dicho proceso *posibilita, mediante el discurso conversacional, el desarrollo de la interacción social, puesto que el habla envuelve una actividad social cuyo desarrollo surge a partir del intercambio lingüístico, derivado de los múltiples encuentros sociales*. Por lo tanto, la adquisición del lenguaje nos conecta con la singularidad del otro, con el contraste, y se constituye en la base de todo acto social constituyéndose en el medio utilizado por el sujeto para la formación de lo humano independientemente de cual sea la modalidad de medio de expresión que utilice para tejer relaciones.

Para Watzlawick et al. (1985), la interacción comunicativa posee cinco conceptos denominados axiomas de la comunicación, los cuales son relevantes para su comprensión a saber: es imposible no comunicar, todo acto, expresión, silencio, mirada, acontecimiento, reflejo, etc. provee información en el intercambio comunicativo. La comunicación implica un compromiso que define la existencia de un contenido, por lo tanto, tiene un poder transformador en la relación con los interlocutores. El concepto de interacción está mediado por el intercambio secuenciado de mensajes entre los interlocutores, lo que implica que dicho proceso no es un proceso estático, sino dinámico que se enriquece con el otro; dicho intercambio comunicativo se da a través de dos modalidades, la digital (lo que se dice) y la analógica (como se dice); y las relaciones comunicativas pueden ser simétricas es decir que están basadas en conductas recíprocas, como se establece en la interacción sordo-sordo, oyente-oyente, o complementarias basadas en las diferencias de los interlocutores, que se puede establecer con personas sin distingo cultural o lingüístico.

Por lo anterior, a partir del desarrollo del proceso de investigación presentado se logró hacer uso de la tecnología asistiva TA como mediadora de la interacción comunicativa sordo-oyente, siendo justamente el desarrollo de una aplicación para la traducción de significantes a Lengua de Señas Colombiana, el objetivo primordial del ejercicio desarrollado, como una forma de propiciar escenarios igualitarios y promover prácticas sociales incluyentes a partir de las cuales se realice la importancia de la vida en sociedad para la construcción de la identidad individual y colectiva.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 La integración de dos mundos: del yo al Nos-otros

Los seres humanos son esencialmente lingüísticos, quienes a través de la comunicación establecen un proceso complejo de interacción, que aporta a la construcción de individualidades; sin embargo, este compartir de códigos lingüísticos, conecta con la otredad de quien aprende y se fortalece el proceso de socialización, a través del lenguaje basado en símbolos que se usan para significar cosas, y es lo que configura la interacción humana y permiten crear y recrear el mundo en el que disfrutan su cotidianidad.

Dicho proceso de interacción comunicativa difiere en la relación sordo oyente, toda vez que la persona sorda emplea una lengua de señas que implica una relación diferente, por la privación para escuchar el tono y el volumen de la voz de las personas con quienes interactúa. Oviedo (2003) explica que la lengua de señas es un sistema lingüístico que se habla con las manos y tiene la posibilidad de transmitir sentimientos, opiniones, ideas, conocimientos y emociones; en ese sentido, las personas sordas pueden transmitir sus emociones a través de la lengua de señas, que a su vez perfecciona con sus actitudes, gestos y comportamientos que complementan lo que desean comunicar, proceso que se hace evidente en los primeros años de vida en la relación madre-hijo sordo, en la cual se establece un proceso de interacción significativa que facilita la comunicación, inicialmente a través de la lengua casera, como preámbulo a la adquisición del Lenguaje propio de su cultura, acompañado de aprendizajes paulatinos que les permitirá vivenciar una realidad compartida. Frente a esto, Oviedo (2001) afirma que:

Los lingüistas de las lenguas señadas aluden a dos estadios anteriores a la formación de una lengua de señas: los códigos señados caseros y los códigos señados colectivos restringidos. El primero hace referencia a la creación de un sistema híbrido por parte de familias oyentes con hijos sordos. Estos niños, la mayoría de las veces, no pueden aprender de forma satisfactoria la lengua hablada, razón por la cual los problemas de comunicación se cumplen, en las comunidades que las usan, funciones idénticas a las que cumplen las lenguas habladas por las personas oyentes: se adquieren naturalmente, permiten a los niños desarrollar el pensamiento, resuelven las necesidades comunicativas y expresivas cotidianas de la comunidad, se convierten en un factor de identidad de grupo, etc.

Por lo tanto, la familia crea y se convierte en un espacio fundamental para el hijo sordo, toda vez que, aunque está inhabilitado para acceder a su lengua fónica, le permite el intercambio social y comunicativo, contribuyendo al proceso de socialización, *sine qua non*, ser un sujeto equipado para un desenvolvimiento eficaz en los espacios en los cuales interactúa. De otro lado, dichas relaciones familiares significativas, le facilitan el proceso de expresión a través del lenguaje casero, sus gestos, mímicas y señas, y aunque no usan los mismos códigos, producto de la incompatibilidad lingüística, sí pueden a partir de dicho contacto y habilidad comprensiva de sus señas, generar un equilibrio afectivo en el niño sordo, disminuyendo las barreras de lenguaje, cultura y adaptación al medio, constituyéndose en un aporte preponderante del hablante en dicho equilibrio que además, involucra lo cognitivo y emocional.

Es evidente que, esta lengua casera, o *lengua materna* no ha sido tomada con la relevancia que amerita dicho proceso lingüístico-cognitivo, indispensable para la adquisición de la lengua, como lo afirma Jaichenco (2015), *la adquisición lingüística (de la primera lengua) es una actividad implícita, inconsciente, en el sentido de que no es voluntaria, sino que sencillamente sucede. El niño no necesita que se le enseñe a hablar. Es una actividad que no requiere aprendizaje.*

La Lengua de Señas LS surge entonces como facilitadora de los procesos comunicativos, como *legítima alternativa* para que la población sorda pueda hacer parte de una cultura, con su proceso lingüístico y características identitarias que les reconoce y se abre una puerta importante a la inclusión. Los avances en los procesos de inclusión han sido significativos; sin embargo, siguen existiendo brechas comunicativas materializadas desde una *restricción semiótica* que le lleva a una discrepancia frente a su ilusión por conocer el mundo y todo lo que le rodea y su incomprensión del mismo. Según Skliar (1997), *por siglos la comunidad de sordos ha estado limitada al tema de la sordera, en donde los oyentes han mantenido sus estrategias colonizadoras decidiendo lo más adecuado para ellos y llevando la discusión, casi exclusivamente, al ámbito de la rehabilitación y, por ende, desde un punto de vista patológico.*

Ahora bien, esta mirada de la persona sorda desde el modelo médico, ha trascendido a una mirada socio-antropológica, donde se prioriza la diferencia lingüística más que una limitación sensorial. Al respecto, Sacks (1991) afirma:

Una persona sorda puede ser culta y elocuente, puede casarse, viajar, llevar una vida plena y fructífera, y no considerarse nunca, ni ser considerada, incapacitada ni anormal. Lo crucial (y esto es precisamente lo que varía muchísimo entre los diferentes países y culturas) es nuestro conocimiento de los sordos y nuestra actitud hacia ellos, la comprensión de sus necesidades (y facultades) específicas, el reconocimiento de sus derechos humanos fundamentales: el acceso sin restricciones a un idioma natural propio, a la enseñanza, el trabajo, la comunidad, la cultura, a una existencia plena e integrada.

Así pues, el lenguaje se constituye en una herencia cultural viva que logra transmitir mensajes y experiencias reflexivas en sus interlocutores convirtiéndose en estímulo para la acción, es decir, todo proceso comunicativo actúa desde la complejidad asignando significado, lo que implica una comprensión de quien transmite el mensaje y quien lo recibe; sin embargo, de manera sorprendente, la comunidad sorda sigue siendo excluida de muchos espacios que van desde los recreativos hasta los académicos, lo que en cierta medida perpetúa implícitamente el planteamiento de Aristóteles desde su postura paradigmática relacionada con la lengua en la educación de los sordos, al identificar tres principios:

1. Solo la palabra articulada puede dar cuenta de la facultad del lenguaje. La imposibilidad o la dificultad de articular claramente los sonidos de la lengua vocal, fundamento del lenguaje para Aristóteles, deja ciertos sordos (principalmente los sordos de nacimiento), en una inferioridad de *ser humano hablante*, al punto que podemos encontrar en la historia de las ideas, diversas comparaciones de los sordos a ciertos animales (monos, puercos, loros, bestias) o incluso salvajes, monstruos, etc.
2. Sin la posibilidad de escuchar, los sordos no podrán escribir porque la escritura es la pintura de las palabras escuchadas/oídas.
3. El lenguaje tiene, para Aristóteles, una finalidad fundamental: la sociabilidad humana. Todos los lugares donde se desarrolla la vida de los hombres (calle, escuela, talleres, teatro) están atravesados por la palabra y la palabra se realiza a través de ellos, delimitando así los espacios de inclusión y de exclusión. El niño aprende la lengua de la *polis* en el seno de su familia, esta lengua es la lengua del diálogo, del intercambio de la comunidad humana. De otro lado, la condición de posibilidad de la lengua es el órgano que le da un soporte físico (la boca, el oído, las cuerdas vocales son las que permiten la articulación de los sonidos).

Siguiendo este razonamiento los sordos quedarían doblemente excluidos: de la lengua de la familia (la mayor parte de sordos son hijos de padres oyentes), que es la que transmite la lengua de la *polis* y que a su vez es la lengua de las funciones sociales y políticas; y de la lengua misma, puesto que la sordera impide el acceso espontáneo al soporte físico (auditivo y sonoro) a partir del cual la lengua se construye según el modelo aristotélico. Los sordos no tendrían entonces acceso al lenguaje y en consecuencia, tampoco accederían a la vida social y política.

Con lo anterior, el planteamiento de Aristóteles permite una influencia negativa sobre la valoración de la persona sorda, considerándolos como ciudadanos desvalidos, sin poder, incluso sin lenguaje propio y, por ende, excluidos de la vida en sociedad, restringiendo la cantidad y calidad de sus interacciones. Esta postura ideológica ha generado crudos imaginarios que han redundado en un aumento significativo de las personas sordas consideradas analfabetas, o *iletrismo sordo*, entendido como un manejo insuficiente de la lectura y de la escritura que impide el acceso al sentido del texto y aumenta la brecha sordo-oyente. Por lo tanto, no es posible aprender el lenguaje a solas, requiere la interacción con otros que tengan capacidad y competencia lingüísticas, y a su vez, el desarrollo cerebral y de las capacidades intelectuales está mediado por la experiencia del lenguaje.

Para algunos investigadores, existe una significativa representatividad de la comunicación no verbal, Mehrabian (1972) refiere que el poder de la comunicación se debe solo por el 7% a las palabras (componente verbal), por el 38% a tono, inflexión y otras características de la voz (componente paraverbal), y por el 55% a expresiones faciales, lenguaje corporal, movimientos y contacto ocular (componente no verbal).

Es evidente que la LS se constituye como una forma de comunicación no verbal, tan válida como la oral; sin embargo, esta última ha sido reconocida históricamente por la sociedad, como la única forma de integración e interacción social, como si en la relación con el sordo no se reconociera la otredad como una forma de expresión de la igualdad en medio de la diferencia. Acoger la diferencia en mí, mi diferencia y la del otro, las otras y los otros, supone partir de un cierto extrañamiento, de una cierta distancia, a menudo vivida como dolorosa en la relación con el Otro. Porque ciertamente, si el Otro no estuviera ahí, no habría palabra, no habría relación, no habría vida humana (Skliar y Larrosa, 2009).

Así pues, pese a que de acuerdo con lo referido, se hace necesario el reconocimiento del otro en tanto sujeto social, independiente de su condición o situación, aún, en la actualidad, las personas con discapacidad auditiva (prelocutiva o congénita, poslocutiva y/o hipoacúsica) salvan cotidianamente obstáculos en diversos ámbitos de su vida y aunque han sido significativos los avances para contribuir al reconocimiento de dichas barreras que en la mayoría de los casos son comunicativas, todavía existe un desconocimiento hacia este tipo de discapacidad, por lo que a manera de ejemplo podría mencionarse las dificultades laborales (Kramer, 2008), las dificultades en la realización de actividades de ocio (Braun et al., 2006), las limitaciones en la participación social (Yamada et al., 2012) y las dificultades lecto-escriptoras (Domínguez, 2003) que enfrenta esta población.

Por lo anterior, para mitigar o compensar este tipo de dificultades en la comunicación, surge la tecnología de apoyo como una forma de resignificar la concepción de sordo como sujeto incapaz, puesto que, existen códigos propios de su cultura que legitiman su forma de actuar en el mundo, contribuyendo a su construcción identitaria, de tal forma que se logre a través de la tecnología fomentar su cultura, pero además fortalecer la comunicación sordo oyente en un mundo signado por la palabra.

Así pues, en la actualidad es posible encontrar distintas soluciones tecnológicas orientadas a facilitar estos procesos comunicativos, dentro de las cuales es posible identificar los audífonos, los implantes cocleares (Van Hoesel, 2012), los equipos de frecuencia modulada FM, los bucles magnéticos y así como diferentes sistemas de retransmisión para la comunicación: redes y protocolos de comunicación de Internet que favorecen la interacción entre las personas sordas signantes y el resto de los ciudadanos (Keating y Mirus, 2003). Esta tecnología permite mitigar o compensar las limitaciones comunicativas que afectan a las personas sordas, sin importar del grado, tipo de pérdida o lengua utilizada para su comunicación diaria.

En coherencia, la Tecnología Asistiva TA ha logrado abarcar distintas áreas de la ingeniería, propiciando un escenario ideal para la integración de lo técnico y lo social, extendiendo su dominio a nuevos campos del conocimiento, tal como es el caso de la Inteligencia Artificial, la cual, ha permitido extrapolar desarrollos propios de otros campos y ponerlos al servicio de la comunidad sorda, como es el caso de las tecnologías de reconocimiento de caracteres OCR que fungen como un enlace entre el lenguaje escrito y el signado.

2.2 Dos culturas conectadas a través de la tecnología de ayuda

De acuerdo con el contexto anteriormente descrito, es claro que la comunidad sorda constituye su propia cultura, toda vez que, se encuentra integrada por un número de personas que comparten características identitarias permitiéndoles reconocerse en su propio mundo. Al respecto, Bruner (1990) define la cultura *como un acuerdo entre personas en la que se comparten símbolos, signos, costumbres, rituales y prácticas productivas, su configuración debe ser incluyente en la medida en que todas las personas que hacen parte de esta conocen y se adaptan a ella*. Ahora bien, la lengua y la forma de comunicación de las personas sordas, encierra un factor clave para constituir dicha cultura, ante lo cual Clavería (2007) considera a los sordos como *un grupo cultural que comparte valores y posee un lenguaje específico. La definición cultural de la comunidad sorda enfatiza la posesión de un lenguaje común o de experiencias compartidas que caracterizan a un grupo de gente, en este caso sorda*.

Desde otra perspectiva, se encuentra la cultura tecnológica que busca contribuir desde una mirada científico-técnica al mejoramiento de la calidad de vida de estas comunidades. Cook y Hussey (1995) definen la importancia de las tecnologías de ayuda para las personas en situación de discapacidad, basándose en un modelo Human activity assistive technology model HAAT. Este modelo está constituido por elementos como el capital humano, la actividad, la tecnología de ayuda y el contexto de la interacción, actuando como interfaces entre la persona en situación de discapacidad, en este caso, comunidad sorda y las herramientas y recursos disponibles para todo tipo de personas sordo oyentes.

En la Figura 1 se describe una relación de todos los elementos con las tecnologías de ayuda. En el esquema se describe cómo esta tecnología influye en el contexto (Interfaz contexto) en interacción con el capital humano (Interfaz hombre-máquina) y los resultados obtenidos a través de este proceso (actividad).

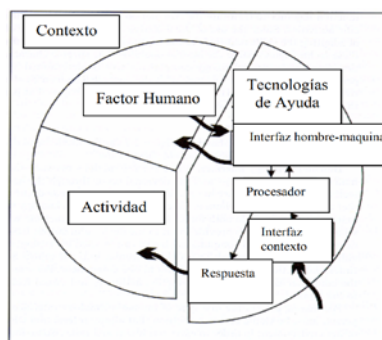


Figura 1. Análisis del papel de las Tecnologías de Ayuda en el modelo HAAT
Adaptado del Modelo de Tecnologías de Ayuda en el modelo HAAT (Cook y Hussey, 1995)

De acuerdo con lo descrito y haciendo referencia específica a la problemática de la comunidad sorda en torno a los procesos comunicacionales con los oyentes, es importante resaltar el valor que agrega la tecnología a través de la cual la comunicación es lograda por la información que provee el entorno y por el alto grado de interacción que, en algunos casos, pueden presentar inconsistencia lo que conlleva a respuestas incorrectas. En ambos casos, la tecnología de asistencia puede proporcionar soluciones al intervenir entre el sujeto y el entorno, permitiendo que los datos de entrada sean procesados entregando una respuesta pertinente para comprensión por parte del sujeto.

Las Tecnologías entonces, contribuyen a la eliminación de barreras que afectan el desarrollo de habilidades sociales de las personas en situación de discapacidad, toda vez que proporcionan herramientas para sobrevivir en sociedad. Desde la perspectiva de la relación entre la demanda de habilidades sociales en determinadas actividades y la capacidad del usuario para realizar estas competencias, aparecen más o menos disfunciones, que suelen agravarse en el caso de las personas en situación de discapacidad. Esta disfunción se puede paliar con medidas de accesibilidad, diseñadas para que la población sorda, se aproxime con la capacidad para realizar actividades, utilizando asistencia técnica para mejorar las habilidades de los usuarios e intentando acercarse o adaptarse al entorno y con las herramientas de asistencia técnica que intentan mejorar las habilidades de los usuarios, tal y como se muestra en la Figura 2 relacionada con el análisis del papel de las tecnologías de ayuda en el modelo HAAT.

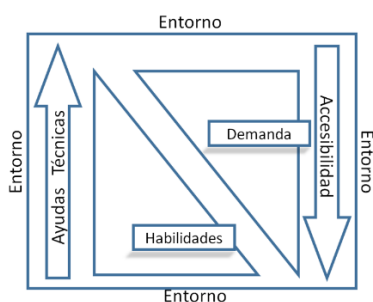


Figura 2. Análisis del papel de las Tecnologías de Ayuda en el modelo HAAT
Adaptado de Modelo HAAT (Cook y Hussey, 1995)

Así pues, la tecnología se constituye en una herramienta que propicia el desarrollo exitoso de la interacción social, en donde es primordial la comunicación como una experiencia sociolingüística que contribuye a los procesos de inclusión. Al respecto, Segovia (1999) menciona que:

Para una comunidad es fundamental la comunicación y son las carencias en este campo las menos toleradas por la sociedad, por lo que esta discapacidad lleva aparejadas una serie de circunstancias que problematizan las posibilidades de verdadera integración, en su sentido amplio de inserción, comunicación espontánea y fluida, interacción, intercambio y mutua interdependencia en un plano de igualdad.

Dicho proceso de interacción, puede causar resistencia en algunas personas en situación de discapacidad, afortunadamente, en los últimos avances tecnológicos, el auge de los sistemas móviles y otros dispositivos portables, como los sistemas de aprendizaje ubicuos y el *Internet de las cosas*, ayudan a mejorar las

habilidades de comunicación de este grupo poblacional; de esta manera, la interacción dispositivo-usuario basada en el uso de estas tecnologías de asistencia e interfaces naturales accesibles, utilizables y adaptables, es esencial para el desarrollo integral de las personas sordas. Parece evidente que el habla y la audición constituyen dos de las capacidades básicas de los seres humanos, puesto que ambas contribuyen a comunicar y percibir pensamientos, necesidades, sentimientos e ideas, la pérdida de cualquier de ellas puede ocasionar un sinnúmero de dificultades cotidianas de la persona oyente-sordo.

Por ende, los componentes del modelo HAAT juegan un papel importante para el reconocimiento de las necesidades de la persona en situación de discapacidad en coherencia de su contexto y el papel protagónico de la tecnología como soporte técnico que favorece sus habilidades sociales.

En la actualidad, tanto en la población oyente como en la población sorda, ha ocurrido una alta demanda en la adquisición de dispositivos inteligentes, sea esta por moda o por comodidades a la hora de ejecutar acciones comparables a las realizadas por una computadora, pero de forma inmediata y portable, de igual manera, ha aumentado el desarrollo de aplicativos con diferentes propósitos para todo tipo de población. La variedad, rendimiento y capacidad de estos equipos, logra ajustarse a las disposiciones de los usuarios según sus necesidades especiales, tal vez por la predilección de un determinado sistema operativo o por la estética que presenta un determinado modelo.

Debido a la integración de nuevos elementos, estos dispositivos tienen evoluciones esencialmente diferentes y muy relacionadas con sus arquitecturas, y estos cambios han dado paso al desarrollo de nuevas y mejores aplicaciones y piezas clave de proyectos de investigación, habiendo demostrado ser excelentes opciones para crear herramientas que pueden ayudar a las personas en situación de discapacidad.

La Tecnología Asistiva es vista hoy como una disciplina, porque consiste en la aplicación, desde una perspectiva global e integradora, de las más variadas tecnologías al entorno de la discapacidad, como servicio, programa, herramienta, artefacto, lógica de operación, organización, sistema de comunicación, normativa, entre otros; que permite substituir o atenuar las deficiencias funcionales, sensoriales, cognitivas, sociales de las personas con discapacidad, para permitirles una mayor equiparación con el resto de la sociedad (Roca et al., 2004).

La transformación que han experimentado los dispositivos móviles en su aspecto y en su desempeño resulta muy significativo, porque anteriormente su poder radicaba en su nivel de procesamiento, almacenamiento, modos de comunicación y en la captura y reproducción de audio y video, lo que ha trascendido, toda vez que, en la actualidad se disponen de una mayor potencialidad gracias a su sonorización misma que ha impulsado el incremento de sus funcionalidades y por ende, contribuir a la capacidad funcional de las personas en situación de discapacidad.

3. MÉTODO

3.1 Enfoque y tipo de investigación

La metodología desde la cual se realizó la investigación, corresponde a un enfoque mixto, que entrelaza lo cualitativo y cuantitativo, los cuales se potencian en su interacción. Torres (2019) define el enfoque mixto o métodos híbridos como *la integración sistemática de los métodos cualitativos y cuantitativos en un solo estudio con el fin de obtener una 'fotografía' más completa del fenómeno, y señala que estos pueden ser conjuntados de tal manera que las rutas cuantitativas y cualitativas conserven sus estructuras y procedimientos originales, (forma pura de los métodos mixtos)*, con la finalidad de comprender, contrastar, discernir y profundizar el fenómeno de estudio.

Desde esta perspectiva, el proceso se desarrolló a partir de la implementación de dos fases; una fase inicial que tuvo como objetivo realizar un análisis reflexivo de la interacción comunicativa sordo-oyente y una segunda fase, que implicó el desarrollo de la aplicación para la traducción de significantes a Lengua de Señas Colombiana LSC como estrategia de comunicación inclusiva en Ibagué, Colombia.

De acuerdo con lo anterior, la presente disertación se orienta en el desarrollo de la segunda fase, cuyo propósito fue implementar un prototipo de la aplicación a partir de los requisitos funcionales identificados con la población participante en la fase inicial, desde la aplicación de instrumentos como la encuesta y la entrevista abierta estructurada. Así, la segunda fase relativa al desarrollo de la aplicación en mención se sustenta en tres etapas:

1. Levantamiento de requisitos (a partir de los datos suministrados en la primera fase por los participantes).
2. Desarrollo del aplicativo, donde se estableció la plataforma de desarrollo y las tecnologías que son la base del algoritmo y la interfaz gráfica.
3. Evaluación de usabilidad efectuada con los usuarios finales puntualizando la función del aplicativo dentro del contexto cotidiano como medio de interacción comunicativa sordo oyente.

3.2 Participantes

La población objeto de estudio estuvo integrada por diez sujetos en situación de discapacidad auditiva que hacen parte de la Asociación de sordos del Tolima ASORTOL, y diez oyentes: familiares, profesores y pares educativos. La participación de los sujetos vinculados a los grupos mencionados será voluntaria, lo que se constituye en un muestreo no probabilístico por conveniencia, que consiste en seleccionar una muestra de la población por el hecho de que sea accesible. Así pues, para seleccionar la población sorda se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión y exclusión como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión para la selección de la población sorda

Criterios de Exclusión	Criterios de Inclusión
No ser sujeto en situación de discapacidad.	Ser persona mayor de edad.
No firmar el consentimiento informado.	Ser sujeto en condición de discapacidad auditiva.
No ser residente del municipio de Ibagué.	Ser residente del municipio de Ibagué.
No expresar su voluntad de participar en el proceso.	Expresar su voluntad de participar en el proceso.
	Firmar el consentimiento informado.

4. RESULTADOS

4.1 Levantamiento de requisitos

El desarrollo de la aplicación móvil (traductor de significantes a Lengua de Señas) se constituyó en Tecnología Asistiva, evidenciándose como un ejercicio donde los actores inmersos en la problemática establecieron un conjunto de requisitos que dieron cuenta de las necesidades comunicativas de la población sorda; de allí, que el diseño respondió a una serie de disposiciones asociadas directamente con las barreras comunicativas, las cuales, surgen de su praxis cotidiano.

A partir de allí, se sustentan una serie de requisitos que delimitan qué es lo que el sistema debe hacer (sus funciones) y sus propiedades esenciales, reflejando de forma explícita las necesidades de la población, que posteriormente determinan unos requisitos a nivel técnico, precisando la plataforma e infraestructura a utilizar; así pues, al momento de situar al usuario como elemento primordial en el desarrollo del aplicativo móvil y teniendo como insumo las entrevistas realizadas en la primera fase del proyecto, a las personas de la comunidad sorda, fue posible establecer los requisitos de la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos funcionales para el aplicativo

Requisito	Descripción
RFAS1	El aplicativo debe estar mediado en su totalidad por una interfaz adaptada a la lengua de señas, donde el castellano sea un elemento de apoyo y no el elemento base para la interacción con el usuario
RFAS2	El aplicativo debe contar con una base de datos de significantes (100 inicialmente), que representen la mayor cantidad de escenarios posibles en los cuales puede desenvolverse una persona sorda
RFAS3	La aplicación debe incluir una base de datos que relacione cada uno de los significantes establecidos con su correspondiente traducción en lengua de señas (video).
RFAS4	La aplicación debe seguir los lineamientos del paradigma de diseño universal en pro de ser accesible por usuarios con otros tipos de discapacidad

RFAS5	La interfaz del aplicativo debe ser intuitiva, e integrar de forma amigable los elementos emergentes que contengan las traducciones a lengua de señas
RFAS6	El aplicativo debe ser escalable y facilitar la inclusión periódica de nuevos significantes.
RFAS7	El aplicativo debe respetar los principios de privacidad de las personas sordas, la información del usuario debe permanecer encriptada y ninguna de las imágenes de los significantes traducidos quedará registrada o asociada al usuario.
RFAS8	La aplicación debe ser multiplataforma (Android – IOS).

Por otra parte, y en coherencia con el requisito funcional RFAS2, se estableció una base de datos de 100 significantes, los cuales fueron seleccionados de forma conjunta por la comunidad sorda participante y validados por un intérprete de Lengua de Señas Colombiana LSC y miembro de la Asociación Tolimense de Intérpretes de Lengua de Señas Colombiana ATILS. Estos significantes se dividieron en cuatro categorías, tal como lo muestra la Tabla 3, los cuales se identificaron en función de su uso cotidiano, como una forma de acortar la brecha comunicativa con la comunidad oyente.

Tabla 3. Listado de significantes

Espacios Físicos Bancario	Espacios Físicos Hospitalares	Espacios Físicos - Centro Comercial	Espacios físicos Universidad
<ul style="list-style-type: none"> · Ventanilla de Pago · Asesor · Oficina del Gerente · Caja · Asesor Comercial · Atención al Usuario · Oficina Subgerente · Sala de Espera · Cajero Automático 	<ul style="list-style-type: none"> · Sala de Espera · Sala · Consulta externa · Urgencias · Admisión · Almacén · Administración · Entrada a Urgencias · Cuidados Intensivos · Radiología · Citaciones · Farmacia · Morgue · Rehabilitación · Esterilización · Cafetería · Unidad de Pediatría · Laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> · Baños · Entrada Principal · Ascensores · Escaleras · Plazoleta de Comidas · Parqueadero · Escaleras eléctricas · Zona Bancaria · Administración · Cinema · Gimnasio 	<ul style="list-style-type: none"> · Rectoría · Biblioteca · Registro y Control · Parqueadero · Auditorio · Sala de Sistemas · Recepción · Cafetería · Sala de comunicaciones · Talento Humano · Secretaría · ECSAH · ECBTI · ECEDU · ECISA · ECAPMA · INVIL

4.2 Desarrollo de la aplicación

A partir de los requisitos funcionales planteados se suscitan una serie de requisitos a nivel técnico, que dan cuenta de la selección de la plataforma de desarrollo y de las librerías seleccionadas para la implementación del aplicativo, entendidas como un conjunto de herramientas asociadas al lenguaje de programación. Así pues, se estableció Node JS como entorno en tiempo de ejecución multiplataforma soportado por Javascript como lenguaje de programación base. Igualmente, como marco de ejecución para el aplicativo móvil se utilizó React Native con el fin de brindar soporte multiplataforma (IOS - Android) en aras de que estuviera disponible para la mayor cantidad de usuarios posibles.

Así mismo, para la segmentación y detección de textos se utilizó la librería de Google Vision API Rest, como elemento primario para el procesamiento de imágenes integrando sus funcionalidades OCR para delimitar los significantes. Por último, la base de datos de la plataforma se sustenta sobre MongoDB mediante una implementación *serverless* enfocada en los servicios en la nube. En tal sentido, la integración de todos los elementos técnicos seleccionados se realiza mediante el diseño de un algoritmo (Figura 3), que da cuenta a nivel estructural de todo el proceso de adquisición, procesamiento, reconocimiento y visualización de la correspondiente traducción del signifiante a LSC.

Por otra parte, y respondiendo a los requisitos funcionales establecidos por la comunidad sorda, la interfaz del aplicativo está adaptada en su totalidad a Lengua de Señas Colombiana, incluyendo menús de acceso, pantalla de bienvenida y textos intermedios. A continuación, se muestra la identificación de un signifiante presente en un letrero como resultado del proceso de captura de la imagen a través de la cámara del celular con ejecución del módulo de reconocimiento de texto (Figura 4).

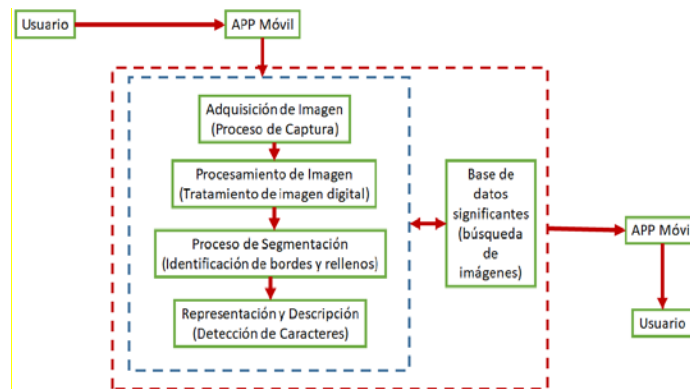


Figura 3. Proceso de captura y reconocimiento de imágenes

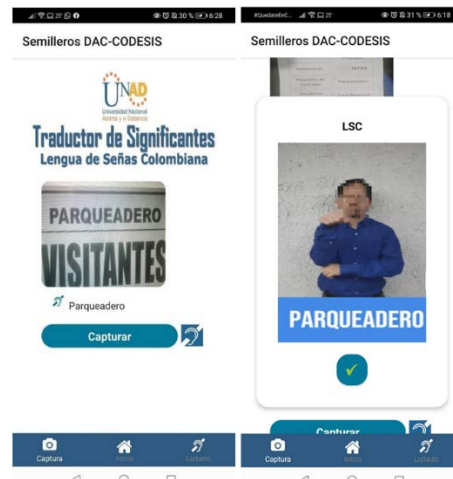


Figura 4. Captura y Reconocimiento del Significante con IA

Igualmente, el aplicativo dispone de una opción que contiene la totalidad de los significantes establecidos para el aplicativo, tal como se muestra en la Figura 5.

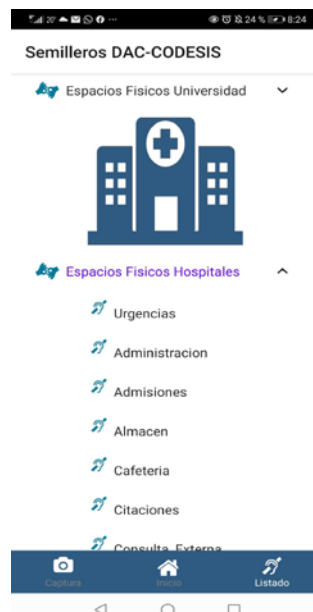


Figura 5. Listado de significantes registrados en el aplicativo móvil

4.3 Evaluación de usabilidad

Como parte del proceso de verificación de usabilidad realizada con la población sorda y sus familiares, se ejecutaron varias pruebas en entornos cerrados y abiertos, estableciendo un entorno determinista con significantes de uso cotidiano, a partir de allí, se les consultó mediante una encuesta distintos aspectos a

evaluar del aplicativo relacionado con la manejabilidad, calidad y utilidad del aplicativo. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 5, diferenciando las respuestas en dos grupos: sordos y familiares. De acuerdo con la Manejabilidad del Aplicativo se evidencia que el 60% de las personas de la comunidad sorda indican que tiene un excelente manejo por lo intuitivo de la interfaz gráfica para ellos, permitiendo con su uso, mitigar o disminuir las limitaciones comunicativas existentes. De igual manera, el 40% de los entrevistados, afirma que tiene fácil manejo pero que puede mejorarse un poco más, con el fin de disminuir las complicaciones que se puedan presentar y aportar soluciones tecnológicas.

Tabla 5. Manejabilidad del aplicativo - sordos

Criterio	Manejabilidad del Aplicativo
Excelente manejo, fácil de utilizar para las personas a las que está dirigida la aplicación.	60%
Fácil manejo, podría tener alguna complicación pero fácil de solucionar.	40%
Manejo regular, requiere un poco de conocimientos con este tipo de aplicaciones.	0
Mal manejo, requiere conocimientos avanzados para poder manejar la aplicación de manera correcta.	0

Por otra parte, de acuerdo con la Tabla 6, el 60% de las personas sordas afirman que tiene una excelente calidad con relación a los procesos, diseño, utilidad y manejabilidad y, por otro lado, el 40% indicaron que tiene buena calidad, pero con algunos aspectos por mejorar en el diseño que facilite su experiencia y destreza con las tecnologías de acuerdo con las características de las comunidades.

Tabla 6. Calidad del Aplicativo - sordos

Criterio	Calidad del Aplicativo
Excelente calidad, en relación velocidad de procesos, diseño, utilidad y manejabilidad.	60%
Buena calidad, aunque le faltan mejoras en algunos aspectos.	40%
Calidad regular, no destaca de las otras aplicaciones de comunicación.	0
Mala calidad, no logra con lo que se espera de una aplicación de comunicación.	0

Ahora bien, de acuerdo con la Utilidad del Aplicativo y en coherencia con la Tabla 7, el 90% de las personas de la comunidad sorda participantes, indicó que el aplicativo tiene una gran utilidad y que aporta significativamente a la comunicación rápida y autónoma, maximizando su independencia, constituyéndose en una herramienta de ayuda en sus procesos de interacción comunicativa. Tan solo el 10% indicó que su utilidad es poca y solo se utiliza para casos aislados.

Tabla 7. Utilidad del Aplicativo - sordos

Criterio	Utilidad del Aplicativo
Gran utilidad, especialmente entre los jóvenes y trabajadores que requieren una comunicación rápida y a distancia.	90%
Buena utilidad, logra con lo esperado, pero solo como complemento de la comunicación.	0
Poca utilidad, su uso sería nada más que para casos aislados.	10%
Ninguna utilidad, no representa ninguna utilidad para las personas a las que está enfocada la aplicación.	0

Por otra parte, se hace necesario describir los resultados respecto a la manera como los familiares de los participantes sordos, conciben su experiencia con el aplicativo, como lo muestra la Tabla 8, haciendo referencia a la Manejabilidad.

Tabla 8. Manejabilidad del Aplicativo - Familiares

Criterio	Manejabilidad del Aplicativo
Excelente manejo, fácil de utilizar para las personas a las que está dirigida la aplicación.	50%
Fácil manejo, podría tener alguna complicación pero fácil de solucionar.	50%
Manejo regular, requiere un poco de conocimientos con este tipo de aplicaciones.	0
Mal manejo, requiere conocimientos avanzados para poder manejar la aplicación de manera correcta.	0

Respecto a la Manejabilidad del Aplicativo para la familia, el 50% de las personas de la comunidad oyente, indicó que el aplicativo tiene un excelente manejo y muy fácil de usar y el otro 50% de las personas afirmó que tiene un fácil manejo con alguna posible falla en la comunicación, pero fácil de resolver, lo que puede ser producto de la experiencia limitada de algunos usuarios con la tecnología.

Para los familiares de la comunidad sorda, en relación a la Tabla 9. Calidad del Aplicativo, el 60% de los familiares, mencionan que tiene una excelente calidad en el diseño, procesamiento y de utilidad; un 30% indicaron que tiene buena calidad con posibles mejoras y, por último, un 10% mencionó que el aplicativo tiene una calidad regular comparada con otras aplicaciones.

Tabla 9. Calidad del Aplicativo - Familiares

Criterio	Calidad del Aplicativo
Excelente calidad, en relación velocidad de procesos, diseño, utilidad y manejabilidad.	60%
Buena calidad, aunque le faltan mejoras en algunos aspectos.	30%
Calidad regular, no destaca de las otras aplicaciones de comunicación.	10%
Mala calidad, no logra con lo que se espera de una aplicación de comunicación.	0

De acuerdo con la Tabla 10, que permite un análisis frente a la Utilidad del Aplicativo por parte de los familiares de la comunidad sorda, se evidencia que el 90% de los participantes, afirman que el aplicativo es de gran utilidad aportando significativamente en la comunidad rápida y a distancia, contribuyendo los procesos de autonomía en actividades instrumentales y aportando a la mayor interacción social de la persona sorda con sus familias y aportando al mejoramiento de sus habilidades sociales. Un 10% indicó que el aplicativo tiene una buena utilidad cumpliendo con lo esperado como complemento a la comunicación requerida.

Tabla 10. Utilidad del Aplicativo - Familiares

Criterio	Utilidad del Aplicativo
Gran utilidad, especialmente entre los jóvenes y trabajadores que requieren una comunicación rápida y a distancia.	90%
Buena utilidad, logra con lo esperado, pero solo como complemento de la comunicación.	0
Poca utilidad, su uso sería nada más que para casos aislados.	10%
Ninguna utilidad, no representa ninguna utilidad para las personas a las que está enfocada la aplicación.	0

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La comunicación es y seguirá siendo un proceso de interacción social esencial para el intercambio entre la comunidad sorda-oyente, la cual sería limitada si no existiera la voluntad del oyente por integrarse al mundo del sordo y la motivación del sordo para establecer procesos de comunicación asimétricas con los oyentes. De acuerdo con los resultados, tanto las personas sordas como las oyentes (familiares, profesores) argumentan que el aplicativo es de gran utilidad tanto para la población joven como trabajadores que requieren alguna información rápida y que, por distancias se ven limitados para acceder a ellas.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia el aporte del aplicativo para contribuir en las relaciones comunicativas que se tejen entre los seres humanos, actuando como mediador en el proceso de inclusión fortaleciendo la cultura de la persona sorda y lograr un buen vivir en su propio mundo, superando la cultura ajena en la cual ha estado subyugado por la hegemonía del mundo oyente. Así pues, los participantes del proyecto, indicaron que la manejabilidad, calidad y usabilidad del aplicativo responde de manera pertinente en su interacción con el entorno a través de la traducción de los significantes que hacen parte de su diario vivir, por otro lado, los familiares indican que en términos de calidad, velocidad y utilidad favorece positivamente los procesos de comunicación pero que pueden ser mejoradas para futuras versiones.

Por otro lado, se evidencian los aportes a las relaciones comunicativas propuestas y analizadas desde tres dimensiones. La intrapersonal que contempla la variable lingüística que para nuestro caso estaría dada por

la lengua de señas o la oralidad, la interpersonal que describe la relación que se genera con el otro en sus diferentes contextos y mediaciones y la pragmática, donde intervienen factores culturales de la comunicación como el uso del lenguaje oral, verbal y no verbal, lengua de señas, símbolos, gestos, mímicas y toda forma de comunicación, donde hasta los silencios tienen su significado.

Por lo tanto, la diversidad cultural del sordo y el oyente permiten un proceso constructivo del saber y de complemento que facilitará la comprensión del mundo desde cada una de sus perspectivas. Para el sordo, el oyente se establece como un soporte en su proceso de conocer el mundo desde sus interpretaciones (del oyente), que en principio supone no saber, de su mundo, de su realidad, de ese otro, sin embargo, le mueve el interés de poseer certezas frente a esta realidad diversa. Para el oyente, el sordo despierta la mejor forma de entender el mundo desde los silencios, a veces prolongados de sus gestos, pero que, le brinda la posibilidad de leer su mundo desde la alteridad.

Y es así como las Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC abren un espectro de posibilidades para que la comunicación se pueda establecer de una forma eficaz y desde un diseño universal que puedan ser utilizados por todas las personas independientemente del tipo de discapacidad que posean. Por lo tanto, con la utilización adecuada de la metodología Mobile-D y la ejecución de sus etapas, se logró llevar a cabo el respectivo levantamiento de requisitos funcionales para la delimitación del sistema, la elección pertinente del entorno de programación, la elección de la librería Vision API Rest para el procesamiento y reconocimiento de imágenes y la consolidación del banco de datos de significantes, que dieran cuenta a nivel estructural, de todo el proceso de adquisición, procesamiento, reconocimiento y visualización de la correspondiente traducción del signifiante a LSC, en cuyas etapas se permitió ver si durante la ejecución del proyecto se encontraban errores y poder solucionarlos antes de la puesta en marco del aplicativo móvil.

Todo lo anterior, estuvo orientado a la búsqueda del fortalecimiento de la lengua como medio de construcción en la diada sordo-oyente, rescatando tanto el lenguaje señado como el hablado, posibilitando la integración de estos dos mundos, el primero visto desde una perspectiva minoritaria pero cada vez con mayor reconocimiento por su riqueza cultural, pues en él, encierra la forma de vida de la comunidad sorda, y el hablado, concebido como dominante pero que se enriquece con un cúmulo de señas, gestos, mímicas, lenguaje no verbal que permite su acercamiento a la comprensión del sordo, inicialmente como herramienta integradora en la interacción comunicativa.

6. CONCLUSIONES

Es innegable el potencial que pueden tener la Inteligencia Artificial en la solución de problemas particulares dentro de la comunidad en situación de discapacidad, fungiendo como herramientas de tecnología asistiva, que brindan facultades que son imposibles de encontrar en paradigmas de las ciencias computacionales más clásicas y que propician escenarios que al aprovechar la popularidad e integración de los dispositivos móviles en la vida en sociedad, posibilitan el desarrollo de aplicaciones como la gestada a partir del proceso de investigación socializado, la cual, se constituye en una herramienta no solo en pro de la inclusión, sino también de la independencia y autonomía del sordo, mejorando su autoeficacia en aras de establecer una sociedad más justa.

La comunidad sorda desde la mirada del modelo socio-antropológico, permite que el sujeto sordo sea reconocido como un sujeto de derechos, que pertenece a una cultura con capacidad identitaria, que comparte una lengua, unas costumbres, unas concepciones de vida y ahora, unas herramientas tecnológicas que le aportan a sus procesos de interacción comunicativa logrando debilitar las fronteras existentes entre el mundo del sordo y del oyente.

Es evidente que existen diferencias comunicativas entre la comunidad sorda y oyente, sin embargo, queda claro que los actos comunicativos no se dan en una sola vía y tampoco pueden asumirse desde un lenguaje universal, realidad visible en el proyecto de investigación, donde cada comunidad, sordo-oyente goza de una riqueza estructural en su lenguaje. Ahora bien, desde investigación, y en coherencia con el aporte del uso del aplicativo, se constituyen significantes mediante el uso de la escritura del castellano, convirtiéndose en la manera de comunicar más “adecuada” entre los sordos y los oyentes.

Si a la universalización de dispositivos móviles como los teléfonos inteligentes, se le adiciona el desarrollo de software como la aplicación resultado de este proyecto de investigación, surgirán nuevas iniciativas producto de la sinergia entre las Universidades, entidades público-privadas con el fin de beneficiar a las comunidades que han sido olvidadas y negadas.

Identificar oportunamente las necesidades de la comunidad sorda desde la voz de sus familias, evidencia el aporte significativo a la inclusión, fruto de la responsabilidad compartida (familia, entidades, universidad, etc.) garantizándose un impacto social directo en lo local, regional y nacional.

Finalmente, el proceso desarrollado a partir del diseño del aplicativo posibilitó resignificar el enfoque tradicional de la TA hacia un modelo de usabilidad colectivo en el contexto social, trascendiendo la concepción clásica de herramienta básica y genérica cuyo sentido se había centrado en la persona sorda de tal manera que el acceso y uso por parte del oyente al aplicativo, propicia un proceso de comunicación en igualdad de condiciones.

REFERENCIAS

- Braun, K. V. N., Yeargin-Allsopp, M. y Lollar, D. (2006). Factors associated with leisure activity among young adults with developmental disabilities. *Research in developmental disabilities* 27(5), 567-583.
- Bruner, J. (1990). *Actos de Significación*. Alianza Editorial.
- Claveria, J. (2007). *El desarrollo socio-afectivo del adolescente sordo*. EOEP Específico de Atención a la Discapacidad Auditiva.
- Cook, A. y Hussey, M. (2001). *Assistive Technologies: Principles and Practice*. Elsevier.
- Domínguez, A. B. (2003). ¿Cómo acceden los alumnos sordos al lenguaje escrito? *Enseñanza* 21, 19.
- Ferreiro, E. (2001). *Leer y escribir en un mundo cambiante*. En Ferreira, M. (Ed.), Pasado y presente de los verbos, leer y escribir. Fondo de Cultura Económica.
- Jaichenco, V. (2015). *Postítulos de Especialización Profesor en Alfabetización Inicial. Módulo. Aportes de las Ciencias Cognitivas a la Alfabetización Inicial*. Infod.
- Keating, E. y Mirus, G. (2003). American Sign Language in virtual space: Interactions between deaf users of computer-mediated video communication and the impact of technology on language practices. *Language in Society* 32, 693-714.
- Kramer, S.E. (2008). Hearing impairment, work and vocational enablement. *International Journal of Audiology* 47, 124-130.
- Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal communication*. Transaction Publishers.
- Moreno, V. (2011). *Técnicas de comunicación con personas dependientes en instituciones*. IC Editorial.
- Oviedo, A. (2001). *Apuntes para una gramática de la Lengua de Señas Colombiana*. Instituto Nacional para sordos.
- Roca-Dorda, J., Roca-González, J. y Del Campo, M. E. (2004). *De las ayudas técnicas a la tecnología asistiva*. En Soto, F. y Rodríguez, J. (Eds.), Retos y realidades de la inclusión digital.
- Sacks, O. (1991). *"Veo una voz". Viaje al mundo de los sordos, Anaya y Mario Muchnik*. Espasa.
- Segovia, J. D. (1999). Discapacidad auditiva. Avanzando y conquistando la Integración. *Revista de currículum y formación del profesorado* 3(2), 1.
- Skliar, C. (1997). Una mirada sobre los nuevos movimientos pedagógicos en la educación de los sordos. En *XX Reuniao Anual do ANPED, Associacao Nacional de Pesquisadores em Educacao*. Brasília, Brasil.
- Skliar, C. y Larrosa, J. (2009). *Experiencia y alteridad en educación*. Homo Sapiens Ediciones.
- Torres, R. H. S. (2019). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta*. SBA.
- Van Hoesel, R. J. (2012). Contrasting benefits from contralateral implants and hearing aids in cochlear implant users. *Hearing Research* 288, 100-113.
- Watzlawick, P., Bavelas, J. B. y Jackson, D. D. (1985). *Teoría de la comunicación humana: Interacciones, patologías y paradojas*. Herder Editorial.
- Yamada, M., Nishiwaki, Y., Michikawa, T. y Takebayashi, T. (2012). Self-Reported hearing loss in older adults is associated with future decline in instrumental activities of daily living but not in social participation. *Journal of the American geriatrics society* 60(7), 1304-1309.

Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de los Tuxtlas, México

Christoph Neger¹

Universidad Nacional Autónoma de México
México

Los incendios forestales presentan uno de los principales desafíos para la conservación de los bosques y las selvas. Si bien forman parte de los procesos ecológicos en diferentes tipos de vegetación, en la mayor parte del mundo los regímenes naturales se han alterado por las actividades humanas. Además de los efectos para el medio ambiente, los incendios forestales también tienen impactos adversos directos e indirectos para la sociedad. Por lo tanto, en áreas propensas a estos eventos se debe implementar un manejo eficaz del fuego, incluyendo actividades de prevención física, legal y cultural, de combate y de restauración de las zonas afectadas. Para poder planificar e implementar adecuadamente las actividades de prevención cultural y legal es preciso saber cuáles son las causas de los incendios forestales. La presente investigación indaga en estas causas en un área específica, la sierra de Los Tuxtlas en el sureste mexicano. Se trata de una región de alto valor ambiental, con la presencia de una reserva de la biosfera, y al mismo tiempo de una zona donde anualmente se registra una cantidad considerable de incendios forestales. El análisis se basa en tres fuentes principales, los datos oficiales de las dependencias gubernamentales, las entrevistas con representantes de las comunidades locales, y una encuesta a la población general en el municipio Soteapan, que cuenta con la mayor cantidad de incendios registrados en los últimos años. Se revelan discrepancias destacadas entre las diferentes fuentes, cambios de la incidencia de las distintas causas en el tiempo y disparidades espaciales entre los diferentes municipios. Aunado a la presentación de los resultados de las fuentes, se agrega una comparación con los datos a nivel nacional y se discuten los factores subyacentes que podrían influir en la incidencia de las causas de los incendios forestales.

¹ Contacto: neger@igg.unam.mx

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un fenómeno que ha estado presente en la Tierra de manera natural desde hace millones de años, con evidencia desde el Paleozoico, causado en la mayor parte por rayos (Pyne, 2019). Es por esto que muchos ecosistemas se han adaptado a los efectos del fuego, al grado que este elemento puede jugar un papel indispensable para la persistencia y el rejuvenecimiento de la vegetación natural en muchas áreas. Este papel benéfico del fuego en los procesos naturales se observa sobre todo en zonas con condiciones lo suficientemente secas, al menos durante alguna estación del año, y con suficiente material combustible. Al contrario, en áreas con condiciones más húmedas, como, por ejemplo, en las selvas perennifolias y sub-perennifolias ubicadas en las zonas de clima tropical, los incendios forestales naturalmente estaban prácticamente ausentes. Las plantas nativas de estas áreas no se han adaptado al fuego y son altamente sensibles a sus efectos (Rodríguez, 2014).

En la actualidad, no obstante, estos regímenes naturales del fuego han sido alterados en prácticamente todo el mundo, debido a la actividad del ser humano, con consecuencias importantes y muchas veces devastadoras para los ecosistemas, e incluso para el clima global, dado que se estima que el 15% de los gases de efecto invernadero son causados por los incendios forestales (Hirschberger, 2016). Pyne (2009) definió en este contexto el Antropoceno, un concepto originalmente introducido por Crutzen y Stoermer (2000) para describir el impacto global de las actividades antrópicas en los ecosistemas, como la era del uso del fuego por el ser humano, en el cual la geografía del fuego natural ha sido remplazada por una geografía del fuego antropogénico.

A nivel global, se estima que ya solo un 4% de los incendios forestales tienen causas naturales (Hirschberger, 2016), tomando en cuenta las vastas zonas boreales con poca densidad poblacional y también áreas con una alta incidencia de rayos en condiciones relativamente secas como por ejemplo en el este de España (Pausas y Vallejo, 1999). En otras áreas, se puede estimar que el porcentaje de los incendios causados de manera natural es aún menor; para México, por ejemplo, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2019), reporta que del 2008 al 2018, a nivel nacional tan solo el 1.6% de los incendios forestales reportados tenía causas naturales.

Además de los impactos nocivos de los regímenes alterados del fuego para el clima y para los ecosistemas, sobre todo en los bosques que no cuentan con adaptación a este elemento, los incendios forestales también tienen efectos directos e indirectos importantes para la sociedad. En primer lugar, se puede mencionar la muerte de personas y las lesiones sufridas, sobre todo por combatientes contraincendios, así como los efectos adversos del humo que se crea a raíz de los incendios para la salud humana. El humo, además, puede formar un impedimento para el tráfico aéreo y vehicular. A esto se le agregan los daños económicos por la destrucción de edificios, de infraestructuras de transporte y de energía, de cosechas y la muerte de ganado. La pérdida de vegetación también puede incrementar el riesgo de deslizamientos, los cuales de igual manera pueden causar daños considerables (International Union of Forest Research Organizations, 2018; Neary y Leonard, 2019; OMS, 2000).

Por lo tanto, es de suma importancia la planificación e implementación de medidas para el manejo del fuego, reestableciendo sus regímenes naturales en zonas con vegetación adaptada al fuego, lo que puede implicar la realización de quemas prescritas, también a manera de prevenir la acumulación excesiva de combustible que podría llevar a incendios más grandes y difíciles de controlar, y suprimiendo en lo posible los incendios forestales en los ecosistemas sensibles al fuego (Jardel et al., 2014; Pérez et al., 2018; Pyne, 2019; Sande et al., 2010).

Una parte esencial de este manejo del fuego es la prevención, que consiste en distintos elementos: la prevención física, la cultural y la legal; la primera se refiere a las acciones técnicas que se realizan para impedir que se pueda originar o extender un incendio, como la creación de brechas cortafuego y la eliminación de combustibles, incluyendo las quemas prescritas. La segunda considera todas las actividades enfocadas en crear conciencia e informar a las personas en áreas susceptibles a los incendios forestales acerca de cómo evitar ser causante de estos eventos. La tercera, finalmente, comprende las leyes y normas relacionadas al uso del fuego.

Para planear y organizar adecuadamente estas actividades de prevención, y designar los recursos disponibles de manera eficiente, es necesario saber cómo se causan los incendios forestales. El conocimiento acerca de estas causas, sin embargo, en muchos países del mundo es incompleto o rudimentario. Tedim et al. (2014), por ejemplo, relatan que en países como Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Portugal y Turquía la categoría de causa de incendios forestales registrada con mayor frecuencia es *desconocida*. En el caso de México, en los datos a nivel nacional generalmente solo se mencionaron las causas conocidas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020); aunque para el 2019 y 2020 sí se publicaron también datos acerca de los incendios con causa desconocida, ocupando el 11% de las causas en el 2019 y el 13% en el 2020.

Como causa principal de los incendios forestales en este país se determinan las actividades agropecuarias, con el 35% de los incendios causados en el 2020, el 31% en el 2019 y el 37% del 2008 al 2018. Como segunda causa más importante se pueden mencionar los incendios intencionales, para cambiar el uso del suelo, por rencillas o por actos de vandalismo (27% en el 2020, 30% en el 2019 y 12% del 2008 al 2018) y las fogatas (9% en el 2020, 12% del 2008 al 2019) (CONAFOR, 2019, 2020, 2021). Estas estadísticas, no obstante, no son del todo completas, y se ha criticado que muchas veces las actividades agropecuarias se registran como causa sin que haya datos verificables (Martínez y Pérez, 2018; Martínez et al., 2015). Aunado a esto, se requieren análisis más detallados a nivel regional o local que permitan que los actores involucrados en el manejo del fuego en estas áreas orienten sus actividades de prevención.

Este trabajo presenta un primer acercamiento al estudio a profundidad de las causas de los incendios forestales en un área específica: la sierra de Los Tuxtlas en el sur del estado mexicano de Veracruz. Se trata de un área con una destacada problemática de incendios forestales (Castillo y Laborde, 2004; Siemens, 2009) y al mismo tiempo de un espacio natural importante, con la presencia de un área natural protegida de relevancia internacional, la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas RBLT, que forma parte de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2018). Para este análisis se toman en cuenta los datos oficiales de las dependencias de gobierno involucradas, y también las percepciones y experiencias de las personas locales, mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas y de una encuesta entre los habitantes.

El objetivo general de todos estos pasos de investigación fue determinar cuáles son las causas de incendios forestales de mayor relevancia que se presentan en la sierra de Los Tuxtlas, además de:

1. Examinar la utilidad de las diferentes fuentes de datos para poder determinar las causas de los incendios forestales.
2. Analizar la distribución espacial de estas causas a nivel municipal.
3. Revisar el desarrollo de la incidencia y los factores subyacentes de cada una de las causas de los incendios forestales.
4. Discutir las actividades de manejo necesarias para atender las causas de los incendios y sus factores subyacentes.
5. Comparar la situación en la sierra de Los Tuxtlas con los datos a nivel nacional.

Mediante el estudio enfocado en estos objetivos se espera obtener información que pueda, por un lado, servir de orientación para los actores involucrados en el manejo del fuego en la zona. Por otro lado, se pretende que los resultados obtenidos contribuyan a la investigación acerca de las causas de los incendios forestales en términos generales, y que la metodología aplicada sirva de referente para otros estudios con respecto a las causas de los incendios forestales en ámbitos regionales y locales.

2. MÉTODO

2.1 Área de estudio

La investigación se enfoca en un área de estudio específica, la sierra de Los Tuxtlas en el sur del estado de Veracruz, en el sureste mexicano. Esta área montañosa de origen volcánico es idónea para la aplicación de

un trabajo de esta índole. Esto se debe a que se trata de una zona con superficies considerables de vegetación forestal, como demuestra la Figura 1. Se trata principalmente de selva alta perennifolia, aunque también se encuentran otros tipos de vegetación como el bosque mesófilo de montaña, bosques de pino y encino, manglares y vegetación de dunas costeras (Guevara, 2010). Otro aspecto importante es que la sierra de Los Tuxtlas presenta una unidad estadística para los dos organismos gubernamentales más importantes que colectan datos acerca de los incendios forestales en la zona, la Comisión Nacional Forestal CONAFOR, con la definición de la Unidad de Manejo Forestal UMAFOR Los Tuxtlas y la Comisión de Áreas Naturales Protegidas CONANP, que administra el área declarada como reserva de la biosfera y su zona de influencia.

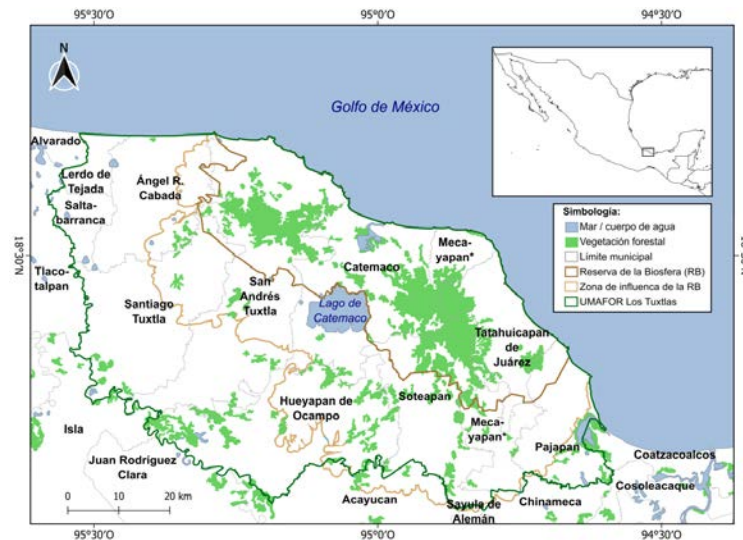


Figura 1. Área de estudio (CONANP, 2020; Guevara, 2010; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016, 2019; Ortiz, 2009)

Como se puede ver en la Figura 1, las áreas no coinciden completamente, no obstante, las dos incluyen las zonas forestales más importantes de la sierra. Aunado a estos aspectos, y como punto más relevante para este trabajo, se trata de una zona donde anualmente se registra una cantidad importante de incendios forestales, como lo demuestran las dos fuentes de datos mencionadas; de acuerdo con la CONANP, el promedio anual de hectáreas quemadas fue de 485.5 ha entre el 2003 y el 2020, con una tendencia marcada a la baja. En los últimos cinco años (2016-2020) el promedio anual fue solo de 267.5 ha.

Como se puede apreciar en la Figura 1, la RBLT abarca parte de los municipios Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Catemaco, Mecayapan, Soteapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan, y su zona de influencia además incluye partes de los municipios Hueyapan de Ocampo, Acayucan, Sayula de Alemán y Chinameca. La UMAFOR, por el contrario, no incluye Sayula de Alemán y Chinameca, pero abarca también en su totalidad los municipios Lerdo de Tejada y Saltabarranca al noroeste de la región. La RBLT tiene una superficie de 1551 km². La extensión de la zona de influencia que coincide con la delimitación geomorfológica de la sierra, incluyendo la misma reserva, es de 3299 km² y la UMAFOR tiene la mayor superficie, con 4954 km² (Guevara, 2010). Con excepción de las zonas más elevadas de la sierra (en su punto más alto alcanza los 1680 m.s.n.m.) que se encuentran al interior de la RBLT, la región cuenta con una densidad de población relativamente alta. De acuerdo con el censo del 2020, la población de los once municipios que conforman la UMAFOR fue de 454,336 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021).

La CONANP (2006) define dos subregiones en las cuales se ubica la RBLT: la subregión San Martín Tuxtla con los municipios Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla y Catemaco y la subregión Santa Martha con los municipios Mecayapan, Soteapan, Pajapan y Tatahuicapan de Juárez. Las dos subregiones se distinguen tanto desde el punto de vista de los factores de geografía físico como desde el punto de vista social. En cuanto al paisaje, en la subregión San Martín Tuxtla se encuentra una geología más reciente y el clima es mucho más húmedo. Con respecto a la población, esta subregión está habitada casi enteramente por población mestiza (0.3% de los habitantes mayores a tres años son hablantes de una lengua indígena) mientras que la subregión Santa Martha cuenta con una presencia importante de población indígena

(porcentaje de 67.2%), pertenecientes a los pueblos popoluca y nahua (CONANP, 2006; Guevara, 2010; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021).

2.2 Fuentes de datos

Para poder indagar en las causas de los incendios forestales en la sierra de Los Tuxtlas se empleó una metodología mixta, incluyendo técnicas tanto cuantitativas como cualitativas e intentando abarcar todas las fuentes relevantes. De esta manera se esperó obtener una imagen más completa y detallada de cómo se originan los incendios de vegetación en la región. A continuación, se describe cada una de las fuentes.

2.2.1 Datos oficiales

La primera fuente de datos para este estudio fueron los datos que proveen las dos principales dependencias federales encargadas con el manejo del fuego en la región, la CONANP y la CONAFOR. En los dos casos, los datos no están disponibles abiertamente en internet, sino que fueron solicitados a las respectivas dependencias, específicamente para la realización de un proyecto de investigación científica. Se obtuvo todo el desglose histórico de los datos, el cual en el caso de la CONAFOR va del 2005 al 2019, con 273 registros de incendios. En el caso de la CONANP los datos disponibles van del 2009 al 2020 con 582 registros, aunque solo a partir del 2016, para 128 registros, contienen información acerca de las causas (aunado a esto, la dependencia cuenta con datos de superficie afectada total, sin registros individuales, desde el año 2003).

Los datos que se contienen en los registros son principalmente el producto del trabajo de brigadas contraincendios ubicadas en las comunidades de la sierra y que son coordinadas y financiadas por las dos dependencias. De este modo, el registro de la CONANP comprende los incendios forestales en cuyo combate participaron las tres brigadas de la CONANP y el registro de la CONAFOR incluye los incendios que fueron atendidos por las brigadas relacionadas a esta dependencia (entre una y dos brigadas en los últimos años), aunque también recibe reportes de Protección Civil y la Secretaría de Medio Ambiente del estado de Veracruz. Los datos son georreferenciados, lo que permite su visualización en un sistema de información geográfica. Al compararlas se reveló que en su mayoría se trata de registros distintos, aunque en 21 casos se pudo determinar que el mismo incendio había sido registrado en las dos bases de datos. Es posible que este conteo no sea al 100% completo, debido a inexactitudes en la ubicación de los incendios, aparente con la inclusión de registros cuyas coordenadas se encuentran fuera del límite territorial del área estadística, o incluso en el mar.

2.2.2 Entrevistas con representantes de las comunidades locales

Los siguientes pasos de investigación fueron direccionados hacia el conocimiento de la percepción de la población local, para poder contrarrestarla con los datos presentados por las instancias federales. En este sentido, se realizaron primero entre agosto del 2020 y febrero del 2021 catorce entrevistas con representantes de las comunidades locales. Cabe mencionar que el periodo de aplicación de las encuestas fue interrumpido durante los meses de invierno, debido a la agudización de la pandemia por COVID-19 en México durante este periodo. Generalmente, la mayoría de las entrevistas se realizaron de manera remota y en muchas comunidades relevantes para este estudio no se logró contactar a las autoridades locales. Se entrevistaron tanto agentes municipales como integrantes del comisariado ejidal. Los primeros son votados por toda la población adulta y representan a la comunidad ante el municipio, mientras que los comisariados ejidales representan a los campesinos dueños de parcelas de uso agropecuario.

Todos los entrevistados fueron hombres dedicados a las actividades de campo, la mayoría de edad avanzada. Se incluyeron entrevistados de comunidades con reportes de incendios forestales en los últimos cinco años, en los tres municipios con mayor incidencia, Soteapan (seis entrevistas), Mecayapan (una) y Tatahuicapan de Juárez (siete). Las preguntas sobre las causas de los incendios forestales que se les hicieron a todos los entrevistados fueron integradas en una tabla de Excel para poder analizarlas en este programa. Aparte de esto, en algunos casos hubo la oportunidad de seguir hablando con el entrevistado sobre el tema de manera abierta. El contenido de estas conversaciones fue grabado, transcrito y posteriormente analizado mediante la asignación de códigos temáticos (Strauss y Corbin, 2002), utilizando un software de análisis de datos cualitativos (QDA Miner).

2.2.3 Encuesta general en Soteapan

Para profundizar en la percepción de los habitantes locales entre 24 de marzo y 24 de abril de 2021 se realizó además una encuesta a la población en general en Soteapan, el municipio con mayor incidencia de incendios forestales reportada por las dependencias federales en los últimos cinco años. Se utilizó un cuestionario que había pasado por varias etapas de revisión interna y externa, como lo propone Fowler (2014). La revisión interna se realizó con la ayuda de compañeros del equipo de investigación, con el uso del sistema de evaluación de cuestionarios QAS (Rothgeb et al., 2007).

A continuación, la revisión externa se realizó con la colaboración de expertos locales (profesores de escuelas en el municipio y dos campesinos). La encuesta fue aplicada a través de la plataforma en línea Google Forms. Los cuestionarios se enviaron con apoyo de las escuelas de educación básica y superior del área, que en este periodo estaban ofreciendo exclusivamente clases en línea. En este contexto, los profesores enviaron el enlace de la encuesta a los estudiantes para que ellos lo completaran preguntando a otros integrantes de sus hogares.

De esta manera se esperó obtener una muestra aleatoria simple, suponiendo, de acuerdo con pláticas informales con expertos locales, que en la gran mayoría de los hogares hay niños que van a la escuela. Como resultado se obtuvieron 239 cuestionarios, de personas mayores de 15 años de ocho comunidades diferentes. Al comparar este número con la población total mayor a 14 años en el municipio de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del 2020 de 23,234 personas, tomando como proporción esperada un valor de 0.5 y como nivel de confianza un porcentaje de 95% (García et al., 2013), el margen de error resulta en un nivel aceptable de 6.5%.

3. RESULTADOS

3.1 Estadísticas con base en los datos oficiales

Como se menciona antes, se obtuvo los registros de las causas de la CONAFOR para 273 incendios forestales en la UMAFOR Los Tuxtlas (cobertura de 2005 a 2019) y de la CONANP para 128 incendios en la RBLT y su área de influencia (cobertura de 2016 a 2020). En 21 casos se identificaron registros compartidos del mismo incendio; por lo tanto, la suma de registros relevantes para este estudio fue de 380 incendios forestales.

Con respecto a las causas, la CONAFOR distingue las categorías *actividades agropecuarias* (o en algunos casos *actividades agrícolas*), *cazadores*, *fogatas*, *fumadores*, *quema de basureros*, *otras causas* y *desconocida*. En algunos casos se define además una causa específica, la cual, en el caso de las *otras causas* revela que también se trata de incendios donde la causa no fue determinada o es desconocida. En el caso de las actividades agropecuarias las causas específicas son *quema para desmonte*, *quema para pastoreo*, *quema para preparación de siembra* y *no definida*, y para las quemas intencionales son *rencillas* o *litigios*, *cambio de uso de suelo* y *vandalismo*. La CONANP en general registra las mismas causas principales, *intencionales*, *quemas agropecuarias descontroladas*, *cacería*, *fogatas* y *no determinada*. No hay registro de fumadores o quemas de basureros y no se detalla causas específicas, salvo en casos excepcionales.

De acuerdo a los 21 registros compartidos entre las dos bases de datos existen varias discrepancias, sobre todo en cuanto a la superficie, debido a que la CONAFOR solo registra las superficies de vegetación natural, mientras que la CONANP también incluye las áreas de cultivo y pastizales afectadas. Con respecto a la causa, sin embargo, los registros concuerdan en la mayoría de los casos. Solo en tres casos, la CONAFOR define alguna causa, pero la CONANP la registra como desconocida y en un caso es al revés, la CONANP define cual fue la causa, pero en el registro de la CONAFOR aparece como *desconocida*. En los análisis realizados en este estudio, al combinar los incendios registrados por los dos organismos, los registros compartidos solo se cuentan una vez. Si en alguna de las bases de datos tienen como causa la categoría *desconocida* y en la otra sí se determina la causa, se elige la causa identificada.

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de las causas para todos los casos registrados, incluyendo los registros tanto de la CONAFOR como de la CONANP. En total, predominan las quemas agrícolas, como causa

de un poco más de un tercio (33.7%) de los incendios forestales, seguidas por los incendios intencionales, en más de un cuarto (27.8%) de los casos. De ahí la siguiente categoría son los incendios para los cuales se desconoce la causa (21.8%). Como categorías de menor importancia se aprecian *cacería* (8.9%), *fumadores* (5.5%), *fogatas* (1.8%) y *quema de basureros* (0.3%).

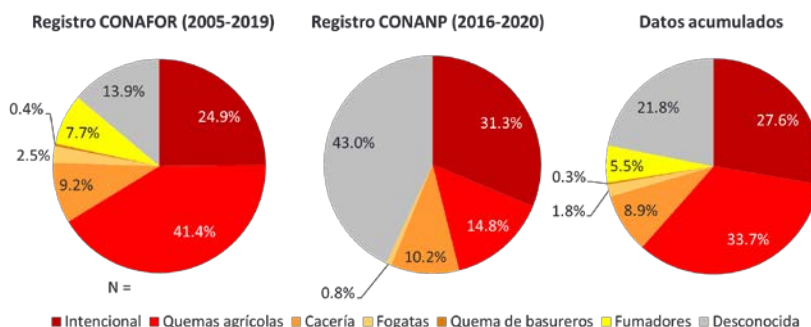


Figura 2. Causas de incendios por evento según los datos de CONAFOR y CONANP. Con base en datos proporcionados por la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y dirección de la RBLT). Varios registros de incendios con la causa *cacería* son compartidas entre las dos bases de datos, lo que explica su porcentaje menor en los datos acumulados

Existe una diferencia marcada entre las bases de datos de los dos organismos. En el caso de la CONAFOR, las quemadas agropecuarias son claramente la causa principal predominante, con el 41.1%. Al contrario, según los datos de la CONANP, solamente en 14.8% de los casos se registró como causa la aplicación de quemadas. Con respecto a los incendios de causa desconocida, se presenta una imagen contraria: la CONAFOR solo registró el 13.9% de los casos con causa desconocida y la CONANP el 43.0%.

Otra diferencia importante es el papel relativamente importante de los cigarrillos tirados por fumadores en los datos de la CONANP, con el 7.7%, a diferencia de los datos de la CONANP que ni siquiera contienen la categoría *fumadores*. La categoría *quema de basureros* solo es registrada por la CONAFOR (con el 0.4%).

Mayor semejanza entre los dos registros se puede encontrar con respecto a las fogatas (Figura 3), como causa menor (2.5% de acuerdo con la CONAFOR y 0.8% de acuerdo con la CONANP) y de los incendios intencionales como una causa importante, en primer lugar de todos los registros según los datos de la CONANP (31.3%) y en segundo lugar en los datos de la CONAFOR (24.9%); los datos de la CONAFOR con respecto a incendios intencionales además se pueden desglosar en incendios causados para cambiar el uso del suelo (13.2%), incendios debido a rencillas o litigios (8.8%) y actos de vandalismo (2.9%).

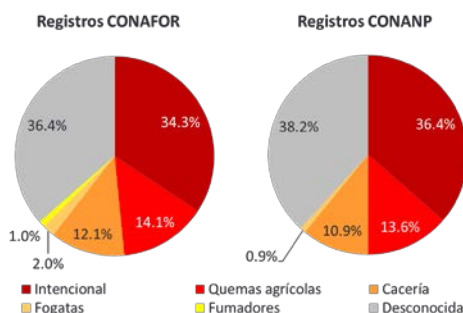


Figura 3. Causas de incendios por evento según los datos de CONAFOR y CONANP para los años 2016 a 2019. Elaboración con base en datos proporcionados por la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y dirección de la RBLT)

Al analizar estas diferencias, se tiene que tomar en consideración el alcance temporal distinto de las dos bases de datos. En este sentido, la Figura 3 compara los datos de la CONANP y de la CONAFOR para los años para los cuales se cuenta con datos de las dos dependencias, del 2016 al 2019. Es aparente la similitud de los datos que arrojan las dos dependencias para este periodo, con respecto a todos los criterios de causas. Llama la atención, sobre todo, el porcentaje por mucho inferior de las actividades agropecuarias (14.1%) y el porcentaje mayor (36.4%) de las causas desconocidas en la base de la CONAFOR para estos años, en comparación con los datos de la dependencia para los años 2005 a 2019.

3.2 Cambios temporales de la incidencia de las causas de los incendios forestales

La Figura 4 muestra los cambios anuales del porcentaje de las causas de los incendios forestales en Los Tuxtlas. Es aparente la tendencia a la baja de las quemaduras agropecuarias, interrumpida en el 2012. Mientras que en el 2005 y 2012 el 100% de todos los incendios se les atribuyó a quemaduras que se habían salido de control, en el 2018 se alcanzó el porcentaje más bajo, con 2.6%. En el 2020, el último año de registro, no obstante, el porcentaje estuvo nuevamente por encima de los cinco años anteriores, con el 22.2%. Otro desarrollo importante es el de la causa *intencional*, con poca importancia hasta el 2012. En el 2013 alcanza por primera vez más de 10% y, a continuación, sube sucesivamente, para alcanzar el máximo de 83.3% en el 2016. De ahí baja nuevamente, pero sigue por encima de los 20%, con excepción del 2020, cuando no se registró ningún incendio causado intencionalmente. La categoría *desconocida* cobra importancia aún más tarde, a partir del 2017, cuando alcanza por primera vez 44.6%. En los años posteriores sigue siendo una de las principales causas con el porcentaje máximo de 72.2% en el 2020.

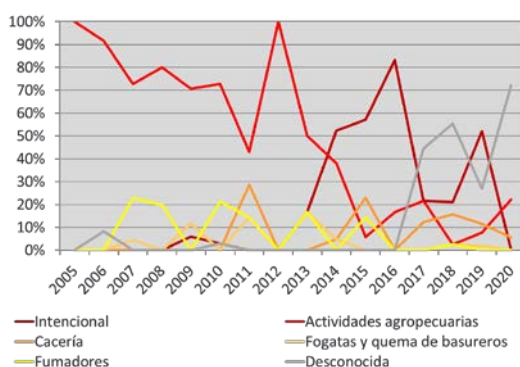


Figura 4. Cambio temporal del porcentaje de las causas de los incendios forestales por evento en Los Tuxtlas, datos acumulados de la CONAFOR (2005 a 2019) y de la CONANP (2016 a 2020). Elaboración con base en datos proporcionados por la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y dirección de la RBLT)

Las otras causas en ningún año alcanzan el primer lugar de las categorías y tienen un comportamiento irregular, con cambios importantes entre los diferentes años y con varios años sin ningún registro. La categoría *fumadores* alcanzó más del 20% en el 2007, 2008 y 2010 y tuvo picos encima de los 10% en el 2013 y el 2015; de ahí en adelante, el 2018 fue el único año en el que volvió a aparecer en la estadística (2.6%), en los demás años ya no se registró. La cacería fue primero registrada como causa en el 2009 (poco visible en la Figura 4 debido a la coincidencia de los datos de cacería con los datos de las fogatas y las quemaduras de basureros), con 11.8%, seguido por el año más fuerte con 28.6% en el 2011. En el 2015 alcanzó nuevamente más de 20%.

Más adelante, del 2017 al 2020, no se alcanzó un valor tan alto, pero el porcentaje se mantuvo por encima de los 5%. Por último, la categoría de menor importancia han sido *fogatas y quema de basureros*, demostradas en la Figura 4 de manera conjunta. Solo en el 2007 se registró la categoría *quema de basureros*, con un porcentaje de 4.5%. La categoría *fogatas* apareció en la estadística por primera vez en el 2009. Tuvo un valor porcentual encima de los 10% tan solo en tres años, en el 2009, el 2011 y el 2013 (con el porcentaje más alto de 16.7%). En los últimos seis años, solo se registró en dos años, con porcentajes debajo de los 3%.

3.3 Distribución espacial de las causas de los incendios forestales

No solo en cuanto al desarrollo temporal se pueden identificar diferencias importantes en cuanto a los incendios forestales, sino también con respecto a la distribución espacial. En general, los incendios forestales en Los Tuxtlas demuestran una clara concentración territorial. De acuerdo con los datos de la CONAFOR (2005-2019), el 44.0% de los eventos de incendios se registró en el municipio Mecayapan y el 43.2% en Soteapan (para la ubicación de los municipios véase la Figura 1). De ahí siguen Tatahuicapan de Juárez (6.7%), Catemaco (3.3%), Pajapan (1.1%), Lerdo de Tejada (0.7%) y San Andrés Tuxtla (0.7%). Los datos de la CONANP (2009-2020, incluyendo los datos para los cuales no se cuenta con registro de las causas)

registraron el 41.0% en Mecayapan y Soteapan, respectivamente, el 0.2% compartido entre Mecayapan y Soteapan y el 0.2% compartido entre Mecayapan y Tatahuicapan. Tatahuicapan de Juárez todavía cuenta con un mayor porcentaje en los datos de la CONANP, con el 10.8%, seguido por Catemaco (4.0%), San Andrés Tuxtla (2.2%) y Pajapan (0.5%). Cabe mencionar que en los últimos cinco años (2016-2020), ha sido mayor el porcentaje de Soteapan en los datos de la CONANP (49.0%), mientras que en la base de datos de la CONAFOR para 2016 a 2019, Soteapan y Mecayapan se comparten el primer lugar con 46.5% cada uno de los municipios.

Como se puede ver en la Figura 5, hay mayor semejanza entre las causas registradas en Mecayapan y Soteapan que con el resto de los municipios de la región. Entre estos dos municipios, la principal diferencia es la mayor importancia de las quemaduras agropecuarias en Mecayapan (36.1% en comparación con 26.5% en Soteapan) y el porcentaje mayor de la categoría *fumadores* en Soteapan (9.4% en comparación con 3.2% en Mecayapan). Todas las demás categorías se encuentran en rangos muy parecidos, con una diferencia menor a 2.2%. En los otros municipios, al contrario, los valores son muy distintos con un porcentaje mucho mayor de quemaduras agropecuarias que ocupan la mitad de las causas y de los incendios intencionales, registrados en un tercio de los casos.

También se aprecia un porcentaje mayor de las fogatas y la quema de basura con 4.2%. Por el contrario, es más bajo el porcentaje de la categoría *cacería* (4.2%) que en los dos otros municipios (10.0% y 8.4% en Soteapan y Mecayapan, respectivamente) y mucho más bajo la parte de los incendios sin causa determinada, con un porcentaje de 8.3%; tanto en Mecayapan como en Soteapan esta categoría supera el 20%. No hay registro de incendios causados por fumadores en Los Tuxtlas fuera de los dos municipios con mayor incidencia de incendios.

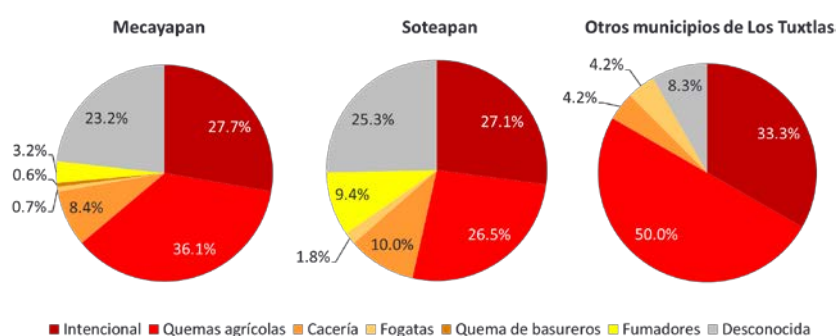


Figura 5. Causas de los incendios forestales en los tres municipios de Los Tuxtlas a nivel municipal, datos acumulados de la CONAFOR (2005-2019) y de la CONANP (2016-2020). Elaboración con base en datos proporcionados por la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y dirección de la RBLT)

Si solo se toman en cuenta los últimos cinco años (2016-2020) (Figura 6), son aún más grandes las diferencias entre Soteapan y Mecayapan y el resto de la región; no obstante, también aumentó la diferencia entre estos dos municipios. En los dos casos aumentó a más de 43% el porcentaje de los incendios con causa desconocida. Al mismo tiempo aumentaron también los incendios intencionales, a 31.3% en Soteapan y aún más a 39.5% en Soteapan. La categoría de quemaduras agropecuarias a su vez disminuyó considerablemente a 11.1% en Mecayapan y a tan solo 6.1% en Soteapan. Las categorías de fumadores, fogatas y quemaduras de basureros ya no se registraron como causa en Mecayapan, y en Soteapan las categorías fumadores y fogatas bajaron a tan solo 2.0% y 1.0%, respectivamente.

En cuanto a la categoría *cacería*, el desarrollo fue distinto, con una disminución en Mecayapan, a solo 6.2%, y un incremento en Soteapan, a 16.2%. En los otros municipios también desapareció la categoría fogatas y hubo un aumento de los incendios con causa desconocida. No obstante, fue un aumento por mucho menor que en los dos municipios anteriormente mencionados, alcanzando un porcentaje de 14.3%. Ya no se registraron incendios causados por cacería y el porcentaje de los incendios provocados de manera intencional, al contrario de la situación en Mecayapan y Soteapan, bajó a 28.6%. El cambio más llamativo, sin embargo, fue el hecho de que el porcentaje de las quemaduras agrícolas, que ya había sido alto, aumentó todavía más, a 57.1%.

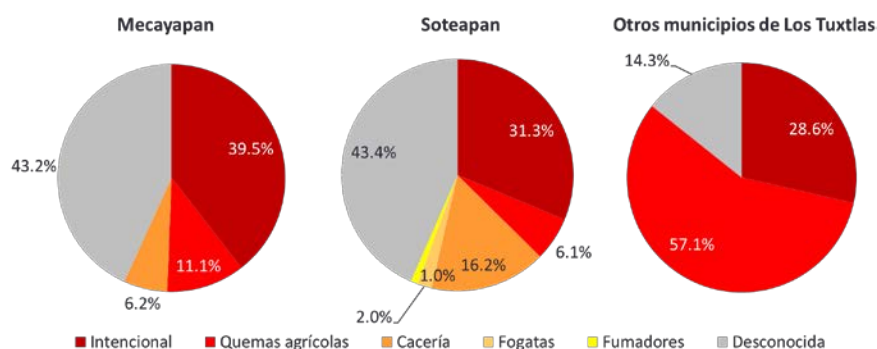


Figura 6. Causas de los incendios forestales en los tres municipios de Los Tuxtlas a nivel municipal 2016-2020, datos acumulados de la CONAFOR y de la CONANP. (Con base en datos proporcionados por la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y dirección de la RBLT).

3.4 Respuestas de los representantes de las comunidades

La Figura 7 refleja la percepción de las causas de los incendios entre las autoridades locales entrevistadas. Llama la atención la prevalencia de la causa *quemados agropecuarios* mencionada por todas las personas que se entrevistaron, aunque en tres casos solo fue identificado como causa de menor importancia. En segundo lugar, vienen las quemados intencionales, mencionadas en poco menos de la mitad de las entrevistas; solo para un entrevistado fue una de las causas principales. Las categorías *cacería*, *quema de basura* y *fumadores* solo se anotaron una vez cada una; no obstante, en todos estos casos fueron identificados como una de las causas principales.

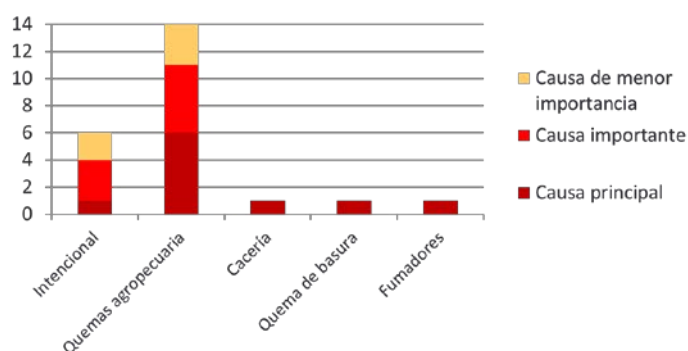


Figura 7. Percepción de las causas de los incendios de trece representantes de las comunidades locales en los municipios Soteapan, Mecayapan y Tatahuicapan de Juárez, por número de menciones. No todos los entrevistados eligieron una causa principal

Se tiene que tomar en cuenta que la Figura 7 se basa en entrevistas que se realizaron tanto en comunidades de Soteapan y Mecayapan como también en Tatahuicapan de Juárez. Al excluir las respuestas de Tatahuicapan y enfocarse solo en las siete entrevistas aplicadas en los dos municipios con la mayor incidencia de incendios, la imagen cambia ligeramente. Las quemados agropecuarios siguen en una posición importante, mencionadas en todas las entrevistas, aunque solo en dos casos son identificadas como una de las causas principales. Los entrevistados que mencionaron los incendios causados por cacería, quema de basura y fumadores todos son de los dos municipios. Más importante aún, los incendios intencionales en este caso son mencionados por cinco de los siete entrevistados (una vez como causa principal, tres veces como causa importante y una vez como causa de menor importancia).

Los representantes de las comunidades también brindaron información acerca de las actividades de prevención cultural y legal que se realizan para evitar las diferentes causas de los incendios forestales. En diez de los catorce casos ellos mismos como autoridad local habían recibido alguna plática o capacitación al respecto por parte de alguna instancia de gobierno (para los municipios Soteapan y Mecayapan la relación fue igual, con una respuesta afirmativa en cinco de los siete casos). En ocho casos, esto ocurrió mínimo una vez al año, en un caso incluso mínimo una vez cada mes durante la temporada de incendios forestales y en un caso solo en algunos años. Las principales dependencias que realizan este tipo de prevención cultural son Protección Civil y la CONANP (mencionadas en seis casos cada una).

Aunado a esto, en todos los casos se reportó que se le dan pláticas a la comunidad en general, las cuales son comúnmente llevadas a cabo por las mismas autoridades locales (11 casos). Otros actores que se involucran en este contexto son la CONANP y las brigadas contraincendios locales financiadas por esta dependencia (seis casos), y la CONAFOR y sus brigadas (cinco casos). En seis casos, los entrevistados indicaron que no se hacía suficiente prevención cultural y en otros tres casos si bien se mostraron contentos con las actividades realizadas, opinaron que convendría aumentar todavía los esfuerzos en este sentido.

En cuanto a la prevención legal, en dos casos los entrevistados notaron que no había ningún actor que realizaba actividades de vigilancia con el fin de evitar que se causen incendios forestales. Otro representante de comunidad dijo que no sabía del tema. En cinco casos, las autoridades locales indicaron que solo ellos se encargaban de la vigilancia, sin ningún apoyo externo, y en un caso dijeron que lo hacían con apoyo económico de la CONANP. Además de esto, como actores involucrados en la vigilancia se mencionaron dos veces las brigadas contraincendios de la CONANP, una vez la policía municipal, una vez otra brigada contraincendios estacionada en Los Tuxtlas que es financiada por el Gobierno Estatal de Veracruz, y una vez la dirección municipal de Protección Civil.

Ocho entrevistados opinaron que debería haber más vigilancia, sobre todo por parte de los gobiernos municipales (opinión de siete entrevistados). Solo una persona estuvo a favor de que se integraran en este esfuerzo las autoridades estatales y federales, como por ejemplo el Ejército o la Guardia Nacional. Por el contrario, uno de los entrevistados reclamó de que había demasiada vigilancia de actores externos (en este caso de la policía municipal y la brigada contraincendios del Gobierno Estatal), y que se debía dejar la responsabilidad en este asunto a la comunidad.

3.5 Resultados de la encuesta en el municipio Soteapan

Las respuestas a la encuesta aplicada en el municipio Soteapan difirieron destacadamente tanto de los datos oficiales como de las opiniones expuestas en las entrevistas con autoridades locales. La Figura 8 demuestra el resultado de la pregunta *¿Qué factores considera que son las principales causas de incendios descontrolados en la región?* El término *incendio descontrolado* se utilizó ya que se detectó en las evaluaciones previas de la encuesta que la palabra *incendio* muchas veces se usa también para las quemas agropecuarias controladas. La causa más frecuente fueron las quemas agropecuarias que salen de control, con 61.9%, seguida por la categoría *quema de basureros/basura de uso doméstico* con 43.9%.

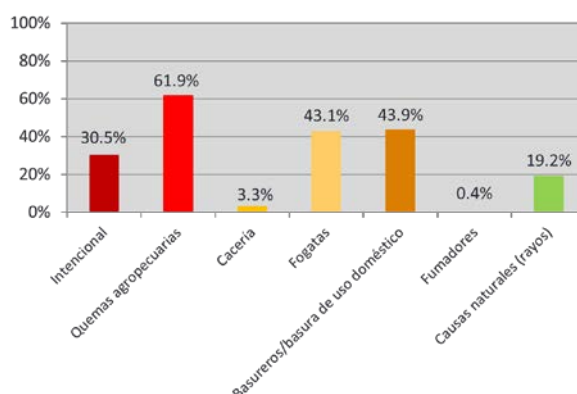


Figura 8. Causas de incendios forestales mencionadas en la encuesta aplicada en el municipio Soteapan (n = 239)

Esto es sorprendente dada la poca importancia de la quema de basureros en los datos oficiales; tampoco fue mencionada por las autoridades locales. En este contexto, es importante mencionar que, en las evaluaciones previas a aplicar la encuesta, se detectó que la palabra *basura* es igualmente confusa, ya que se usa en la región también para nombrar el material orgánico que se acumula al limpiar los campos agrícolas. Quemar basura, en este sentido, puede ser equivalente a una quema agropecuaria. Por lo tanto, en el cuestionario, se agregó la explicación *de uso doméstico*. Aun así, no se puede descartar la posibilidad que haya sido malentendido por algunas de las personas que contestaron el cuestionario. No obstante, también hay casos donde sí es claro que se refiere a la quema de basura, y en un caso específico se mencionó la ignición causada por cristal tirado.

En tercer lugar, vienen las fogatas, casi en el mismo nivel que la categoría anterior, con 43.1%, un valor muy alto comparado con los datos oficiales de los incendios registrados. De ahí siguen los incendios intencionales con 30.5%. Se preguntó también más detalladamente por los diferentes tipos de incendios intencionales que registra la CONAFOR en su base de datos. En este contexto, el 23.8% de las personas que participaron en la encuesta mencionó el cambio de uso del suelo, el 7.5% actos de vandalismo y tan solo el 2.9% rencillas y conflictos. La quinta categoría más mencionada fue nuevamente sorprendente tratándose de las causas naturales, con el 19.2%. Cabe mencionar que esta categoría se incluye en las estadísticas de las dependencias gubernamentales a nivel nacional, pero no había sido registrada para Los Tuxtlas. Categorías de muy poca importancia fueron *cacería* (3.3%) y *fumadores* (0.4%).

En las respuestas a la siguiente pregunta *¿Cuál de estas causas es la más importante?* el orden de respuestas fue igual que en la anterior (Figura 9). *Quemas agrícolas* se encuentran nuevamente en el primer lugar, con el 40.2%, seguidas por *quema de basureros y basura de uso doméstico* (23.4%), *fogatas* (16.3%), *incendios intencionales* (13.8%), *causas naturales* (5.0%) y *cacería* (1.3%); ya no se mencionaron incendios causados por fumadores. Con respecto a los incendios intencionales, ya solo aparecen dos causas específicas, el cambio de uso del suelo (10.9%) y los actos de vandalismo (2.9%).

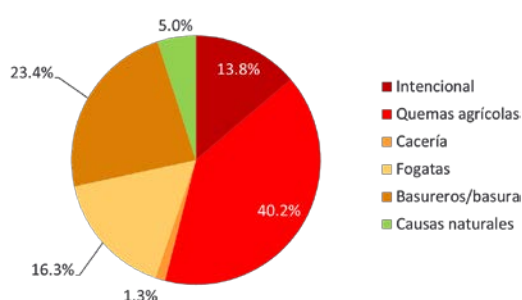


Figura 9. Causa principal de incendios forestales de acuerdo con las respuestas de la encuesta en el municipio Soteapan (n = 239)

Tomando en cuenta los datos demográficos que se obtuvieron de las personas que participaron en la encuesta, no se encontraron diferencias significativas, con una excepción importante: para los jóvenes adultos (15 a 24 años), fueron menos destacadas las quemas agropecuarias (la causa principal para el 32.3%) y cobraron mayor importancia los incendios intencionales (20.4%). Cabe mencionar que, debido a la menor cantidad de la muestra, el margen de error para este dato es más alto (10.1%, tomando en cuenta un nivel de confianza de 95%). También es relevante indagar en las respuestas de las personas que se dedican, de tiempo completo o de manera parcial, a actividades de campo, las cuales ocuparon el 52.7% de todas las personas encuestadas (muestra de 126 personas; se desconoce el número de la población total de este segmento).

Dentro de este grupo, fue todavía más alto el porcentaje de las personas que indicaron como causa principal las quemas agropecuarias (47.6%). Solo el 13.5% de las personas dedicadas a actividades de campo indicó que ellas mismas usaban el fuego. Este dato, no obstante, podría ser demasiado bajo, debido a la observación reportada en diferentes estudios de que las personas suelen negar que llevan a cabo acciones que podrían ser mal vistas, a pesar de tratarse de una encuesta anónima (Fowler, 2014). Lo que es interesante, no obstante, es el hecho que 25.4% contestaron que antes usaban el fuego, pero que habían abandonado esta práctica en los años anteriores.

A la población en general además se le preguntó si opinaban que la gente que usaba el fuego tomaba mayores cuidados en la actualidad que en años anteriores; el 68.2% de las personas estaban de acuerdo o muy de acuerdo con esta afirmación, mientras que solo el 15.5% contestaba que no estaban de acuerdo (el resto de la población no contestó o no estaba ni de acuerdo ni en desacuerdo). Asimismo, el 58.2% estaba de acuerdo con que la mayoría de las quemas agropecuarias se realizaban de manera controlada y segura, mientras que el 23.8% estaba en desacuerdo.

Con respecto a la prevención legal, el 64.0% de las personas opinaba que no había suficiente vigilancia para que no se causen incendios y solo el 18.4% expresaba claramente que era suficiente. En cuanto a los actores

que realizan la vigilancia, el 64.4% estaba de acuerdo con que debería ser responsabilidad de las autoridades locales en las comunidades (16.7% en desacuerdo), el 47.7% opinó que se deberían involucrar las autoridades municipales (30.1% en desacuerdo) y el 49.4% indicó, al contrario de las entrevistas con los representantes locales, que debería haber involucramiento de los organismos federales, como de Guardia Nacional (28.9% en desacuerdo).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las discrepancias entre las diferentes fuentes de datos presentan un desafío para el análisis de las causas de los incendios forestales en Los Tuxtlas. A continuación, se presenta una discusión de cada uno de las causas antrópicas mencionadas, tomando en cuenta también los factores subyacentes que podrían ser causantes de éstos. Además, los valores registrados en Los Tuxtlas se comparan con las estadísticas de la CONAFOR a nivel nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020); no se obtuvieron datos a nivel nacional de la CONANP.

No se incluye una discusión específica de la categoría *no determinada* en los datos oficiales, aunque es resaltable el aumento de esta categoría en los últimos años, lo cual dificulta el monitoreo de las causas de los incendios. También es de subrayar la importancia de las causas naturales en la encuesta a la población en general, muy al contrario de los registros oficiales de la región en las cuales en ningún caso se ha registrado una causa natural. Puede ser que las respuestas en la encuesta sean resultado de desconocimiento por parte de las personas que la contestaron; no obstante, el porcentaje considerable (para el 5.0% incluso fue la causa principal) merecería que se estudiara más a fondo si de hecho aún hay incendios forestales en la región que son causados por rayos u otros fenómenos naturales.

4.1 Incendios intencionales

Los incendios intencionales sin duda son una de las causas más importantes de los incendios forestales en Los Tuxtlas. La fuente en la cual resaltan más son los datos oficiales, con el 27.6% en los datos acumulados y valores encima de un tercio de todos los registros para los últimos cinco años. Este valor podría ser todavía más alto, tomando en cuenta la gran cantidad de incendios registrados con causa no determinada. De acuerdo con las otras fuentes, la incidencia es menor, pero sí fueron mencionados por el 42.9% de los representantes de las autoridades locales entrevistadas (aunque solo por el 7.1% como causa principal), y por 30.5% de las personas en la encuesta general (por 13.8% como causa principal).

Lo que resalta es el desarrollo histórico en los datos oficiales, que documenta que esta causa pasó prácticamente desapercibida hasta el año 2013 cuando empezó a cobrar importancia rápidamente. Este desarrollo coincide con lo que se ha observado a nivel nacional: de 2004 a 2012 el porcentaje nunca estuvo encima del 5%; luego en el 2013 subió a 18.5% y de ahí ha tenido una tendencia creciente, con el valor más alto registrado en el último año disponible, el 2019, con 29.6%. El cambio repentino del 2012 al 2013 podría ser causado por un cambio en la metodología de clasificación de las causas, aunque no se especifica ninguna información al respecto en la fuente de los datos. La tendencia creciente en los años posteriores, no obstante, indica que de hecho ha habido un aumento importante.

Dado que esta causa tiene que ver con la eficacia de la vigilancia de actos ilícitos, podría estar relacionado directamente con el deterioro del estado de derecho en México (World Justice Project, 2020). Sin embargo, requeriría una investigación más exhaustiva para revisar a fondo esta relación. Para Los Tuxtlas, en todo caso, a esto se agrega que desde el 2012 de acuerdo con reportes mediáticos, no se cuenta con la presencia de inspectores de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Barranco, 2018), la principal instancia en México encargada de la salvaguardia de la legislación ambiental.

En cuanto a eventos específicos, se puede mencionar el porcentaje alto registrado en el 2019 (51.9%), el cuarto valor más alto registrado entre 2005 y 2020 y por mucho el más alto en los últimos cuatro años. En este contexto, algunas de las personas entrevistadas mencionaron una posible relación con el lanzamiento en este año del programa gubernamental Sembrando Vida. Se trata de un programa de asistencia social de la Secretaría del Bienestar; requisito para acceder al programa es destinar 2.5 hectáreas de la propiedad del participante a la realización de un proyecto agroforestal (Diario Oficial de la Federación, 30/03/2020).

Los terrenos que se registran en el programa requieren estar libres de vegetación forestal, lo que podría haber motivado a campesinos a eliminar la vegetación existente (de acuerdo con un estudio del World Resources Institute, en 2019 en todo México se deforestó una superficie de 72,830 ha en zonas donde se aplicó el programa (Lafon, 2021). Para los otros años con porcentajes de incendios intencionales altos en Los Tuxtlas no se pudieron detectar causas subyacentes específicas. Al contrario, en el 2020 no se registraron incendios intencionales en los datos oficiales, lo cual podría tener que ver con la circulación reducida de personas debido a la pandemia por COVID-19; sin embargo, también hubo un porcentaje sumamente alto de incendios con causa desconocida en este año, lo que dificulta la interpretación.

La importancia de esta categoría indica que hay un rezago de vigilancia en la sierra de Los Tuxtlas, como lo señalan también las respuestas de los representantes de las autoridades locales entrevistadas y los resultados de la encuesta general. La mejor manera para lograr esto sería el fortalecimiento de las autoridades locales, tal como se ha visto en otros lugares del mundo (Kull, 2002), ya que cuentan con el mayor nivel de aceptación en la población en general.

4.2 Quemados agropecuarios

El uso del fuego en las actividades agropecuarias tiene la finalidad de renovar los pastizales y de eliminar la maleza y los restos de las cosechas anteriores para preparar las áreas de cultivo para la siembra (CONAFOR, 2019). En México, el uso del fuego en las actividades agropecuarias generalmente es tratado como la principal causa de los incendios forestales; legalmente existen diferentes restricciones a esta práctica, pero no está del todo prohibida (Martínez y Pérez, 2018). De acuerdo con la estadística de la CONAFOR a nivel nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020), se puede observar una tendencia a la baja: de 2004 a 2009 el porcentaje estuvo constantemente en todos los años por encima de 40%.

Al contrario, del 2010 en adelante solo una vez más se sobrepasó el 40%, y en el último año de registro, el 2019, se reportó el porcentaje menor a la fecha, con el 31.1%. No obstante, en ningún año fueron sobrepasadas por alguna de las otras categorías, siempre se mantuvieron en el primer lugar. En Los Tuxtlas, esta disminución fue aún más pronunciada en los datos oficiales, con solo alrededor del 14% en los últimos años en los registros de las dos dependencias, CONANP y CONAFOR. Cabe mencionar en este contexto, que el gran porcentaje de incendios registrados con causa no determinada impide decir con exactitud cuál fue el porcentaje real.

Sorprendentemente, el bajo porcentaje de los quemados agropecuarios en los últimos años no se refleja de igual manera en los resultados de las entrevistas: el 78.6% de los entrevistados los identificó como causa importante o principal, y en la encuesta, 61.9% contestaron que era una causa relevante y el 40.2% incluso que era la causa principal. Se puede suponer que las respuestas de los entrevistados se basaron más en su experiencia de vida que solo en los últimos años. En este contexto, el hecho de que es menor el porcentaje entre los adultos jóvenes puede indicar que sí ha habido una disminución.

A esto se le agregan las afirmaciones de campesinos de haber dejado de usar el fuego en los últimos años y la opinión generalizada que los quemados en la actualidad se están realizando con mayores medidas de seguridad que en años anteriores. En resumen, se puede deducir que las actividades de prevención cultural que se llevan a cabo en la mayoría de las comunidades han rendido frutos. Es conveniente, por lo tanto, seguir apoyando la ejecución de estas prácticas y talleres y estudiar más a fondo cuáles son las actividades más eficaces. En este contexto, también sería muy acertado investigar las disparidades entre los municipios; con base en los datos utilizados en el presente estudio, no se encontró ninguna explicación contundente de esta situación.

4.3 Cacería

El uso del fuego por cazadores furtivos tiene la finalidad de que los animales salgan de sus escondites y de esta manera puedan ser cazados con mayor facilidad (CONAFOR, 2019). A nivel nacional, la cacería es una causa de incendios forestales de importancia menor; para los años 2008 a 2018 así como en los reportes del 2019 y 2020 siempre ocuparon alrededor del 3% (CONAFOR, 2019, 2020, 2021) y en el registro

desglosado por año entre 2004 y 2019 ni siquiera aparece como categoría propia (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). No obstante, hay áreas en México donde la cacería se menciona como una de las causas principales, sobre todo en la península de Yucatán (Maldonado, 2020).

En Los Tuxtlas, no se puede identificar como causa principal, aunque sí tiene sin duda mayor importancia que a nivel nacional, con el 8.9% de los incendios registrados en los datos acumulados de la CONAFOR y la CONANP. La tendencia ha sido creciente sobre los últimos años, y ha sido concentrado principalmente en el municipio Soteapan. En este contexto, es sorprendente que ni las autoridades locales entrevistadas ni las personas que contestaron la encuesta, del mismo municipio de Soteapan, hayan identificado la cacería como causa relevante. Solo un entrevistado la mencionó como causa principal, y en la encuesta, el resultado de la pregunta por las causas principales fue solo de 1.3%. Es difícil pensar en las razones de esta discrepancia entre los datos oficiales y la percepción local. Una explicación podría ser que, de acuerdo con un experto local, se trata principalmente de cazadores foráneos y no de personas de las comunidades. Además, se trata de una actividad que se realiza de manera furtiva y alejada de los poblados. Estos factores podrían influir en el conocimiento limitado de la población acerca de las consecuencias de la cacería.

Aunado a esto, al no ser una causa reconocida como relevante a nivel nacional, es posible que no se mencione en las pláticas y talleres de prevención cultural, y por lo tanto es menos conocida entre la población. Sin embargo, todo esto son solamente posibles vías de explicación; se necesitaría un estudio más detallado para investigar a fondo cuál es el papel de la cacería en los incendios forestales en la sierra. Para evitar esta causa, en todo caso, al tratarse de una actividad ilícita, implica lo que se escribió en el apartado a) sobre los incendios intencionales con respecto a la necesidad de aumentar los esfuerzos de prevención legal. También el aumento registrado en los datos oficiales podría tener la misma causa subyacente que se identificó con respecto a la debilidad del estado de derecho.

4.4 Fogatas

A nivel nacional, las fogatas entre el 2008 y el 2018 causaron alrededor de 12% de los incendios forestales y también en los últimos años, en el 2019 y 2020, han alcanzado este porcentaje (CONAFOR, 2019, 2020, 2021). Generalmente, tomando en cuenta datos desde el 2004, no hay una tendencia clara ni de aumento ni de disminución (Secretaría de Medio Ambiente, 2020). En Los Tuxtlas, al contrario, son mucho menos importantes, de acuerdo con los datos oficiales, ocupando solo el 1.8% de los registros acumulados de CONANP y CONAFOR. La tendencia ha sido a la baja, con el resultado que en los últimos cinco años ya solo fueron registrados en el municipio Soteapan y también ahí tan solo alcanzaron el 1.0% de los incendios registrados.

Esta poca importancia también se confirmó en las entrevistas con autoridades locales; ningún entrevistado mencionó las fogatas como causa. Esto contrasta fuertemente con el resultado de la encuesta general en Soteapan: el 43.1% opinó que las fogatas eran una causa común y el 16.3% incluso las identificó como una causa principal. Nuevamente, con base en los datos obtenidos, solo se puede especular cuáles podrían ser las causas de estos resultados. Una explicación posible sería que las fogatas podrían ser un asunto más cotidiano y conocido para la población que, por ejemplo, la cacería, y por lo tanto, se identifican más comúnmente como posible causa. También se puede suponer que ocupan un papel más prominente en las pláticas y los talleres de concientización. Sin embargo, tampoco se puede descartar que de hecho son una causa común de incendios forestales en la región, pero que no suele ser detectada y se registra como causa no determinada.

4.5 Quema de basureros y de basura de uso doméstico

Al igual que la cacería, la quema de basureros ocupa el 3% de los incendios forestales registrados en México entre 2008 y 2018. También en el 2020 fue del 3% y en el 2019 tan solo del 2% (CONAFOR, 2019, 2020, 2021). No se encuentran como categoría propia en los registros anuales de 2004 a 2019 (Secretaría de Medio Ambiente, 2020). En los datos oficiales para Los Tuxtlas, el porcentaje es aún menor, con 0.3% en los datos acumulados de la CONANP y la CONAFOR y sin registros a partir del 2008. Sin embargo, una de las personas entrevistadas identificó esta categoría como causa principal y en la encuesta general fue aún más

prominente: 43.9% determinaron que fue una causa importante y en la estadística de las causas principales ocupó el 23.4%.

Como se mencionó antes, este resultado en parte puede ser causado por una confusión, al referirse a la quema de desechos de las actividades de campo, si bien se había agregado la especificación *de uso doméstico*. No obstante, en varios casos sí se trataba claramente de la quema de basura, debido a información más detallada que brindaron las personas que contestaron la encuesta. En este sentido, se puede suponer que para la quema de basura aplica lo mismo que para las fogatas, es decir, que por un lado es una actividad cotidiana que es comúnmente identificada por las personas y, por otro lado, que puede ser difícil de evidenciar como causa para los registros oficiales, por lo que los incendios causados de esta manera podrían ser registrados generalmente bajo la categoría *no determinada*.

4.6 Fumadores

Las colillas tiradas de cigarros son una constante en los registros de las causas de incendios forestales a nivel nacional. Entre 2008 y 2018 ocuparon el 10%, pero con una tendencia a la baja; en el 2019 ya solo fue el 6% y en el 2020 el 5% (CONAFOR, 2019, 2020, 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). En Los Tuxtlas, esta tendencia ha sido todavía más pronunciada con un porcentaje encima de 20% en tres años previos al 2011, y solo el 1.0% de los registros de la CONAFOR del 2016 al 2019 y ningún registro en la base de datos de la CONANP. De igual manera, solamente un entrevistado identificó esta categoría como causa principal y en la encuesta en Soteapan, tan solo fue mencionado como causa por el 0.4% y ninguna de las personas participantes la identificó como causa principal.

Al igual que para las quemas agropecuarias, se puede suponer que se trata de un incremento de la conciencia y mayores cuidados en la población en general. Esto, en parte, podría ser resultado de las actividades de prevención legal que se han ido aplicando. En todo caso es poco probable que tenga que ver con una disminución en general del tabaquismo, ya que este fenómeno se ha ido manteniendo estable a nivel nacional (Instituto Nacional de Psiquiatría, 2017).

5. CONCLUSIONES

Para planificar y organizar la prevención de los incendios forestales de manera eficaz es necesario conocer cuáles son los factores que causan estos eventos. Este estudio presenta un esfuerzo de profundizar en las causas de los incendios forestales en una región con una incidencia considerable, la sierra de Los Tuxtlas en México.

Se utilizaron tres fuentes de datos: los registros oficiales, las entrevistas con representantes de la población local y una encuesta aplicada a una muestra de la población general en uno de los municipios que forman parte de la sierra. Este método podría ser adoptado para otras áreas para las cuales no se cuenta con datos completos y confiables de las causas de los incendios forestales. No obstante, también se mostró que aun con esta metodología mixta quedan abiertas varias interrogantes. Estas surgen principalmente de las discrepancias entre, por un lado, los datos oficiales y, por otro lado, los resultados de la encuesta y, en menor medida, de las entrevistas con autoridades locales.

Lo que se puede decir con un alto grado de certeza es que los incendios intencionales y las quemas agropecuarias se presentan como causas principales de los incendios forestales en la región, y que las primeras han aumentado su porcentaje en el transcurso de los años, mientras que el papel de las quemas para la agricultura y la ganadería ha disminuido.

Asimismo, se han reducido los incendios causados por fumadores. De esto se puede deducir que, en primer lugar, es probable que hayan tenido efectos positivos las actividades de prevención cultural en la región, por lo que se puede recomendar seguir por el camino trazado en este aspecto. En segundo lugar, es aparente la falta de una vigilancia eficaz que impida los incendios intencionales y también la cacería furtiva que, al menos de acuerdo con los datos oficiales, también ha incrementado su papel como causa de los incendios.

Poca claridad se tiene, al contrario, con respecto a las causas antrópicas de quema de basureros y fogatas y también en relación al papel de las causas naturales, ya que tienen un porcentaje muy bajo o ni siquiera figuran en los registros oficiales, mientras que alcanzaron valores considerables en la encuesta de la población local. De este modo, es posible que parte de los incendios registrados con causa no determinada por los organismos federales hayan sido producto de uno de estos tres factores.

Agradecimientos

El autor agradece a las dependencias que proporcionaron los datos utilizados en este estudio: la CONAFOR (Gerencia Estatal en Veracruz) y la CONANP (Dirección General de Operación Regional y Dirección de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas), así como a todas las personas que apoyaron el trabajo con su participación en las entrevistas y el cuestionario. Además, a Reyna Cristina Lavariega González y Elia Daniela Rodríguez Celis, por haber revisado el texto previo a ser enviado.

REFERENCIAS

- Barranco, R. (2018). *Biósfera de Los Tuxtlas en Veracruz, abandonada a su suerte*. La Silla Rota.
- Castillo-Campos, G. y Laborde, J. (2004). La Vegetación. En Guevara, S. et al. (Eds.), *Los Tuxtlas: El paisaje de la Sierra*. Instituto de Ecología.
- CONAFOR. (2019). *Estado que guarda el sector forestal en México*. Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2020). *Cierre de la Temporada 2019*. Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2021). *Cierre de la Temporada 2020*. Comisión Nacional Forestal.
- CONANP. (2006). *Programa de Conservación y Manejo: Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONANP. (2020, abril). *Información Espacial*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41, 17-18.
- Diario Oficial de la Federación. (2020). Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2020. Estados Unidos Mexicanos.
- Fowler, F. F. (2014). *Survey Research Methods*. Sage Publications.
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A. y López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica* 2(8), 217-224.
- Guevara, S. (2010). *Los Tuxtlas: Tierra mítica*. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana y Secretaría de Educación-Gobierno del Estado de Veracruz.
- Hirschberger, P. (2016). *Forests ablaze: Causes and effects of global forest fires*. WWF.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie VI (Capa Unión)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Marco Geoestadístico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. INEG.
- Instituto Nacional de Psiquiatría. (2017). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017: Reporte de Tabaco*. Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz.
- International Union of Forest Research Organizations. (2018). *Global Fire Challenges in a Warming World*. IUFRO.
- Jardel, E. J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado, E. y Morfín-Ríos, J. E. (2014). *Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo*. Comisión Nacional Forestal.
- Kull, C. A. (2002). Empowering pyromaniacs in Madagascar: Ideology and legitimacy in community-based natural resource management. *Development and Change*, 33, 57-78.
- Lafon, M. F. (2021). *Boletín de prensa: Analizan impactos forestales y potencial de mitigación de Sembrando Vida*. World Resources Institute.
- Maldonado, J. (2020). *La gente no denuncia la caza furtiva, principal causante de incendios forestales*. La Jornada Maya.
- Martínez-Torres, H. L. y Pérez-Salicrup, D. R. (2018). *El papel del campesinado ante la regulación de los incendios forestales en México: Consecuencias inesperadas. Perspectivas Rurales Nueva Época* 16(31), 51-89.
- Martínez-Torres, H. L., Cantú-Fernández, M., Ramírez, M. I. y Pérez-Salicrup, D. R. (2015). Fires and Fire Management in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve. En Oberhauser, K., Nail, R. y Alitzer, S. (Eds.), *Monarchs in a Changing World: Biology and Conservation of an Iconic Butterfly*. Cornell University Press.
- Neary, D. G. y Leonard, J. M. (2019). Physical Vulnerabilities from Wildfires: Flames, Floods, and Debris Flows. En Rhodes E. y Naser, H. (Eds.), *Natural Resources Management and Biological Sciences*, IntechOpen.
- OMS. (2000). *Acción sanitaria en las crisis humanitarias: incendios forestales*. Organización Mundial de la Salud.
- Ortiz, P. (2009). *Estudio Regional Forestal UMAFOR: Los Tuxtlas*. Estado Veracruz.
- Pausas, J. G. y Vallejo, V. R. (1999) The role of fire in European Mediterranean ecosystems. En Chuvicco, E. (Ed), *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. Sage.

- Pérez-Salicrup, D. R., Ortiz, R., Garduño, E. et al. (2018). Coordinación institucional para la realización de quemas prescritas y quemas controladas en México. *Revista mexicana de ciencias forestales* 9(49), 252-270.
- Pyne, S. J. (2009). The human geography of fire: a research agenda. *Progress in Human Geography* 33(4), 443-446.
- Pyne, S. J. (2019). *Fire: A brief history*. Segunda edición. University of Washington Press.
- Rodríguez, D. A. (2014). *Incendios de Vegetación. Su Ecología, Manejo e Historia*. Colegio de Postgraduados.
- Rothgeb, J. M., Willis, G. y Forsyth, B. (2007). Questionnaire Pretesting Methods. *Bulletin de méthodologie sociologique* 96, 5-31.
- Sande, J., Rego, F., Fernandes, P. y Rigolot, E. (Eds.) (2010). *Towards Integrated Fire Management: Outcomes of the European Project Fire Paradox*. European Forest Institute.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Recursos forestales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Siemens, A. H. (2009). *Una manera de ver Los Tuxtlas: paisaje de Mesoamérica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Tedim, F., Xanthopoulos, G. y Leone, V. (2014). Forest Fires in Europe: Facts and Challenges. En Douglas, P. (Ed.), *Wildfire. Hazards, risks, and disasters*. Elsevier.
- UNESCO. (2018). Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- World Justice Project (2020). *The World Justice Project Rule of Law Index® 2020*. WJP.

Diseño de un laboratorio de medios para el análisis de la producción científica colaborativa de grupos de investigación con base académica

Jorge Alberto Cid Cruz¹

Universidad Autónoma de Baja California
México

El presente documento muestra el planteamiento conceptual, metodológico y analítico que se llevó a cabo para la elaboración de una serie de visualizaciones de redes entre entidades heterogéneas. Su objetivo era la elaboración de un laboratorio de medios bajo un enfoque desde las disciplinas del diseño con el cual se pudiesen dar cuenta de la relevancia del diseño en tanto campo para la producción de conocimientos y desarrollos tecnológicos, y del modo en que las disciplinas del diseño pueden ser una herramienta metodológica viable en el quehacer de las ciencias sociales y humanísticas. Para ello se integró un marco conceptual de las ciencias sociales, particularmente de los Estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad, junto con un marco metodológico propio de la cienciometría informática, en procesos de diseño con aplicación de software para modelado 3D. Todo este proceso se implementó en un caso de estudio donde se eligió un centro de investigación en métodos de producción de software y se trazaron las relaciones que surgen entre los diferentes investigadores y sus temas de investigación, las palabras claves en sus publicaciones indexadas y las herramientas que utilizan en el día a día en su quehacer de investigación. El trabajo implicó la construcción de un 'método de software' es decir un flujo de trabajo que implicó el tratamiento de los datos y su traducción por diferentes formatos de archivo hasta conseguir las representaciones que permitieran dar cuenta de la organización reticular del centro de investigación. La importancia de este trabajo consiste en mostrar al diseño como una vía metodológica para la investigación en ciencias sociales y humanísticas, en mostrar que los procesos de diseño y los procesos de elaboración de herramientas informáticas pueden ensamblarse y, sobre todo, en mostrar la capacidad analítica de la visualización de las redes heterogéneas para la comprensión de las prácticas investigativas.

¹ Contacto: cid.jorge@uabc.edu.mx

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigación en Métodos de Producción de Software Centro PROS, es un instituto de investigación avanzada de la Universidad Politécnica de Valencia UPV. Se encarga de la investigación y desarrollo de métodos para la producción de software de alta calidad con injerencia en la Unión Europea. Cuenta con más de cincuenta investigadores y en sus 12 años de existencia ha realizado importantes aportaciones a la producción de software en el marco informático del Desarrollo Orientado por Modelos². En entrevista con el ex-vicepresidente del campus Valencia del Politécnico Juan Peiró, nos comentó que este instituto recibe una de las mayores partidas presupuestales de la UPV debido a su relevancia regional y a su capacidad para generar investigación y desarrollo en el campo de la informática.

El interés por estudiar este instituto se debe a que es un escenario que genera conocimiento sobre la producción de software. Un área poco entendida fuera del ámbito especializado de las ciencias informáticas, aunque claramente relevante en prácticamente todas las demás áreas de la producción industrial, de las ciencias y de las humanidades. Ello nos puede ofrecer referencias para la generación e integración de equipos de investigación y desarrollo donde la injerencia informática es fundamental.

Para ello se planteó la aplicación de la Visualización de Redes Heterogéneas VRH, un método híbrido entre el estudio relacional de las redes socio-técnicas (Allende y Arellano, 2004; Arellano y Jensen, 2006)³ y la Visualización de Información VI (Chen y Floridi, 2013; Masud et al., 2010) que es una área en desarrollo y se integra por el diseño gráfico y la interacción humano-computador.

En este tenor, los estudios de las relaciones que se tejen entre conocimientos y tecnologías en el marco de la comunidad científica y tecnológica, ha sido enriquecido a partir de la pertinencia de la VI, la cual ayuda a obtener, procesar, representar y analizar las relaciones que se tejen entre las diferentes entidades que se involucran en procesos de investigación y/o desarrollo tecnológico, para estudiarlas mediante la VRH. Su finalidad es facilitar el entendimiento sobre las tramas representadas y las entidades involucradas. Y es, a través de los patrones de relación y distribución de nodos, que emergen historias respecto a los actores y las propias relaciones.

Por un lado, los estudios relacionales han sido muy útiles en la explicación del modo en que se hace ciencia y tecnología y con ello es un campo de estudio de relevancia para el diseño y rediseño de los colectivos que realizan investigación y desarrollo. Ya que se puede observar su organización interna, sus métodos de trabajo, sus objetos de investigación y sus colaboraciones.

Por otro lado, la VI ha sido muy efectiva en el marco de los estudios relacionales, dado que se enfocan en la consulta de bases de datos y de su representación visual mediante algoritmos informáticos y estrategias de diseño visual, que permiten el estudio de dichos datos al ponerlos en relación, favoreciendo su analítica y descripción.

Identificamos a las prácticas de VI, como prácticas que se desarrollan en el marco de los laboratorios de medios o medialabs ML. Un medialab es un escenario en el que se elaboran y ensayan prototipos de 'artefactos de software', es decir piezas de programación dedicadas a algún propósito, dentro de un flujo de diseño de información como los propuestos en Chen y Floridi (2018) o Masud et. al. (2010). Estos propósitos pueden ser: extraer datos de la web, organizar o limpiar esos datos, traducir los datos entre diferentes formatos de archivo, visualizarlos en determinadas estructuras diagramáticas, manipularlos, etc., los ML han sido fructíferos para la investigación científica⁴ y tecnológica,⁵ así como en la integración de colectivos en la búsqueda de soluciones a un problema común.⁶

² Un conjunto de métodos para el diseño de software que usa diagramas y otras representaciones visuales para la elaboración de los algoritmos y la programación simultánea.

³ Un conjunto de métodos desarrollados en el campo de los Estudios en Ciencia Tecnología y Sociedad ECTyS.

⁴ <https://medialab.sciencespo.fr/>

⁵ <https://www.media.mit.edu/>

⁶ <https://www.medialab-prado.es/proyectos/manual-para-un-activismo-ciclista-efectivo>

Este documento se organiza en un sentido deductivo, primero introduciremos brevemente al marco epistémico de los estudios relacionales desde el enfoque de los Estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad ECTyS, así como al marco técnico de la VRH, para sustentar la analítica relacional del Centro PROs. Posteriormente describiremos el diseño de los artefactos de software que posibilitaron el estudio relacional después nos enfocaremos en el análisis propiamente dicho; para cerrar con conclusiones respecto de: 1) las relaciones que se tejen en la producción colaborativa del Centro PROs, y 2) el diseño de algunas herramientas para la VRH y con ello mostrar un diseño de ML que al mismo tiempo diseña información con medios digitales para la investigación.

2. MARCO REFERENCIAL

Llamamos Estudios Relacionales a la práctica de estudiar las relaciones que se tejen entre diferentes entidades que convergen en diversos fenómenos como la producción de conocimientos, la generación de tecnologías o las dinámicas por Internet. Estos estudios surgen en los ECTyS y guardan herencia técnica y conceptual con la Teoría del Actor-Red TA-R (Latour, 2005).

Los ECTyS, constituyen el marco teórico metodológico para el estudio de los colectivos que elaboran conocimientos (Arellano, 2011), tecnologías (Ortega y Arellano, 2010), políticas (Latour, 1993) y economías (Callon, 1986) y de los fenómenos datables a través de Internet como se mostrará en nuestro ejercicio. En este marco epistémico, se reconoce que *lo social* no es un adjetivo que se integre a fenómenos tan diversos como la economía⁷ o la naturaleza⁸, por mencionar algunos casos generales. Por el contrario, como comenta Latour (2005), parten de la noción de *asociación*. Sociología, en tanto el estudio (*logos*), de las *asociaciones*, no de *lo social* en relación con otra cosa o como derivado de otra cosa. De tal modo que el estudio de las asociaciones se concentra en entender el modo en que diferentes entidades se asocian para conformar diversos fenómenos, como los que se generan en el Centro PROs.

La TA-R es un método analítico que identifica cualidades materiales, conceptuales y sociales en las entidades que forman parte de una red (Latour, 2005). Se parte de la idea de que cada entidad es en sí, un híbrido de naturaleza y cultura (Latour, 2005). La naturaleza, representada por la fisicalidad o materialidad de la entidad, como un virus, una proteína, un investigador o un artefacto técnico. Y la cultura, representada por la carga semántica intrínseca al elemento físico⁹. Las cualidades sociales están determinadas no solo por la manera en que la materialidad y las cargas semánticas, o significaciones, se traducen, también por la manera en que las entidades se relacionan con las que construye el fenómeno de observación.

A finales de los noventa del siglo pasado, ya en el contexto del informacionalismo¹⁰, es decir dentro del paradigma tecno-científico basado en la implementación de tecnologías computacionales de información y comunicación; se desarrollaron herramientas informáticas que permitían integrar diferentes bases de datos en la representación de redes. En aquel momento se trataba de eliminar la oposición entre métodos cualitativos y cuantitativos de investigación, a la vez que se exploraban nuevas herramientas de significación (Allende y Arellano, 2004). Primero, con la finalidad de generar inferencias cualitativas respecto de la red observada por medios cuantitativos (Lonkila y Timo, 1999) y posteriormente con la intención de cartografiar la heterogeneidad de los datos y de las dimensiones que surgen de la propia red (Allende y Arellano, 2004).

La VRH es una adecuación a la cartografía de redes propias del contexto de los ECTyS. Sus características principales son: 1) la identificación de dimensiones conceptuales y materiales de las entidades que construyen la red¹¹, 2) hay un proceso de diseño de información implícito en la construcción de la red, 3) en

⁷ En expresiones como *efecto social de la economía neoliberal en ...* o bien *la economía neoliberal y su efecto social en ...*

⁸ En expresiones como *Impacto social del cambio climático ...* o bien *el cambio climático y su impacto social*.

⁹ Por ejemplo: un virus es un agente exógeno que altera las funciones normales de replicación de material genético en el interior de las células para reproducirse a partir de ella. Otro ejemplo: un investigador es un sujeto que posee ciertos conocimientos teóricos y metodológicos con los cuales genera preguntas de investigación, elabora modelos teóricos y/o experimentos y, como derivado de ello, estabiliza ciertas conclusiones.

¹⁰ Como identificamos al contexto tecno-epistémico actual apoyados en Floridi (2014).

¹¹ En el presente proyecto se identifican por investigadores, palabras, clave, colaboradores y áreas de investigación, marcos epistémicos, marcos tecnológicos, grupos de I+D y proyectos de desarrollo.

el que existe una integración de 'artefactos de software' para la obtención, organización y representación de datos, 4) se elaboraron diferentes herramientas de visualización e interacción para analizar y describir las redes obtenidas, lo que derivó en 5) la visualización de las relaciones heterogéneas del Centro PROS.

A partir de estos métodos, nuestro estudio pudo abordar las siguientes preguntas ¿Qué relaciones guardan un conjunto de investigadores dentro de un centro de investigación en métodos de producción de software (Centro PROS) con los temas de investigación a los que se suscriben, los marco teóricos y tecnológicos de los que parten y los artefactos que generan? A partir de ahí caben preguntas como ¿Cuál es el peso de las entidades que conforman la red del Centro PROS? ¿Cómo se configuran las relaciones a partir de las colaboraciones internas, los temas de interés y los colaboradores externos? ¿Qué posibles hallazgos pueden surgir del estudio de las relaciones que se dibujan a partir del Centro PROS entorno a la producción de conocimientos y tecnologías en el ámbito de la ciencia informática?

3. DISEÑO DEL LABORATORIO DE MEDIOS PARA LA VISUALIZACIÓN DEL CENTRO PROS

En 2015 se realizó una estancia de investigación en el Centro PROS con la finalidad de construir datos y procesarlos informáticamente para estudiarlo desde la aplicación de la VRH y con ello ensayar un ML. Se usaron como fuentes de información algunas entrevistas y etnografías realizadas en diversas instalaciones del Centro Pros y además se recuperó información de bases de datos disponibles a través de la web y de cuestionarios diseñados en *google forms*.

Las preguntas de investigación se tradujeron a problemas de diseño y con ello se plantearon dos objetivos: 1) Ensamblar una herramienta analítica a partir de artefactos de software desarrollados por algunos ML para visualizar personas, conceptos y relaciones, en la producción académica del Centro PROS, y 2) Diseñar una herramienta de visualización a partir de un modelo propio usando software de modelado 3D, para luego, ensayar nuestra propia herramienta de VRH. Con esta herramienta se profundizó en la representación heterogénea al establecer marcos epistémicos, tecnológicos, grupos de investigación, proyectos e investigadores. El diseño de ambas herramientas, en relación a nuestras preguntas de investigación, constituyen el eje de nuestro laboratorio de medios.

3.1 Diseño de la VRPAC

Para el primer objetivo se identificaron y ensamblaron una serie de artefactos informáticos elaborados por distintos ML¹², al que denominamos *Visualización Reticular de la Producción Académica del Centro PROS* VRPAC. Los datos base fueron extraídos del portal bibliométrico *Scopus*, de ahí se obtuvieron una serie de archivos en formato *csv*¹³. Estos fueron filtrados mediante de la herramienta *ScienceScape*¹⁴, de *Science Po*, de la cual se obtuvieron archivos por cada investigador en un formato dedicado a la representación de redes llamado *gefx*, este tipo de archivos se usan para visualizar redes mediante el software *Gephi*¹⁵.

Gephi es una aplicación para la visualización de redes elaborada por el *Medialab* de *Science Po*. Con él se pueden limpiar datos, filtrar nodos y vértices, elaborar distintas representaciones de red y en la teoría de grafos. Se pueden realizar visualizaciones a detalle mediante la función de *zoom*, se pueden realizar búsquedas por nodo o vértice, agregar etiquetas, cambiar tamaño, color y posición de nodos y vértices, dibujar nodos a mano, añadir tablas, etc., en suma, *Gephi* es un software que permite diseñar gráficamente, visualizaciones de redes (Bastian et. al., 2009).

En *Gephi* se fueron añadiendo los archivos *gefx*, se eliminaron errores de indexación como nombres mal escritos, abreviaciones incorrectas, nombres repetidos y se mezclaron nodos de investigadores cuyos datos no fueron bien registrados. Después se corrieron diferentes algoritmos de organización de grafos para modelar la representación y con ello elegir el más adecuado a la visualización que se ajusta a nuestro

¹² Del *Medialab* de *Sciences Po*, el *Density Design Lab* del Politécnico de Milán, el *Summer School '15* de la *Digital Methods Initiative* de la Universidad de Ámsterdam y el *Oxford Internet Institute* de la Universidad de Oxford.

¹³ Comma separated values. Uno por cada miembro del Centro PROS.

¹⁴ <http://medialab.github.io/sciencescape/>

¹⁵ <http://gephi.org/>

objetivo 1. Por ello, se eligió el algoritmo *ForceAtlas2*¹⁶, pues este permite *espacializar* los grupos de entidades según el número y tipos de relaciones que poseen. Básicamente, nos permite crear un esquema *topológico* de la red (Figura 1). Este tipo de visualizaciones facilita el análisis de redes a partir de los subgrupos que se construyen, pudiendo distinguir grupos de investigación, investigadores, colaboradores y palabras clave.

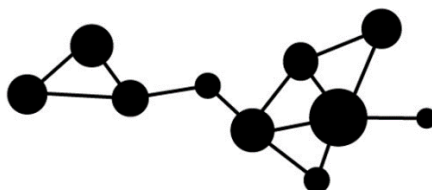


Figura 1. Red topológica, hay dos clústeres unidos entre sí por una entidad: a la izquierda uno con tres entidades, a la derecha otro con seis

De acuerdo con Jacomy et al. (2014), la *espacialización* por medio de *ForceAtlas2* permite al investigador usar métodos visuales de análisis para encontrar comunidades. Donde, al margen de los aspectos técnicos del algoritmo, lo sustancial es que la topología depende de las decisiones de diseño visual que asume el investigador. Para ello la red se organiza en *tiempo real*, dando oportunidad al investigador de observar cómo se van construyendo las comunidades hasta que el investigador lo detiene o bien la red alcanza su propio equilibrio. Siguiendo con Jacomy et al. (2014), a medida que el investigador modifica las opciones de *espacialización* o bien añade algoritmos de organización visual, modifica la topología, por lo que el análisis depende de la manipulación de las opciones a las que tiene acceso el investigador para visualizar la red (Figura 2).

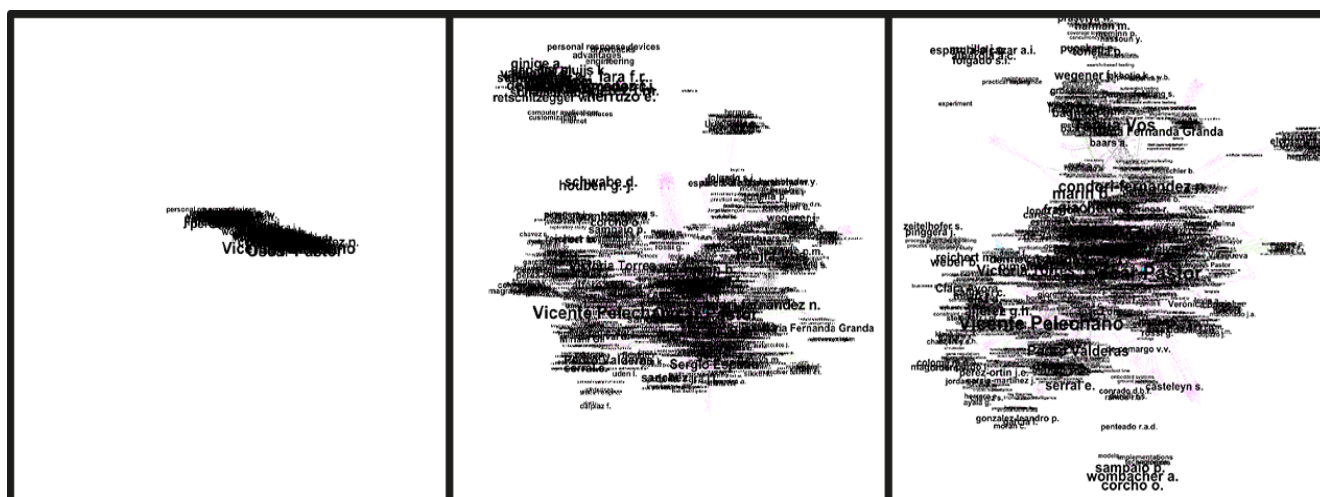


Figura 2. Dinámica topológica de la red, tres momentos de espacialización

Como se verá más adelante, este ensamblaje nos permitió observar las maneras en que se organizan los grupos de investigación en torno a palabras clave y colaboraciones. Sin embargo, dejó fuera la posibilidad de realizar preguntas en torno a las tecnologías conceptuales y artefactuales involucradas en los proyectos de investigación y desarrollo propios del centro PROS, por lo que fue necesario el diseño de una herramienta propia enfocada a mostrar esas entidades y trazar sus relaciones.

3.2 Diseño de la HR+G

Con la segunda herramienta que se desarrolló, se buscó profundizar en la heterogeneidad, al trazar las relaciones entre investigadores, marcos epistémicos, marcos tecnológicos y proyectos. Llamamos a este artefacto Herramienta *Rinho+Grasshopper* [HR+G]. Las particularidades de esta herramienta son: 1) surgen directamente del entorno de las prácticas de diseño en su nivel artefactual, particularmente del modelado 3D, ya que se usó *Grasshopper*, la aplicación de programación visual de la plataforma de modelado

¹⁶ El algoritmo funciona a partir del principio de atracción y repulsión de partículas en el campo de la física.

tridimensional *Rinho* (Figura 3)¹⁷, y 2) esta herramienta se construyó enteramente en colaboración con el colega Josué Tello quien trabajaba en las relaciones entre diseño y pensamiento computacional (Tello, 2018). 3) Con esta herramienta se diseñó la información faltante en relación a la VRH del Centro PROS. 4) Al igual que la *VPARC*, el prototipo presenta limitaciones susceptibles de re-diseño.

El diseño de la HR+G consistió en visualizar la red de entidades a manera de diagrama de cuerdas (Figura 3). A diferencia de la representación topológica, en el que se priorizan grupos de entidades estrechamente relacionados, en el diagrama de cuerdas se pueden observar patrones de asociación entre diferentes entidades y facilita la analítica comparativa de las diferentes entidades (datavizcatalogue, 2018). Este se representa ordenando las entidades alrededor de una circunferencia y trazando sus relaciones como cuerdas que pasan por el interior del círculo. Facilita visualizar diferentes categorías de datos representadas por entidades que guardan relaciones de semejanza, dentro del marco de las categorías primeramente definidas. En nuestro caso: Marcos epistémicos, Marcos Tecnológicos, Proyectos de I+D, Grupos de I+D, Proyectos y Personas.

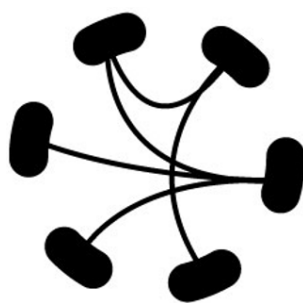


Figura 3. Esquema de un diagrama de cuerdas, las entidades se disponen radialmente y se dibujan cuerdas que significan las relaciones que se forman

La herramienta se presentó como un problema de diseño dado que implicaba la traducción de números escritos en una tabla Excel (los cuales representaban entidades de diferentes categorías), en una *nube de puntos*¹⁸, con lo que se fue dando forma a las representaciones tridimensionales. También se buscó que la herramienta fuera interactiva para que el investigador pudiese aislar una entidad y observar sus relaciones particulares y con ello enriquecer la experiencia analítica.

El flujo para el desarrollo de esta herramienta comenzó con la obtención de los datos a partir de una encuesta con preguntas abiertas elaborada en *Google Forms*¹⁹, la cual fue enviada a través de la lista de correos a los miembros del Centro PROS. Luego los resultados se organizaron en tabla relacionales usando mediante Microsoft Excel.

El primer problema procesual (el de traducir los contenidos de esas tablas a datos manipulables en *Grasshopper*) consistió en la automatización del procesamiento, luego de una extensa revisión de la literatura disponible desistimos y resolvimos hacerlo de manera artesanal. Así que de forma manual convertimos los datos a valores numéricos: cada cadena de caracteres formaba parte de una lista de datos, tanto a las cadenas como a las listas se les asignó un identificador numérico. Se obtuvieron ocho listas: por categorías, personas, grupos de I+D, proyectos, marco tecnológico digital, marco tecnológico analógico, marco epistémico de palabras clave y marco epistémico teorías y modelos. Luego se computó las relaciones de manera manual en un cuaderno, por ejemplo, el dato 1 de la lista 1 se relacionó con los datos 4, 0, 1, 2, 1 y 0 de las demás tablas y de acuerdo a las respuestas vertidas en la encuesta.

Una vez indicadas las relaciones se procedió a crear la representación visual. El proceso fue heurístico ya que se partió de la necesidad de dibujar un diagrama de cuerdas. También se requería que, al colocar el cursor sobre cualquiera de las entidades, estas debían resaltar cromáticamente del total de la red. Es decir, los gráficos se dibujan semi-transparentes para facilitar la identificación de relaciones particulares.

¹⁷ <https://www.rhino3d.com/6/new/>

¹⁸ Una nube de puntos es un concepto de modelado computarizado que refiere a un conjunto de puntos dispuestos en un espacio virtual tridimensional con los cuales se pueden dibujar líneas, superficies y volúmenes geométricos.

¹⁹ Se les pidió a los investigadores una serie de listas de marcos teóricos y tecnologías implicadas en sus proyectos de investigación.

Se construyó una representación semi-esférica (Figura 4) en la que los datos fueron organizados sobre la línea base de la circunferencia. A cada categoría de las entidades se le asignó un valor cromático. Se determinó el grado de las curvaturas y la altura de las *cuerdas* de la red y se ensayaron diferentes mecanismos de interacción usando *Leap Motion*²⁰. Estos ensayos dejaron la puerta abierta a una mayor investigación en el campo de la Interacción Humano-Computadora. La analítica final se resolvió en un documento PDF construido con Corel Draw y Adobe Illustrator²¹.

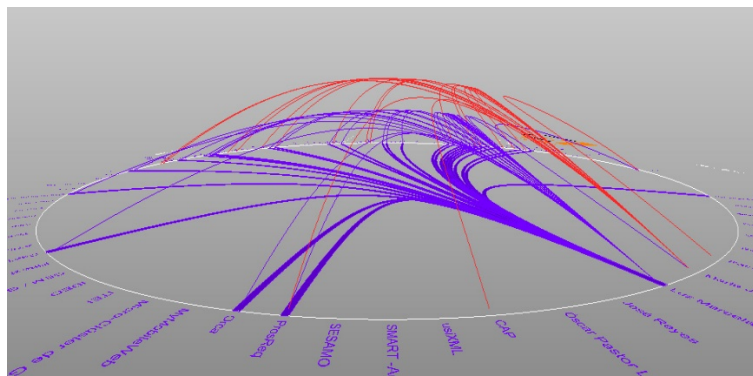


Figura 4. Representación esférica con HR+G

4. ANALÍTICAS RELACIONALES DEL CENTRO PROS

La VPARC nos permitió observar la estructura general de la red por investigador. Usando la función de *zoom*, fue posible ver a detalle los colaboradores y las particularidades de cada grupo de investigación (Figura 5). Del mismo modo, se organizó la red priorizando las palabras clave para observar cómo se distribuyen los investigadores en torno a ellas (Figura 7). Los líderes de los grupos de investigación se destacan por el número de palabras clave asociadas. La figura 6 muestra la prevalencia de Óscar Pastor, director del Centro PROS y miembro de los grupos de Genómica y Requisitos de sistema, seguido de Vicente Pelechano, responsable del grupo de Inteligencia del Entorno, Tanjia Vos líder del grupo de Evaluación de Software y Sergio España líder del grupo de Sistemas Organizacionales. Este método permite observar que la principal colaboración externa es Nelly Córdori-Fernández. Su posición intermedia entre el grupo de Sistemas Organizacionales y de Evaluación de Software permite dar cuenta de su participación con miembros de ambos grupos de investigación.

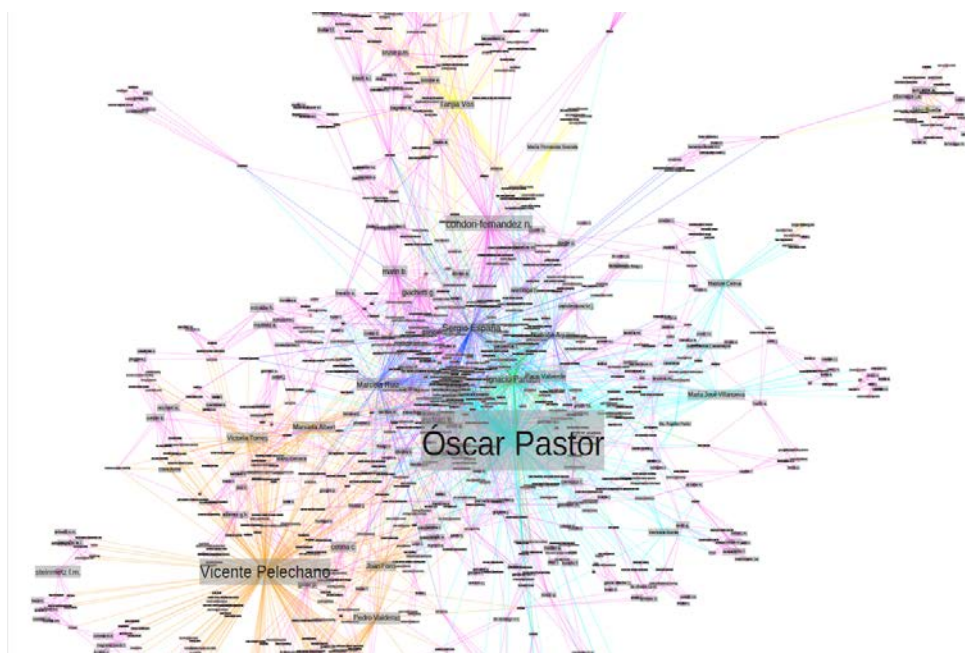
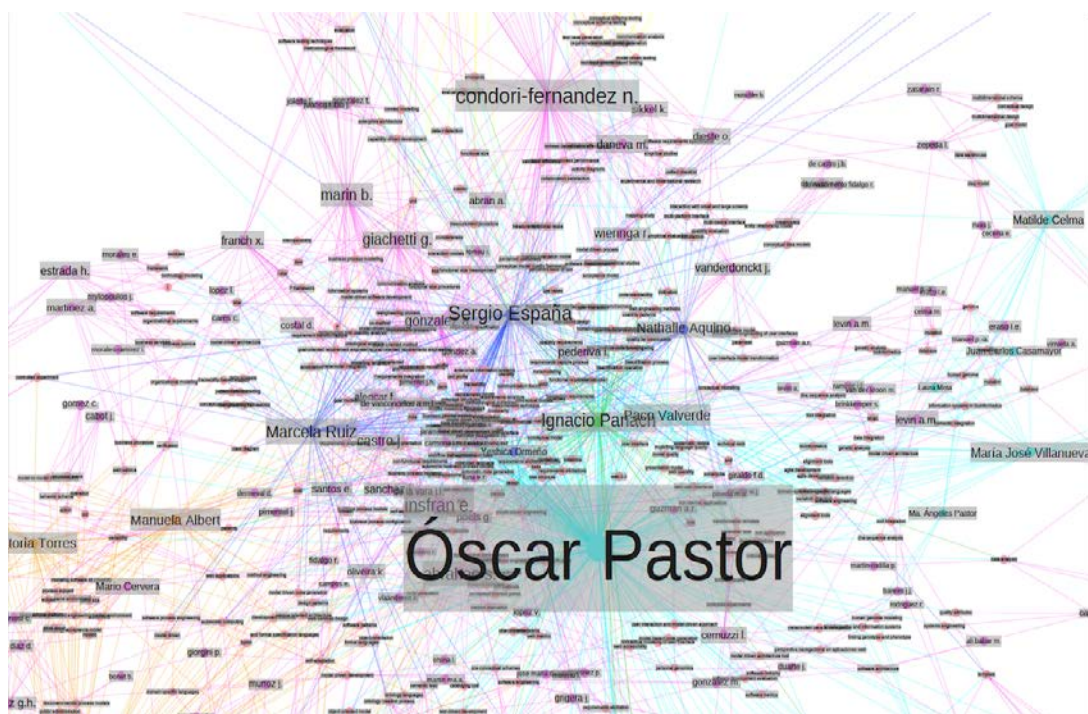


Figura 5. Red de investigadores

²⁰ *Hardware* Sensor Infrarojo para la manipulación de interfaces gráficas usando gestos con las manos.

²¹ <https://github.com/JorgeAISidi/CentroPROS/blob/master/Cartografia%20Centro%20PROS.pdf>

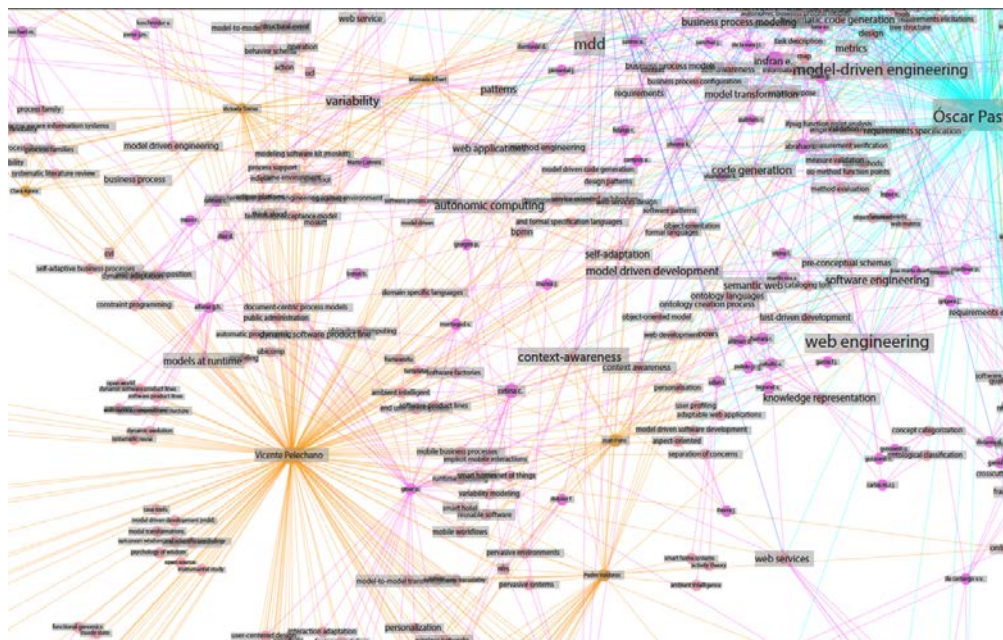
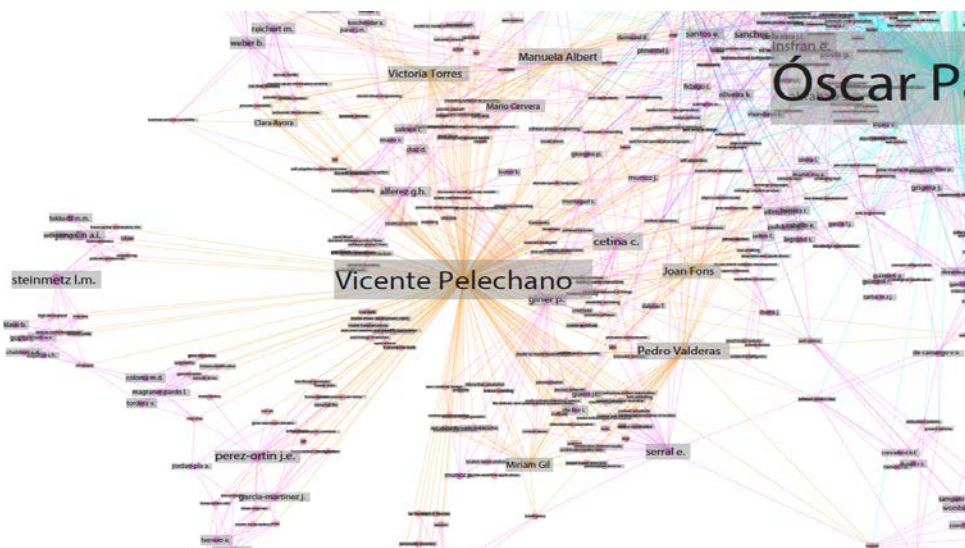
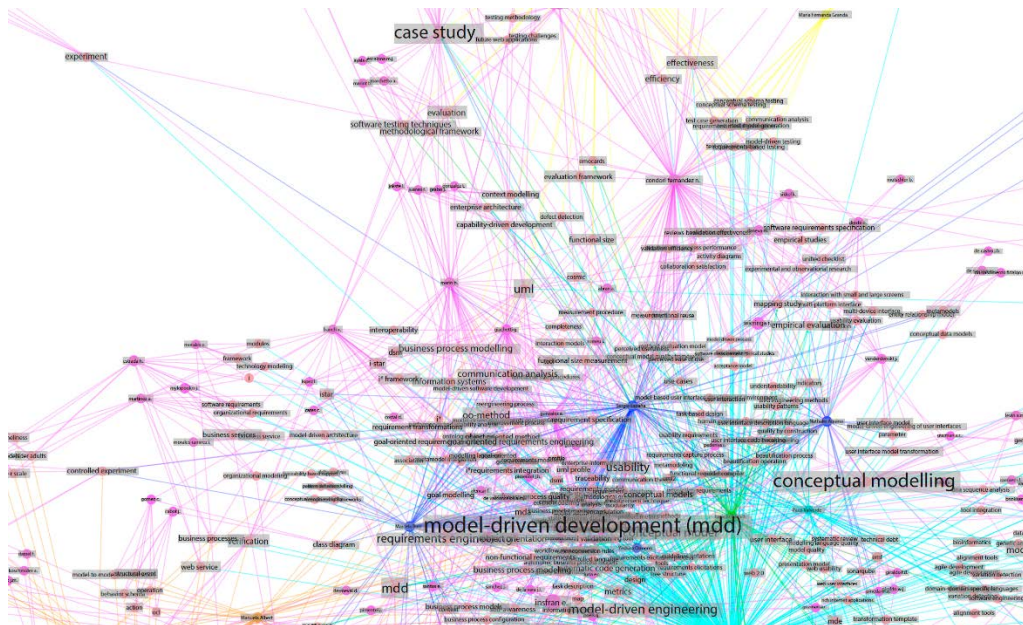
por la cual aparecen cercanos. En esa misma centralidad identificamos a Ignacio Panach, quien es el integrante del grupo de investigación Usabilidad. Sin embargo su centralidad responde al uso de las claves y colaboraciones con los demás grupos de investigación como Evaluación de Software²², Ciencia del Entorno, Sistemas Organizacionales y Genómica (Figura 6).



La Figura 7 nos muestra que las principales palabras clave de toda la red son Model-Driven Development y Conceptual Modelling, ubicadas en el centro de la red, términos que se refieren al marco tecno-epistémico que regula las actividades de investigación del Centro PROS. La centralidad de Model-Driven Development nos permite reconocer su relevancia para todos los grupos de investigación.

El grupo de investigación de Inteligencia del Entorno, como se observa en la Figura 9, da cuenta de las relaciones a partir de las palabras clave y los colaboradores en común entre Victoria Torres, Manuela Albert y Clara Ayora. Por otro lado, Joan Fons, Pedro Valderas y Miriam Gil, guardan relaciones más estrechas entre sí. Ubicado en el centro, Vicente Pelechano aparece como el miembro más importante al tener colaboraciones con los demás al mismo tiempo que con las palabras clave.

²² El uso del término Caso de Estudio, al que se asocia Ignacio Panach, es central en el interior del grupo de Evaluación de software.



En una revisión más profunda podemos observar relaciones más interesantes. Por ejemplo, la Figura 10 nos muestra que Joan Fons, Vicente Pelechano, y los colaboradores externos Alférez, G., Giner, P. y Cetina, C., todos han publicado usando la palabra clave *Dynamic Software Product Line*, esto puede llevarnos a preguntar si han colaborado en las mismas publicaciones o bien, han abordado el tema por separado, en cualquiera de los casos, esta relación nos habla del potencial de colaboración futura entre estos investigadores al poseer ese tema en común.

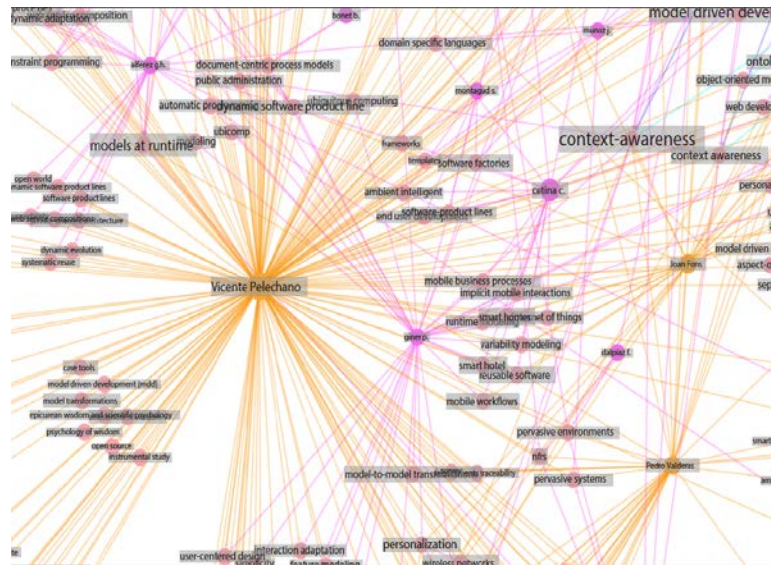


Figura 10. Inteligencia del Entorno, relaciones entre colaboradores internos y externos

Otros hallazgos relevantes son la dispersión topológica del área de Genómica (Figura 11) o la topología del grupo de Evaluación de Software (Figura 12). Si apelamos al algoritmo basado en las fuerzas de atracción y repulsión de *ForceAtlas2*, la dispersión en Genómica, puede deberse a que es un área en formación dentro del Centro Pros y las relaciones entre investigadores, palabras clave y colaboraciones todavía es débil. Es decir, hay un número significativamente menor de producción de publicaciones y uso de palabras clave de este grupo respecto de Sistemas Organizacionales, que como hemos visto forma un clúster muy cerrado y centralizado. El caso de Evaluación de Software es interesante en tanto que el grupo realiza investigaciones de evaluación de software en diferentes tipos de aplicaciones de software. Por ejemplo, el caso singular del investigador Urko Rueda, (extrema derecha de la Figura 12) sus temas tratan la visualización de información, el aprendizaje colaborativo y la educación secundaria. Mientras que el resto del grupo explora las pruebas de software automatizadas, los casos de estudio o la efectividad.

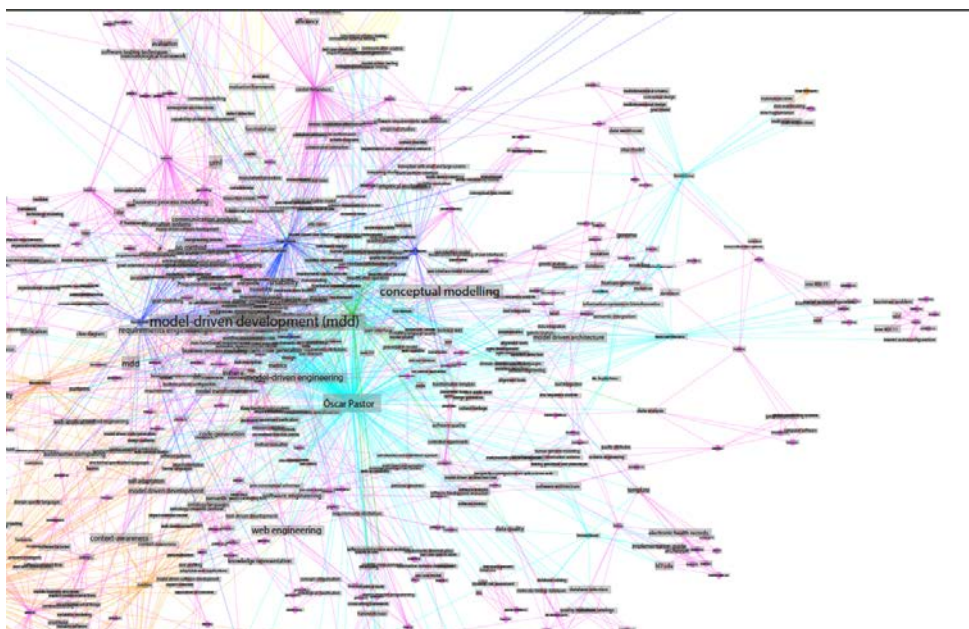


Figura 11. Grupo de Genómica

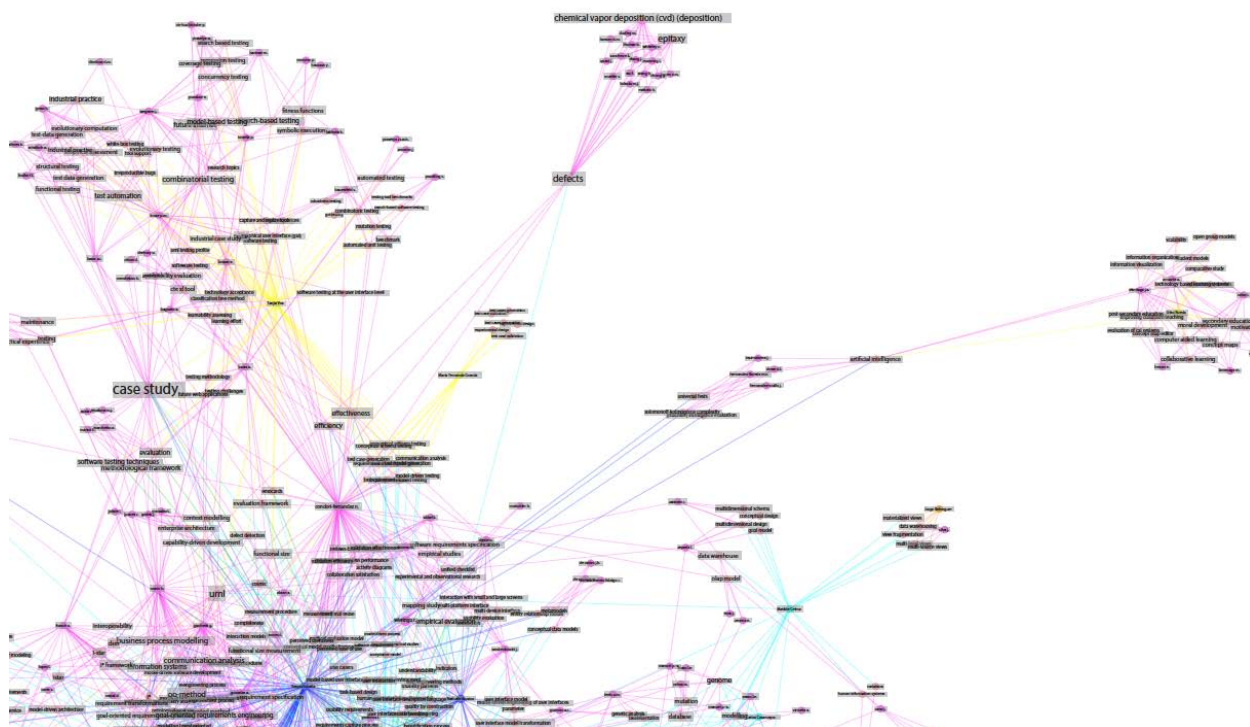


Figura 12. Grupo de Evaluación de Software

En resumen destacamos que la red nos muestra con mayor visibilidad a los líderes de cada grupo de investigación²³. También nos muestra cómo el resto de los miembros se organizan en torno a ellos y junto a ellos el grupo de colaboradores que los acompañan, así como las palabras clave que conforman sus respectivos clústeres. También vemos que las principales palabras clave se organizan en el centro de la red, lo que nos permite visualizar su relevancia para el Centro PROS. Los dos grupos que primero se formaron: Sistemas Organizacionales e Inteligencia del entorno son los que mayor cohesión tienen, mientras que los grupos de Evaluación de Software y Genómica no muestran ese grado de cohesión. Pero claramente muestran temas puntuales de trabajo o métodos de investigación: Case Study y Conceptual Modelling, respectivamente.

La analítica por medio de HR+G nos permitió hacer un análisis más heterogéneo, aunque involucró menos participantes. Esta herramienta nos permitió cartografiar los marcos epistémicos, tecnológicos, proyectos de I + D, investigadores y grupos de investigación. La Figura 13 nos muestra el diagrama de cuerdas que se elaboró con la información provista. Las entidades se organizaron en siete categorías. El diagrama nos permitió observar patrones de relación entre las categorías, especialmente las categorías de los marcos epistémicos y tecnológicos relacionados con los investigadores.

Los colores permiten identificar grupos de investigación y la opacidad de las cuerdas o vértices indican las veces que una entidad apareció nombrada en las respuestas de los cuestionarios. De tal modo que las cuerdas menos opacas fueron poco mencionadas mientras que las más opacas fueron las más nombradas. Naturalmente que, en la categoría de personas, la opacidad es mayor dado que de ellas parten todas las relaciones.

Esta analítica permite observar con precisión cuales son las herramientas conceptuales y técnicas que han sido utilizadas por los investigadores que respondieron al cuestionario. A diferencia del gráfico de barras, tradicional en la estadística, la representación en red nos permite observar todas las entidades que forman la red heterogénea y explorarla en una sola representación, lo que facilita conocer a las personas, sus herramientas y los proyectos de investigación en los que participan.

²³ En general, la VPARC nos ha permitido hacer estos y otros hallazgos que están disponibles en: https://github.com/JorgeAISidi/CentroPROS/blob/master/KW_CentroPROS_30opa_ai.pdf para la red por palabras clave y https://github.com/JorgeAISidi/CentroPROS/blob/master/Authors_Centropros_ai.pdf para la red por autores.

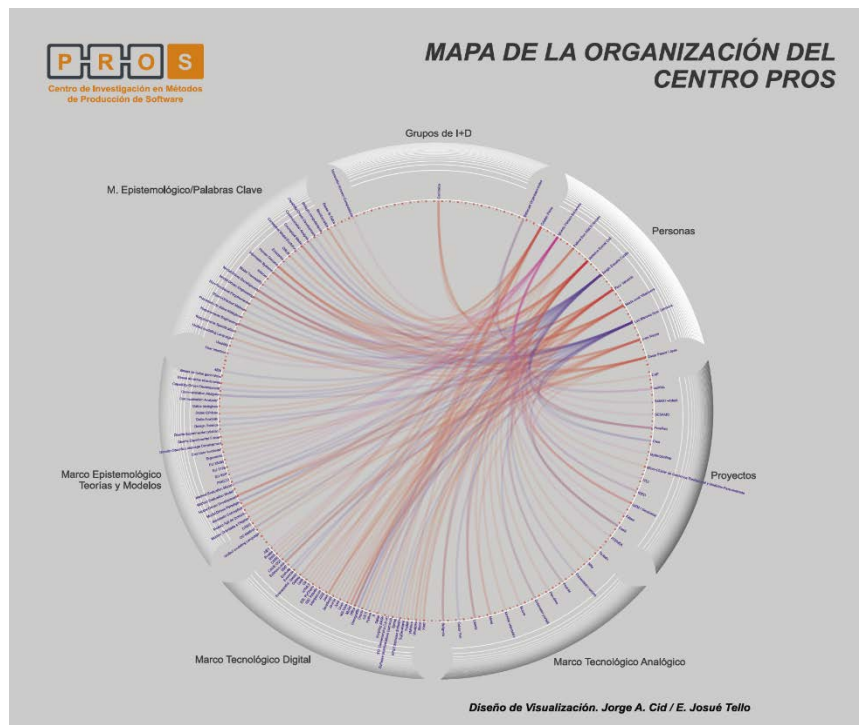


Figura 13. Diagrama de cuerdas elaborado con la herramienta HR-G

5. CONCLUSIONES

5.1 Sobre la información del Centro PROs

El Centro PROs se organiza en cinco grupos de investigación, cada uno con sus respectivos objetos de estudio, sin embargo, queda claro que poseen un marco metodológico y conceptual en común, lo que aporta cohesión a todo el centro. Como se pudo observar, en el centro de la red se ubican las principales palabras clave y en torno a ellas se dibuja la topología de red que resultó. Al mismo tiempo, se puede observar la influencia de los miembros más antiguos del centro de investigación: Óscar Pastor y Vicente Pelechano. En el caso de este último, su ubicación en la red, nos permite observar claramente su enfoque dirigido a la 'Inteligencia del Entorno' mientras que el caso de Pasto, su ubicación nos permite observar su influencia sobre toda la red. Al mismo tiempo la red nos da cuenta de la cercanía que hay entre los miembros del grupo de 'Requerimientos de sistemas' y los de 'Genómica'. Quizás el caso extraordinario se da en el grupo de 'Evaluación' pues uno de sus miembros no se conecta directamente con el resto de los miembros de este grupo. Por el contrario, aparece del otro lado de la red y se vincula al resto de la red por una palabra clave.

Esto también nos sugiere que los miembros del Centro PROs podrían tener mayor movilidad y comenzar a interactuar entre ellos para elaborar otro tipo de investigaciones, digamos, multidisciplinarias o bien disruptivas. Al mismo tiempo la visualización nos permite observar la producción científica de los miembros y de los grupos. De tal modo que podría convertirse en una herramienta para medir la productividad académica y tecnológica.

5.2 Sobre la visualización de redes heterogéneas

Consideramos que la VRH es una herramienta analítica que puede aportar mucho para la comprensión de los diferentes elementos conceptuales y técnicos que intervienen en la generación de conocimientos y tecnologías. Nos permite observar patrones en el uso de determinadas términos y herramientas y también nos permite encontrar relaciones entre entidades que no están relacionadas de manera directa. Creemos que otra relevancia de la VHR radica en que permite ser un instrumento de rediseño, esto es, una vez que la red ha sido construida en función de la información obtenida, el analista podría elaborar hipótesis sobre cómo reorganizar las entidades de la red para enfocarla en investigaciones y desarrollos propios.

Observamos que la VPARC nos ofrece información interesante sobre una red de producción académica, los actores y sus temas de investigación, pero no nos permitía abordar toda la heterogeneidad que surge en los proyectos de investigación, al menos en el caso que se presentó, y por tanto es necesario la elaboración de instrumentos de visualización adecuados a los intereses de investigación. En tal sentido la experiencia en la construcción de la HR+G nos permite entender el potencial que tiene el software de modelado para diseño industrial como herramientas de modelado de información con bases de datos. Esto abre la posibilidad para los diseñadores de intervenir de un modo más técnico en los procesos de investigación y de modelado de información con grandes bases de datos donde la representación visual sea de suma importancia.

REFERENCIAS

- Allende, T. y Arellano, A. (2004) Redes Socio-Técnicas: La visión de la cienciometría. En *V Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología*. Toluca, México.
- Arellano, A. (2011) Representación matemática de una terapéutica: Circulación de inscripciones tecnocientíficas en el tratamiento de la litotripsia extracorporal. *História, Ciências, Saúde* 18(3), 829-849.
- Arellano, A. y Jensen, H. (2006), Mapeando las redes de investigación en ciencias básicas en la Universidad de Costa Rica. *Convergencia* 13(42), 181-213.
- Bastian, M., Heymann S. y Jacomy, M (2009) Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. Recuperado: <https://gephi.org/publications/gephi-bastian-feb09.pdf>
- Callon, M. (1984), Some elements of a sociology of translation: Domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. *The Sociological Review* 32, 196-233.
- Chen, M. y Floridi, L. (2013) An analysis of information visualisation. *Synthese* 190, 3421–3438.
- Floridi, L. (2014) *Fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford University Press.
- Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S. y Bastian, M. (2014) ForceAtlas2: A continuous graph layout algorithm for handy network visualization designed for the Gephi software. *PLoS ONE* 9(6), e98679.
- Latour B. (1993) *We've Never Been Modern*. Harvard University Press
- Latour, B. (2005) *Reassembling the Social, An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford University Press.
- Lonkila, M. y Harmo, T. (1999). Toward computer-assisted qualitative network analysis. *Connections: Official Journal of the International Network for Social Network Analysis* 22(1), 52-61.
- Masud, L., Valsecchi, F., Ciuccarelli, P., Ricci, D. y Caviglia, G. (2010) From data to knowledge. Visualizations as transformation processes within the data-information-knowledge continuum. En 14th International Conference Information Visualisation. Londres, Reino Unido.
- Ortega, C. y Arellano, A. (2010) *Relaciones Sociales de Genes, el primer vegetal transgénico mexicano*. Miguel Ángel Porrúa.
- Tello, E. (2018). Lenguaje y pensamiento computacional en el proceso de diseño. *Disertación doctoral*. Universidad Autónoma del Estado de México.

El impacto de una entidad financiera en la reducción de la desigualdad a partir de modelos basados en agentes

José Luis Alvarado Martínez¹

Wilder Arleht Angarita Osorio²

Nasly Yanira Martínez Velásquez³

Alexander Santos Niño⁴

Universidad de los Llanos

Colombia

En las últimas tres décadas se ha desarrollado un nuevo campo de conocimiento, conocido como econofísica, que se encarga de aplicar modelos y herramientas de la física para analizar fenómenos económicos y financieros. Entre los desarrollos teóricos en esta disciplina, se destaca el uso de modelos basados en agentes MBA para estudiar distribuciones empíricas de riqueza, lo que se conoce con el nombre de modelos cinéticos de distribución. Estos modelos describen sistemas económicos por medio de una analogía con un gas ideal, donde los agentes intercambian dinero de forma semejante al intercambio de energía entre las partículas. El propósito de este capítulo es describir, por medio de simulaciones, el comportamiento de la distribución de dinero entre los agentes que ahorran una fracción ξ de su dinero en una entidad financiera. A fin de comparar los resultados, se usan los modelos basados en agentes para estudiar la dinámica del sistema económico, al incluir una entidad financiera que maneja diferentes tasas de colocación α y de captación φ . Los resultados muestran que cuando se incluye la entidad acumula el dinero del sistema en un tiempo denominado tiempo de saturación t_s y la evolución temporal del dinero se ajusta a una función logística. A medida que los agentes ahorran más, el tiempo de saturación t_s aumenta de forma cuadrática y, cuando las tasas de interés tienden a ser muy cercanas, el tiempo de saturación se incrementa exponencialmente.

¹ Licenciado en Matemáticas y Física.

Contacto: jose.alvarado@unillanos.edu.co

² Licenciado en Matemáticas y Física.

Contacto: wilder.angarita@unillanos.edu.co

³ Magíster en Ciencias Físicas.

Contacto: nmartinez@unillanos.edu.co

⁴ Magister en Ciencias Físicas.

Contacto: asantos@unillanos.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tres décadas, la econofísica se ha encargado de aplicar modelos y usar herramientas desarrolladas en la física para estudiar propiedades emergentes de sistemas complejos asociados a la economía y las finanzas desde un enfoque novedoso derivado de las ciencias físicas (Abergel et al., 2013; Chakraborti et al., 2011a; Mantegna y Stanley, 1999; Pereira et al., 2017; Schinckus, 2013; Schinckus, 2010). Los trabajos desarrollados en esta disciplina han tenido dos enfoques: el primero, mecánico estadístico que busca la descripción matemática del sistema estudiado, y el segundo, que utiliza modelos basados en agentes para reproducir la fenomenología de eventos económicos y financieros encontrados empíricamente (Chatterjee et al., 2007; Lux, 2005; Schinckus, 2013).

Los modelos basados en agentes pueden describir sistemas complejos a partir de la consideración de una sociedad artificial integrada por agentes autónomos y heterogéneos, que interactúan de acuerdo a reglas bien definidas. Las interacciones repetitivas permiten explorar dinámicas que están fuera del alcance de métodos matemáticos puros, y de esta forma simular diferentes escenarios para estudiar sus consecuencias cuantitativamente (Bonabeau, 2002; Farmer y Foley, 2009; Macal y North, 2005). La econofísica usa un tipo de modelo basado en agentes para analizar la distribución de riqueza, ingreso y dinero entre individuos, considerando una analogía entre agentes económicos y moléculas de un gas, lo que se conoce como modelos cinéticos de distribución (Chakraborti et al., 2011b; Patriarca y Chakraborti, 2013; Schinckus, 2013).

En este campo, el trabajo pionero realizado por Dragulescu y Yakovenko (2000) modela un sistema económico donde agentes intercambian dinero de forma análoga a las partículas que intercambian energía en un gas ideal, estas interacciones conducen a un estado estacionario donde la distribución no cambia. La implementación se hace numéricamente a través de simulaciones, en donde los agentes interactúan mediante reglas de intercambio hasta alcanzar una distribución de equilibrio. Al considerar un sistema económico cerrado con esta dinámica, de las simulaciones computacionales emerge una distribución de Boltzmann-Gibbs como se muestra en la Figura 1 cuya forma se ha encontrado empíricamente en trabajos posteriores para la mayor parte de la población (97% a 99%) junto con una distribución de ley de potencias, cuyos parámetros son más inestables, al que pertenece población de clase alta (1% a 3%) (Chakrabarti et al., 2007; Dragulescu y Yakovenko, 2003; Dragulescu y Yakovenko, 2001; Silva y Yakovenko, 2004; Yakovenko y Silva, 2007).

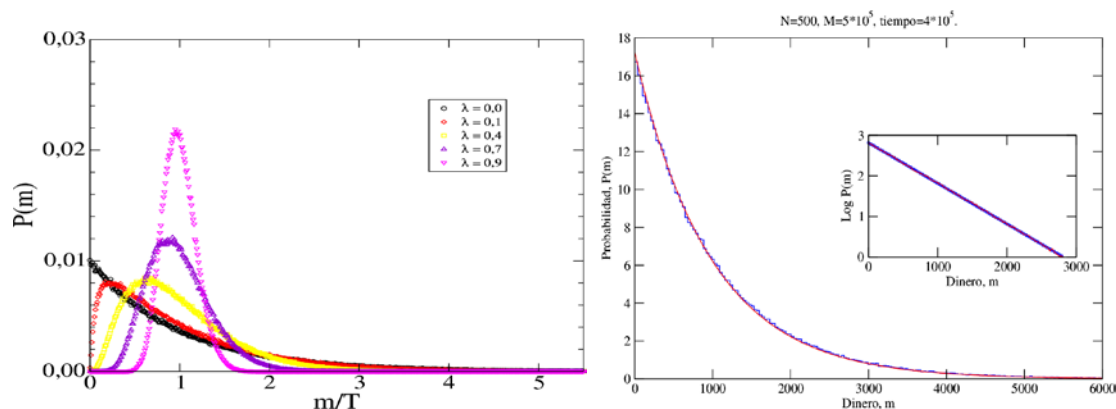


Figura 1. Distribución de probabilidad estacionaria de dinero $P(m)$ para el modelo cinético de Dragulescu-Yakovenko (izquierda). Distribución estacionaria de dinero $P(m)$ para diferentes factores de propensión al ahorro λ (derecha)

En trabajos posteriores (Chakraborti y Chakrabarti, 2000) se consideró en cada intercambio una restricción, al permitir que cada agente tuviera una fracción de dinero libre de riesgo que no estaba expuesta en el intercambio. Las distribuciones de dinero en el equilibrio son distribuciones Gamma (ver Figura 1) cuando la fracción es uniforme para todos los agentes (Patriarca et al., 2004), y ley de potencias cuando esta propensión es aleatoria (Chatterjee et al., 2004), es decir, este último caso modela la población de clase alta, cuya forma de distribución corrobora la hipótesis de Pareto (1896), quien acumuló evidencia empírica hace más de un siglo para mostrar lo que hoy se conoce como distribución de Pareto (Chatterjee et al., 2007; Klass et al., 2006; Pareto, 1896).

Modelos recientes, proponen una mejora al considerar una entidad que recauda impuestos de la población y lo redistribuye en el sistema en cada intercambio (Guala, 2009). El objetivo de este modelo es poner a prueba diferentes esquemas de recaudo para encontrar niveles de impuestos óptimos de acuerdo a algunos criterios de distribución (Diniz y Mendes, 2012). Sin embargo, en la literatura existente sobre modelos cinéticos de distribución (Chatterjee y Chakrabarti, 2007; Chatterjee et al., 2007; Savoiu, 2013; Sinha et al., 2020), asumen la propensión al ahorro como una cantidad libre de riesgo en el intercambio y no tienen en cuenta la mediación de una entidad financiera en las transacciones entre agentes económicos. Por lo tanto, este capítulo tiene como propósito describir, mediante modelos basados en agentes, el efecto de una entidad financiera en una economía cerrada, que tenga como función principal prestar el dinero que ahorran los agentes manejando diferentes tasas de colocación y de captación. Debido a que algunos modelos cinéticos de distribución definen intercambios que no permiten deuda (Chakraborti y Chakrabarti, 2000; Chatterjee et al., 2004), el modelo implementado tiene como fundamento el intercambio propuesto por Dragulescu y Yakovenko (2000) de una fracción aleatoria del dinero de ambos agentes.

2. MÉTODO

En nuestro modelo consideramos un sistema económico cerrado donde el dinero M es conservado y está compuesto por un número fijo $N \gg 1$ de agentes que pueden ser individuos o corporaciones. Al igual que en el modelo de Dragulescu-Yakovenko (2000), cada agente posee una cantidad de dinero m_i que puede intercambiar en transacciones donde la deuda está permitida.

En la estructura del sistema financiero colombiano las entidades financieras tienen como característica la captación y colocación de dinero (Betancur, 2006), por esta razón se asume que todos los agentes guardan una fracción ξ de su dinero que puede ser utilizada en cualquier intercambio. Por simplicidad, el modelo sólo admite transacciones de dinero entre agentes, sin tener en cuenta la creación o producción de riqueza, ni el índice de inflación. Sin pérdida de generalidad, la simulación tiene las siguientes condiciones iniciales:

1. A cada agente i se le asigna una cantidad de dinero $m_i(t = 0) = M/N$
2. Los agentes no presentan deuda $d_i(t = 0) = 0$
3. Cada agente deposita una fracción ξ de ese dinero en la entidad, de forma que, esta última capta inicialmente un dinero ξM .

Además, se establece una tasa de interés para reconocer a los depositantes la captación de sus recursos, definida como interés de captación φ , y una tasa de cobro por los préstamos otorgados a los agentes, conocida como interés de colocación α . En cada paso de tiempo un par de agentes i y j , que se eligen al azar, intercambian una fracción aleatoria del dinero que no ahorran $\Delta m = \epsilon(m_i + m_j)$, de tal forma que el dinero cambia de manos, de acuerdo con la ecuación (1).

$$[m_i(t), m_j(t)] \rightarrow [m_i(t+1), m_j(t+1)] = [m_i(t) - \Delta m, m_j(t) + \Delta m] \quad (1)$$

La entidad financiera interviene cuando el agente perdedor no tiene el dinero suficiente para realizar el intercambio, de modo que se presentan dos casos:

1. Si el agente perdedor j , no tiene suficiente dinero para realizar el intercambio, pero puede efectuarlo con el dinero que tiene en la entidad, se hace la transacción entre cuentas del agente perdedor al agente ganador i .
2. Si el dinero del agente perdedor es menor a la cantidad a intercambiar $m_j < \Delta m$, la entidad interviene prestando el dinero faltante siempre y cuando el agente perdedor no tenga deuda.

Producto de los intercambios, en cada paso de tiempo el agente salda su deuda a partir de las siguientes condiciones:

- Si $m_i(t) < d_i(t)$ se abona todo el dinero a la deuda, por lo que $m_i(t+1) = 0$ y $d_i(t+1) = d_i(t) - m_i(t)$.
- Si $m_i(t) \geq d_i(t)$ queda sin deuda y $m_i(t+1) = m_i(t) - d_i(t)$.

En cada paso de tiempo la deuda se incrementa a una tasa interés α de acuerdo con la relación mostrada en la ecuación (2).

$$d_i(t) = (1 + \alpha)d_i(t - 1) \quad (2)$$

Además, la entidad financiera paga a los agentes por tener sus ahorros a una tasa de interés φ como se presenta en la ecuación (3).

$$m_i(t + 1) = (1 + \varphi\xi)m_i(t) \quad (3)$$

En dado caso que la entidad financiera sea insolvente deja de pagar los intereses de captación ($\varphi = 0$) y los agentes la financian hasta que pueda pagar sus obligaciones. Esta condición está soportada por el comportamiento del sistema financiero en la crisis de 2007, que tuvo como epicentro el sector de la vivienda en Estados Unidos. Los planes de rescate a entidades bancarias insolventes incluían la creación de fondos financiados principalmente por el sector público que asumió la mayoría de los riesgos (Calvo y Martín, 2014), es decir, en esta crisis de deuda hubo pérdida y los contribuyentes asumieron parte de ella (Diez, 2013).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las distribuciones de dinero para los modelos de Dragulesku y Yakovenko son estacionarias, es decir, luego de un tiempo en donde la entropía se maximiza la distribución de dinero se mantiene estable. Éste no es el caso cuando se incluye la entidad financiera en el modelo de intercambios, ya que la entidad tiende a acumular todo el dinero del sistema si el interés de colocación es mayor al interés de captación $\alpha > \varphi$. Sin embargo, resulta interesante estudiar el comportamiento temporal del dinero que adquiere la entidad producto del desequilibrio que implica tener una tasa de intermediación positiva, es decir que la diferencia entre α y φ sea mayor a cero.

El resultado mostrado en la Figura 2 relaciona el dinero de la entidad financiera en función de los pasos de simulación y se puede observar como la entidad presta todo el dinero disponible a los agentes hasta un tiempo denominado tiempo de cambio (t_c), a partir de allí la función es creciente; este comportamiento inicial se muestra en el recuadro de la Figura 2. Luego de este tiempo, la entidad financiera no tiene dinero para prestar y solo recibe abonos a la deuda por parte de los agentes sin pagar intereses de captación hasta que recupera el suficiente dinero para continuar con sus funciones acumulando todo el dinero del sistema en un tiempo definido como tiempo de saturación t_s .

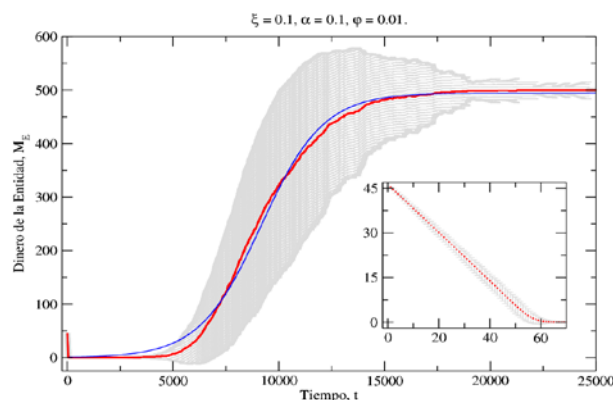


Figura 2. Evolución temporal del dinero de la entidad en color rojo. Las barras de color gris indican la desviación estándar del resultado de cada simulación. En el recuadro se muestra el comportamiento inicial

Desde el inicio de la simulación hasta el tiempo de cambio t_c la entidad financiera presta todo el dinero que dispone, entrando a un estado de insolvencia que le impide pagar los intereses de captación. Si esta condición de rescate bancario no se cumple y la entidad financiera presta dinero sin ningún respaldo, los resultados de la simulación indican que no puede recuperar su estado inicial y el dinero de la entidad tiende a menos infinito siguiendo la línea del recuadro de la Figura 2. Esta situación ocurre porque los préstamos crecen más que los ahorros representados en una fracción ξ del dinero que inicialmente tienen los agentes.

Este comportamiento explica parte de la crisis financiera de España 2007, donde los bancos incrementaron su vulnerabilidad, haciendo crecer los créditos más rápidamente que los depósitos (Torrero, 2010).

De acuerdo con la última condición expuesta en el modelo, para evitar esta crisis en el sistema, durante el tiempo en el que la entidad financiera es insolvente únicamente sigue recibiendo pagos a la deuda junto a los intereses de colocación. Esto hace que recupere su solvencia y vuelva pagar los intereses de captación, sin embargo, como se puede observar en la Figura 2, una vez superado este tiempo el crecimiento es similar al comportamiento de una función logística como se presenta en la ecuación (4), cuyos parámetros de ajuste se muestran en la Tabla 1. El hecho de que se ajuste a una función logística, implica que la entidad en un tiempo $t \rightarrow \infty$ tiende a quedarse con el dinero del sistema M .

$$L(t) = \frac{M}{1 + C_1 C_2^t} \quad (4)$$

Tabla 1. Ajuste a función Logística

Función	$L(x) = \frac{C_0}{1 + C_1 C_2^t}$
	$C_0 = 494.664$
Constantes	$C_1 = 521.366$
	$C_2 = 0.999318$
Chi- cuadrado	2.42867×10^6
Coefficiente de Correlación	0.999318
Error relativo RMS	8.81914
Coefficiente u de Theil	0.0262771

Esta forma de función logística se mantiene mientras se cumple la condición de tasa de intermediación mayor a cero. Si variamos las tasas de colocación, captación o el porcentaje de ahorro, el tiempo de saturación t_s cambia. Para estudiar esta relación se grafica el tiempo de saturación para distintos intereses de captación y ahorro. Los resultados se muestran en la Figura 3, e indican un crecimiento exponencial del tiempo de saturación cuando cambia el interés de captación y un crecimiento que se ajusta a una función cuadrática cuando varía el ahorro de los agentes.

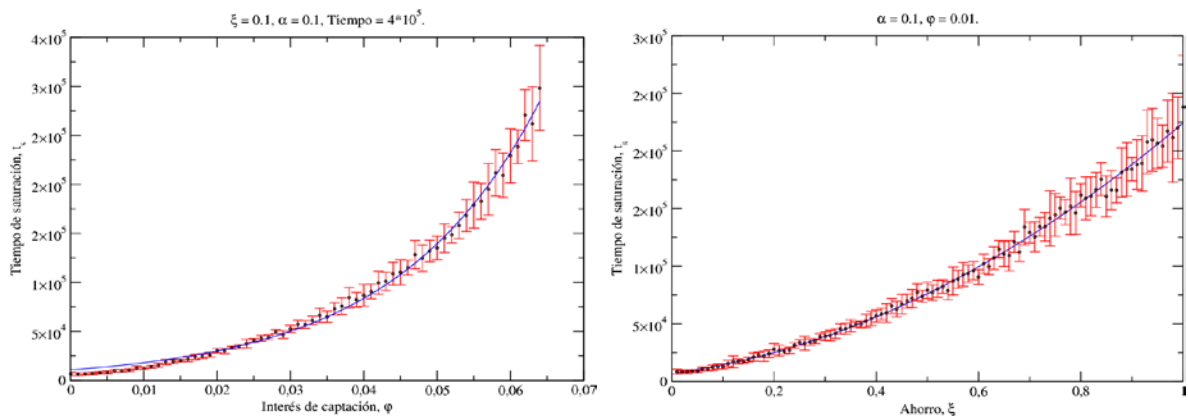


Figura 3. Relación entre el tiempo de saturación t_s para diferentes tasas de: interés de captación φ (izquierda) y ahorro ξ (derecha)

4. CONCLUSIONES

Los trabajos pioneros que emplean los modelos cinéticos de distribución de dinero muestran distribuciones estacionarias que se ajustan a funciones Exponenciales o Gamma dependiendo del tipo de intercambio que se defina para los agentes. En el modelo propuesto por Dragulescu y Yakovenko las interacciones no se efectúan si alguno de los agentes no tiene el dinero suficiente para realizar el intercambio, contrario a lo planteado por el modelo de Chakraborti y Chakraborti que restringe los intercambios entre agentes a una fracción de dinero que no está en riesgo.

En este capítulo se presenta un modelo donde interviene una entidad financiera que presta dinero a los agentes que no cuentan con lo suficiente para realizar una transacción. Para mantener la propiedad de conservación de dinero en el sistema en el tiempo inicial, los agentes depositan una fracción ξ de dinero en la entidad financiera y a cambio la entidad paga un interés conocido como captación. Cuando los agentes no cuentan con suficiente dinero para realizar una transacción la entidad financiera presta el dinero restante bajo la condición de pago de un interés de colocación.

Los resultados indican que cuando se incluye una entidad financiera ésta acumula el dinero del sistema ($M_E \rightarrow M$) en un tiempo denominado tiempo de saturación t_s y la evolución temporal del dinero se ajusta a una función logística que tiene la misma forma funcional del modelo LRM usado para evaluar la probabilidad de bancarrota y el cual se emplea con mayor frecuencia debido a que realiza las mejores predicciones en este campo.

La condición fundamental para que la entidad financiera acumule todo el dinero del sistema es que pueda financiarse con los dineros del mismo sistema económico cuando es insolvente, este fenómeno es común en las crisis financieras como la recesión presentada en el 2007, donde los bancos en su mayor parte fueron financiados por dineros públicos. Finalmente, cuando aumenta el ahorro el tiempo de saturación t_s crece proporcional a una función cuadrática y si las tasas de interés son muy cercanas ($\varphi \rightarrow \alpha$), t_s se incrementa exponencialmente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de los Llanos el apoyo y financiamiento de esta investigación.

REFERENCIAS

- Abergel, F., Aoyama, H., Chakrabarti, B. K., Chakraborti, A. y Ghosh, A. (2013). *Econophysics of agent-based models*. Springer.
- Betancur, F. J. (2006). *Tasas de interés e intermediación*. Lupa Empresarial.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *National academy of sciences* 99(3), 7280-7287.
- Calvo, A. y Martín, I. (2014). El rescate bancario: importancia y efectos sobre algunos sistemas financieros afectados. *Revista de Economía Mundial* 3, 125-150.
- Chakrabarti, B. K., Chakraborti, A. y Chatterjee, A. (2007). *Econophysics and sociophysics: trends and perspectives*. John Wiley y Sons.
- Chakraborti, A. y Chakrabarti, B. K. (2000). Statistical mechanics of money: How saving propensity affects its distribution. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems* 17(1), 167-170.
- Chakraborti, A., Toke, I. M., Patriarca, M. y Abergel, F. (2011a). Econophysics review: I. Empirical facts. *Quantitative Finance* 11(7), 991-1012.
- Chakraborti, A., Toke, I. M., Patriarca, M. y Abergel, F. (2011b). Econophysics review: II. Agent-based models. *Quantitative Finance* 11(7), 1013-1041.
- Chatterjee, A. y Chakrabarti, B. K. (2007). Kinetic exchange models for income and wealth distributions. *The European Physical Journal B* 60(2), 135-149.
- Chatterjee, A., Chakrabarti, B. K. y Manna, S. (2004). Pareto law in a kinetic model of market with random saving propensity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 335(1-2), 155-163.
- Chatterjee, A., Yarlagadda, S. y Chakrabarti, B. K. (2007). *Econophysics of wealth distributions: Econophysics- Kolkata I*. Springer.
- Díez, J. C. (2013). *Hay vida después de la crisis: El economista observador*. Plaza y Janés.
- Diniz, M. y Mendes, F. (2012). Effects of taxation on money distribution. *International Review of Financial Analysis* 23, 81-85.
- Dragulescu, A. y Yakovenko, V. (2003). *Modeling of Complex Systems: Seventh Granada Lectures*. American Inst. of Physics.
- Dragulescu, A. y Yakovenko, V. M. (2000). Statistical mechanics of money. *The European Physical Journal B- Condensed Matter and Complex Systems* 17(4), 723-729.
- Dragulescu, A. y Yakovenko, V. M. (2001). Exponential and power-law probability distributions of wealth and income in the United Kingdom and the United States. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 299(1-2), 213-221.
- Farmer, J. D. y Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature* 460(7256), 685.
- Guala, S. (2009). Taxes in a wealth distribution model by inelastically scattering of particles. *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 7(1), 1-7.

- Klass, O. S., Biham, O., Levy, M., Malcai, O. y Solomon, S. (2006). The Forbes 400 and the Pareto wealth distribution. *Economics Letters* 90(2), 290-295.
- Lux, T. (2005). Emergent Statistical Wealth Distributions in Simple Monetary Exchange Models: A Critical. *Econophysics of Wealth Distributions: Econophys-Kolkata I* 51, 120-131.
- Macal, C. M. y North, M. J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation. En *Winter Simulation Conference*. Orlando, USA.
- Mantegna, R. N. y Stanley, H. E. (1999). *Introduction to econophysics: correlations and complexity in finance*. Cambridge University Press.
- Pareto, V. (1896). *Cours d'économie politique: Professe à l'Université de Lausanne*. Rouge.
- Patriarca, M. y Chakraborti, A. (2013). Kinetic exchange models: From molecular physics to social science. *American Journal of Physics* 81(8), 618-623.
- Patriarca, M., Chakraborti, A. y Kaski, K. (2004). Statistical model with a standard Γ distribution. *Physical Review E* 70(1), 016104.
- Pereira, E. J. d. A. L., da Silva, M. F. y Pereira, H. d. B. (2017). Econophysics: Past and present. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 473, 251-261.
- Savoiu, G. (2013). *Econophysics: Background and Applications in Economics, Finance, and Sociophysics*. Academic Press.
- Schinckus, C. (2013). Between complexity of modelling and modelling of complexity: An essay on econophysics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 392(17), 3654-3665.
- Schinckus, C. (2010). Is econophysics a new discipline? The neopositivist argument. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 389(18), 3814-3821.
- Silva, A. C. y Yakovenko, V. M. (2004). Temporal evolution of the "thermal" and "superthermal" income classes in the USA during 1983–2001. *Europhysics Letters* 69(2), 304.
- Sinha, A., Mukherjee, S. y Chakrabarti, B. K. (2020). Econophysics Through Computation. *arXiv preprint arXiv:2001.04188*.
- Torrero, A. (2010). *La crisis financiera y sus efectos sobre la economía española*. Instituto Universitario de Análisis Económico y Social.
- Yakovenko, V. M. y Silva, A. C. (2007). Two-class structure of income distribution in the USA: Exponential bulk and power-law tail. *Topological Aspects of Critical Systems and Networks*. World Scientific.

Expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia sobre la reparación simbólica

Sergio Alfonso Rodríguez-Cortés¹

Mónica Tatiana Perdomo-Pérez²

Universidad de Ibagué
Colombia

Este trabajo tiene como objetivo conocer las expectativas acerca de la reparación simbólica, que tienen las víctimas del conflicto armado en Colombia. Además, conocer la satisfacción que ha dejado las acciones del Estado en temas de reparación simbólica en las víctimas. Para cumplir estos propósitos se hizo una investigación de corte cualitativo, que contó con la participación de 15 personas que han sido víctimas del conflicto armado y que fueron contactadas a través de la Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas de diferentes zonas del país. Los resultados muestran que las expectativas de las víctimas respecto a la reparación simbólica se concentran en la dimensión satisfacción memorial, que se representa con acciones de elaboración de monumentos, registros documentados, producciones audiovisuales, museos de la memoria, entre otros. También, en la dimensión satisfacción moral, que se representa con acciones de disculpa y/o desagravio oficial por parte de los victimarios o el Estado, reconocimiento de hechos y demostración de arrepentimiento por parte de los victimarios. Igualmente, en la dimensión satisfacción judicial, que se representa con acciones como la realización de las investigaciones judiciales que permiten aclarar la verdad, encontrar en determinados casos los cuerpos y aplicar sanciones mínimas a los victimarios, etc. La satisfacción de las víctimas con las acciones del Estado en temas de reparación simbólica es moderada, lo cual refleja la importancia de escuchar las expectativas sobre dicha reparación a cada persona, para lograr cumplir el objetivo de la misma de dignificar la moral de las personas y la memoria de los hechos victimizantes y así, resarcir el daño en la noción de justicia, en la dignidad, en la moral y en las etapas del duelo de las víctimas, como se ha hecho en países como Alemania, Argentina, Guatemala y Chile en sus etapas de posconflicto.

¹ Estudiante de psicología.

Contacto: sergiorodriguez98cor@gmail.com

² Doctora en psicología, profesora de tiempo completo y directora del grupo de investigación Gess.

Contacto: tatiana.perdomo@unibague.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Colombia tiene una historia de más de 50 años de conflicto armado interno. El cual ha dejado más de 9 millones de víctimas (Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas, 2021) de múltiples vejámenes como lo es el desplazamiento forzado, el secuestro, la extorsión y/o la tortura o en algunos casos, han presenciado la muerte y/o desaparición forzada de sus seres queridos y habitantes de su comunidad (Martínez et al., 2020).

La Corte Interamericana de Derechos Humanos CIDH ha condenado al Estado colombiano 15 veces, desde 1995 hasta el 2015, por sucesos relacionados a violaciones a los derechos humanos a la población civil, que han generado condenas de reparación para el país (Cáceres, 2013). Desde el 2004, el Consejo de Estado colombiano se ha encaminado con la CIDH para cumplir con dichas reparaciones integrales a las víctimas, que llevaron al Estado a planear una ley que cumpla con las condenas impuestas por la CIDH; con el fin de reparar a todas las personas afectadas por la violencia armada (Martínez et al., 2015).

Así, con el objetivo de reconocer los derechos de la población civil afectada por el conflicto armado se creó la Ley 1448 de 2011, conocida como la “ley de víctimas”. La cual busca favorecer a todas aquellas personas que han sufrido algún tipo de violación a sus derechos humanos, desde el 1º de enero de 1985 hasta la actualidad, en el marco del conflicto armado interno; con medidas económicas, judiciales, sociales y administrativas que logren llevar a cabo una reparación integral, como lo menciona dicha ley en su artículo 25 (Congreso de Colombia, 2011).

La reparación integral es un deber del Estado con la población que ha sufrido daño o afectación a sus derechos humanos, para restablecer y mejorar sus condiciones, con el fin de resarcir todo perjuicio a cada víctima como si no hubiese ocurrido (Sandoval, 2013). Se lleva a cabo al intervenir en todas las dimensiones afectadas: materiales, sociales, psicológicas y/o físicas, a través de las cuales se reconocen los daños causados para reconstruir los hechos y el proyecto de vida de cada víctima, lo cual garantiza todos sus derechos y devuelve a cada persona su estatus (Delgado, 2015). Es a través del marco legal que se visibiliza la importancia de reparar de forma integral a las víctimas de este largo conflicto armado, en el que, según informes de las Comisiones de Seguimiento a la Ley de víctimas solo el 12,6% de las víctimas han sido reparadas integralmente (Defensoría del pueblo, 2019). El Sistema Nacional de Atención y Reparación Integral a las Víctimas SNARIV fue creado por la Ley 1448 de 2011, el cual está conformado por entidades públicas estatales y organizaciones privadas que se encargan de formular los planes, programas, proyectos y acciones que comprenden la aplicación de las medidas de reparación integral en Colombia (Caicedo y Bocanegra, 2015).

Las medidas de reparación integral en Colombia son: de rehabilitación (relacionada con la atención biopsicosocial), de restitución (que comprende la restitución de tierras y/o vivienda y la reparación material en general), garantías de no repetición (compuesta por las acciones estatales que aseguran que los hechos victimizantes no se repitan), indemnización administrativa (basada en la compensación económica) y de satisfacción (fundamentado en la reparación simbólica) (Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas, 2021).

Por parte de las medidas de satisfacción, la reparación simbólica es un derecho que se otorga según el o los tipos de violación a los derechos humanos que se haya(n) sufrido; lo que permite a las víctimas recibir una rehabilitación moral, gracias a los precedentes simbólicos que dignifican la memoria de los hechos y las personas afectadas (García, 2013). Lo cual mitiga su dolor al restablecerse el derecho a la construcción y divulgación de la verdad y a la reparación con garantías de no repetición y no olvido (Monroy, 2009). Este tipo de reparación será en el que profundice este trabajo.

Los simbolismos reparadores facilitan el perdón, la reconciliación y benefician la salud mental de las víctimas. Debido a que ennoblecen la recordación memorial de lo perdido, lo cual resarce el daño moral que se dio por no haberse reconocido la autonomía e identidad de los afectados (Barreto, 2009). Al reconocer a las víctimas como sujetos de derechos, con capacidades y cualidades únicas y como sujetos dignos de reconocimiento legal-normativo y cognitivo-afectivo, se logra un buen punto de partida para una

gran reconciliación nacional (García, 2014). Por tal motivo, esta investigación se lleva a cabo para conocer desde las víctimas cuáles son sus expectativas sobre la reparación simbólica y de esta manera, explorar su nivel de satisfacción con las medidas vigentes.

La reparación simbólica genera un impacto psicosocial positivo en las víctimas del conflicto armado. Debido a que permiten resarcir el daño moral, en la percepción de justicia y las instituciones que la representan, contribuyen a llevar a cabo las etapas del duelo que estaban alteradas o sin resolver y, asimismo, satisface la digna recordación memorial de los hechos ocurridos y la vida y obra de los seres queridos que ya no están (Charry, 2016).

Cuando el Estado promueve escenarios de conmemoración simbólica, en el que los victimarios estatales o insurgentes reconocen los hechos cometidos, se ven arrepentimientos y ofrecen disculpas públicas, y en donde el Estado levante monumentos en memoria a los hechos victimizantes, renombre escenarios públicos con sentido simbólico para la paz y ejecute más simbolismos reparadores hace que se realce la moral y la dignidad de las víctimas (Marshall, 2004); lo cual brinda un espacio que facilita el perdón hacia los victimarios y garantiza una apropiada reconciliación en el posconflicto (Calderón, 2016).

Las conmemoraciones materiales simbólicas contribuyen a que la sociedad no olvide los sucesos violentos ocurridos (McDowell, 2007). Sin embargo, su objetivo no es revictimizar a las víctimas, sino, tratar de que la población civil en general conozca y se apropie de los hechos victimizantes, entiendan la historia y no quieran que esta se repita (Dudai, 2011); lo que permite generar una empatía colectiva en relación al dolor de las víctimas y a la recordación de sus nombres (González, 2010).

2. MARCO REFERENCIAL

En la resolución 60/147 del 2005 de la Organización de Naciones Unidas ONU, que trata sobre los principios básicos de las personas cuyos derechos humanos han sido violados para interponer recursos y obtener reparaciones, se puede identificar tres tipos de satisfacciones y dimensiones de la reparación simbólica:

1. *La satisfacción moral:* hace referencia a la restauración de la esfera moral de la dignidad de cada víctima del conflicto, una de sus dos subdimensiones: primera, la restauración de la dignidad, se refiere al conjunto de actitudes y/o acciones por parte del Estado y/o los victimarios para realizar disculpas, desagravios oficiales, la voluntad de resarcir el daño moral y tener una actitud generosa a participar en los actos de reparación y reconciliación; en su segunda subdimensión, cambio de conducta, que trata sobre el compromiso del victimario de finalizar su conducta delictiva, lo cual depende del cumplimiento de lo acordado con el Estado, como confesar la verdad, mostrar arrepentimiento, no repetir los hechos violatorios, etc. (Vera, 2008).
2. *La satisfacción judicial:* se refiere al resarcimiento del daño en la noción de justicia de las víctimas. Proceso que se lleva a cabo según lo acordado u ocurrido entre el Estado y los victimarios, ya sea por medio de la justicia transicional o justicia ordinaria (Patiño, 2010). Sin embargo, en ambas se desarrollan las investigaciones judiciales de los hechos victimizantes, se hace la difusión oficial de la verdad y se aplican sanciones jurídicas o punitivas a los victimarios. Dicha satisfacción tiene dos subdimensiones: primera, la revelación pública, que hace referencia a la divulgación de la verdad jurídica, la cual se soporta con hallazgos de las investigaciones judiciales, en donde buscan verificar claramente los hechos, buscar los desaparecidos y los secuestrados, identificar los cadáveres y publicar lo encontrado sin exponer la seguridad e intimidad de las víctimas (ONU, 2005).

En su segunda sub-dimensión, sanción mínima, se refiere al anhelo de justicia que tienen las víctimas con respecto a sus casos y victimarios. Esto corresponde a la aplicación de penas judiciales, punitivas y/o administrativas a cualquier persona que les haya vulnerado sus derechos humanos por acción violenta, omisión o negligencia en trámites de reparación. Aplicar un mínimo de sanciones logra facilitar el perdón de las víctimas (Vera, 2008); no obstante, la intención también de esta subdimensión es tratar una adecuada aceptación por parte de las víctimas a la aplicación de penas punitivas a sus victimarios, con el fin de que ellos contribuyan con la verdad y cumplan con la garantía de no repetir sus acciones violentas (Sriram, 2007).

3. *La satisfacción memorial*: hace referencia a la dignificación a la memoria de las víctimas por medio de conmemoraciones públicas, que también sirven para sensibilizar a la sociedad de no querer repetir un pasado violento. Estas son realizadas por el Estado y en ocasiones cuentan con la participación de los victimarios, se realizan por medio de actitudes y acciones que preserven la memoria histórica y la verdad de los hechos ocurridos; tiene dos subdimensiones: primera, la conmemoración material, que se refiere a la construcción o renombramiento de espacios públicos y homenajes materiales con sentido simbólico para la paz, para preservar en la memoria colectiva lo ocurrido y sea tema de reflexión en los espacios educativos (ONU, 2005). En su segunda subdimensión, conmemoración no material, hace referencia a la creación de espacios de diálogo pedagógico en conversatorios, foros, seminarios, etc., que promuevan la reconciliación, la comunicación asertiva para la solución de conflictos y se logre romper con las lógicas de los discursos y costumbres autoritarias y discriminatorias (Brown, 2013).

Vale la pena conocer que las expectativas son representaciones mentales futuras de acontecimientos que se desean o no que ocurran. Son reforzadas por motivaciones intrínsecas y/o extrínsecas, ya sea por aspectos emocionales y/o ambientales que tratan de asegurar su futuro cumplimiento; lograr cumplir o que sucedan aquellas anheladas expectativas, generarían en las personas algún tipo de satisfacción y sensación de bienestar (Lazarus, 1991). Por ello la importancia de conocer las expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia sobre la reparación simbólica, como se ha hecho en otros países en su momento de etapa de posconflicto, donde esa escucha a las víctimas ha alcanzado cumplir con el objetivo de dicha reparación de dignificar de manera pertinente la moral y la memoria histórica de las víctimas.

2.1 Antecedentes de memoria

En Alemania, el holocausto nazi (1939-1945) bajo la dictadura de Adolf Hitler dejó aproximadamente más de 11 millones de víctimas, la mayoría de ellas fueron asesinadas, el resto sufrieron torturas, secuestros, pérdidas de seres queridos y conocidos, etc. Cuando se revocó ese régimen autoritario, en 1946 las organizaciones de víctimas junto al nuevo Gobierno alemán acordaron un programa de reparación llamado las Leyes Berg, en el cual se compensaba a todas las víctimas por los daños a la salud, la libertad y a la propiedad (Saito, 2003). Dentro del programa se llevaron a cabo simbolismos reparadores como: mostrar las cicatrices del holocausto a través de los museos y monumentos, renombrar las calles y avenidas, colocar en las plazas públicas y algunas avenidas escritos en mármol en alusión a la violación a los derechos humanos que se presentaron en esa época, recrear en películas y documentales los hechos ocurridos y enseñar la verdad de lo sucedido en los libros y entidades educativas (Bauer, 2013).

En Argentina, la dictadura militar de Jorge Videla (1976-1983) dejó aproximadamente más de 30.000 víctimas desaparecidas muertas y detenidas. Las organizaciones de víctimas junto con la Comisión Nacional sobre Desaparecidos Conadep hicieron un informe para reparar a las víctimas y sus familiares, reparaciones tanto económicas, materiales y simbólicas; el Estado argentino cumplió con las peticiones de las víctimas, con relación a la reparación simbólica convirtió el Centro clandestino de detención en un Museo de la Memoria, el cual fue diseñado como las organizaciones de víctimas quisieron: con la cara de las víctimas desaparecidas muertas pintadas en la fachada, en el techo y las paredes dentro del museo, cada sala del museo tiene su descripción sobre qué tipo abuso se presentaba en ese lugar y también hay descritos testimonios en las paredes del museo de las víctimas sobrevivientes del secuestro y las torturas (Catellanos, 2005). Igualmente, se han publicado informes y libros que relatan denuncias, testimonios e historias de vida de las víctimas y sus familiares (Herrera y Torres, 2005).

En Chile, la dictadura de Augusto Pinochet (1973-1990) dejó más de 4 mil víctimas entre las desaparecidas y muertas. Terminada la dictadura, la Comisión de la Verdad de ese país realizó un informe junto a las organizaciones de víctimas para conocer los nombres de todas las víctimas y sus familiares, para que el Estado chileno las compensará económicamente, también con atención médica, beneficios educativos y de manera simbólica. Los simbolismos reparadores que manifestaron las víctimas y realizó el Estado fueron: la construcción de un muro en mármol conocido como el Memorial del Detenido Desaparecido y del Ejecutado Político, en el que están escritos los nombres de las víctimas con sus respectivas fechas de nacimiento y fechas de desaparición o asesinato; también, el presidente de Chile Patricio Aylwin (1990-1994) pidió perdón al país y a las víctimas por lo ocurrido en la dictadura (Bustamante y Carreño, 2020).

Asimismo, se construyó el Museo de la Memoria y los Derechos Humanos donde quedaba el Centro de Detención y de Tortura. En él se encuentran los elementos con que torturaban a las personas con la explicación de cómo se usaban, cuadros que ilustran la represión de la época e infografías en las paredes con testimonios de los sobrevivientes (Piper et al., 2013). Otro simbolismo reparador que se cumplió fue la construcción del Memorial del Jardín de las Rosas, un jardín con plantaciones de rosas y anuncios con los nombres de las mujeres desaparecidas para homenajear su memoria; las guías de este jardín son y deben ser mujeres sobrevivientes a la dictadura, para que los visitantes puedan conocer directamente desde la experiencia testimonial los hechos y el dolor que se sufrió (Piper et al., 2018).

En Guatemala, la guerra civil entre el gobierno y la Unidad Revolucionaria Nacional Guatemalteca (1960-1996) dejó más de 200.000 víctimas. Después de la firma de los acuerdos de paz entre ambos bandos, se creó La Comisión para el Esclarecimiento Histórico para dialogar con organizaciones de víctimas y elaborar unas medidas generales de indemnización (Hamber y Wilson, 2002); allí se planearon medidas de reparación simbólica las cuales el Estado ha venido cumpliendo como: se renombró vías públicas y edificios con los nombres de algunas víctimas, se decretó el Día nacional de la dignificación de las víctimas del conflicto armado interno (25 de febrero) y se construyeron monumentos en honor a las víctimas en plazas y parques públicos (Villa et al., 2015). Sin embargo, está pendiente la construcción de un Museo de la Memoria (Moreno y Cañaveral-Londoño, 2018).

En Colombia, la masacre paramilitar en el corregimiento del Aro, Ituango (1997) dejó más de 150 víctimas (todos los habitantes del corregimiento) 16 de ellas fueron asesinadas. Luego de los sucesos violentos contra la población civil que se presentaron como el desplazamiento forzado, abusos sexuales, torturas, asesinatos, robos y la quema de sus casas, la CIDH condenó al Estado colombiano para reparar integralmente a las víctimas de este hecho. En este caso, solo se cumplió con parte de la reparación material y simbólica, pues aunque se reconstruyeron y pintaron la mayoría de las casas con los colores que para cada una de las personas simbolizaban la vida y la esperanza, se instauró una cruz de madera de más de 2 metros de alta con 16 clavos enterrados en la plaza principal del corregimiento, la cual simboliza protección y el número de clavos los 16 asesinados en la masacre, estas acciones se hicieron escuchando poco a las víctimas y adicionalmente, no se ha cumplido con la reparación económica ni la rehabilitadora (atención biopsicosocial), lo que hace que la insatisfacción moral y en general sea mayor (Sepúlveda, 2013).

También en Colombia, la masacre de Villatina en Medellín (1992) dejó 9 víctimas menores de edad muertas. Fue ejecutada por policías y la CIDH condenó y obligó al Estado colombiano a reparar integralmente a los familiares de las víctimas; en este caso, la reparación simbólica se realizó sin consultar a las víctimas sobre qué tipo de homenaje mitigaría el daño moral y lograría dignificar la memoria de sus familiares asesinados, el Estado ofreció disculpas reconociendo el ataque policial e hizo un monumento en el Parque del periodista en esa ciudad. Muchos de los familiares de las víctimas mencionan desconocer dónde está ubicado el monumento (no les avisaron), algunos de ellos cuando lo ven no se sienten recogidos ni satisfechos moralmente por la forma del mismo y el lugar donde fue ubicado (no las hicieron participar sobre su diseño y ubicación), por tanto, esto hace que aquella conmemoración material simbólica no logre su objetivo y pierde su validez (Reyes, 2019).

Como se puede observar, en la ejecución de las reparaciones simbólicas existe una gran diferencia entre los países mencionados y Colombia. Hace falta la escucha del Estado a la población afectada para poder resarcir todo daño moral, en la noción de justicia y en la dignidad de cada persona; ya que es indispensable para facilitar el perdón, se conozca la verdad de los hechos, se ennoblezca la recordación memorial de lo perdido y, por consiguiente, se logre beneficiar la salud mental de cada víctima (Molina, 2016). Pero lo más importante, es que el Estado cumpla con los simbolismos reparadores que manifiesten las víctimas, para que no se siga viendo este tipo de reparación como un requisito más y rápido que cumplir, sin prestarle atención a los directamente afectados y próximos homenajeados.

3. MÉTODO

Se trató de un estudio cualitativo descriptivo-exploratorio con enfoque fenomenológico (Hernández et al., 2014). Debido a que se buscó conocer y describir cómo las víctimas del conflicto armado en Colombia

desean ser reparadas simbólicamente, ya que este ejercicio de consulta para lograr satisfacer la parte moral y dignificar pertinentemente la memoria histórica no se ha desarrollado en este contexto; en el cual se ha reparado simbólicamente de la forma y en el lugar que los gobernantes de turno desean, sin tener en cuenta las voces de las personas víctimas del conflicto.

3.1 Participantes

Se contó con la participación de 15 personas, 10 mujeres y 5 hombres, que han sido víctimas del conflicto armado y que se encuentran inscritas en el Registro Único de Víctimas, todos mayores de edad y que sus hechos victimizantes ocurrieron en los departamentos del Meta, Tolima, Guaviare, Putumayo, Caquetá, Cundinamarca, Huila y Vichada.

3.2 Instrumento

Entrevista semi-estructurada que buscó conocer las experiencias y expectativas en relación a la reparación simbólica desde sus dimensiones según Vera-Piñeros (2008): satisfacción moral, satisfacción judicial y satisfacción memorial. Compuesta por 11 preguntas y con duración de 1 hora por cada encuentro. Los encuentros se realizaron telefónicamente.

3.3 Procedimiento

Se contactó telefónicamente a cada persona para explicarle el objetivo de la investigación, luego, se le preguntó si desea o no participar en la misma. A las personas que aprobaron su participación, se les solicitó la dirección de su correo electrónico para enviarles el consentimiento informado, posteriormente, se acordó una fecha para que lo enviaran diligenciado; después, se concretó una fecha y hora para realizar cada entrevista (posterior a la fecha de entrega de cada consentimiento).

A medida que se fueron recibiendo los documentos que consienten la participación, se procedió a llamar a cada participante en la fecha y hora acordada; luego de haber realizado cada entrevista se transcribió cada una y, finalmente, se asignó códigos de acuerdo a las categorías teóricas. Este procedimiento se hizo de forma manual.

4. RESULTADOS

Los resultados se presentarán en dos bloques: en el bloque 1, se describe el estado actual de las víctimas del conflicto armado en Colombia con la reparación simbólica y en el bloque 2, se describe acerca de las expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia sobre de la reparación simbólica. Cada descripción se hará teniendo como referencia las 3 dimensiones de satisfacción que genera la reparación simbólica: satisfacción moral, satisfacción judicial y satisfacción memorial. En cada bloque habrá una tabla que muestra manifestaciones que ratifican buena parte de lo descrito en los bloques.

4.1 Estado actual de las víctimas del conflicto armado en Colombia con la reparación simbólica

La dimensión *satisfacción moral* tiene dos subdimensiones: restauración de la dignidad y cambio de conducta (Tabla 1); respecto a la restauración de la dignidad, la mayoría de las personas entrevistadas manifestaron no haber recibido disculpa alguna por parte del estado y/o los victimarios, como lo menciona el entrevistado 4: *Hasta este momento nunca me han ofrecido disculpas*, aunque, en casos excepcionales sí mencionan haberlas recibido por parte del estado, como lo indica la entrevistada 7: *La disculpa fue por medio de unos papeles, no fue cara a cara*; sin embargo, la entrevistada 3 que también recibió una disculpa pero por parte de su victimario y de manera presencial, opina dentro de su experiencia que ese suceso: *no es algo sincero, hipocresía, para ganarse los beneficios, para que le bajen la condena*.

En la segunda sub-dimensión de la satisfacción moral, cambio de conducta, como la mayoría de las personas entrevistadas no han recibido disculpas por parte de sus victimarios, no han podido ver en ellos ese y ningún

tipo de compromiso transformador de las conductas violatorias; en el caso de la entrevistada 3 es diferente, ya que manifiesta: *nos asesinaron un hermano y el que lo asesinó nos pidió perdón*, lo cual deja ver el esfuerzo o compromiso del victimario para modificar su conducta delictiva.

La dimensión *satisfacción judicial* tiene dos subdimensiones: revelación pública y sanción mínima (Tabla 1); en relación a la revelación pública, la mayoría de personas entrevistadas mencionan que las investigaciones judiciales no han generado resultado alguno en sus casos, como lo indica el entrevistado 10: *no un resultado nada, no hay culpables, nada, eso quedó perdido*, no obstante, en algunos casos las investigaciones han logrado cumplir con objetivos como lograr una verificación clara de los hechos, hallar los respectivos responsables y publicar aquellos resultados, como lo menciona el entrevistado 4: *el jefe paramilitar que me desplazó está en la cárcel*.

En la segunda sub-dimensión de la satisfacción judicial, sanción mínima, la mayoría de las personas entrevistadas manifiestan que los funcionarios del gobierno que han cometido faltas administrativas con ellas no han recibido ninguna sanción, como lo señala el entrevistado 8: *No, no ninguna*, ni tampoco sus respectivos victimarios han recibido sanción alguna, como lo indica la entrevistada 15: *No de eso no se absolutamente nada, no he oído ningún comentario ni nada*.

Sin embargo, en casos excepcionales se han aplicado sanciones a los funcionarios públicos negligentes, como lo menciona la entrevistada 1: *qué día me llegó a mí una notificación que sancionaban al doctor, ay es que no tengo el nombre aquí, al director de la unidad para víctimas*; igualmente, en casos excepcionales se han aplicado sanciones a los victimarios, como lo expresa la entrevistada 9: *solo sé que hay un señor preso en Popayán que era el que cuidaba, no recuerdo bien, es un señor ya viejo de barba, él está en Boyacá, él era el que cuidaba el territorio donde nosotros estábamos, porque estábamos secuestrados*.

La dimensión *satisfacción memorial* tiene dos subdimensiones: conmemoración material y conmemoración no material (Tabla 1); respecto a la conmemoración material, las 15 personas entrevistadas manifestaron no haber recibido ningún tipo de homenaje material simbólico para preservar la memoria histórica colectiva, como lo menciona la entrevistada 6: *hasta ahora no ha salido nada*. En cuanto a la segunda subdimensión, conmemoración no material, las 15 personas entrevistadas también recalcaron que no han sido homenajeadas mediante acciones y actitudes que pretendan la reconciliación y la conmemoración, como lo señala la entrevistada 13: *No he visto que se haga una conmemoración con nuestro caso*.

Tabla 1. Estado actual de las víctimas del conflicto armado en Colombia con la reparación simbólica

Dimensión	Sub-dimensión	Ejemplo
Satisfacción moral	Restauración de la dignidad	<i>No, nadie me ha pedido disculpas ni nada.</i> (Entrevistado 14). <i>La disculpa fue por medio de unos papeles, no fue cara a cara.</i> (Entrevistada 7). <i>No es algo sincero, hipocresía, para ganarse los beneficios para que le bajen la condena.</i> (Entrevistada 3).
	Cambio de conducta	<i>Nos asesinaron un hermano y el que lo asesinó nos pidió perdón.</i> (Entrevistada 3). <i>No han tocado el tema, ni cómo van o que han hecho, nada.</i> (Entrevistado 11).
Satisfacción judicial	Revelación pública	<i>Cuando mataron a mi hijo yo estaba en Ibagué, y pues las investigaciones hallaron el cuerpo con 2 tiros en la cabeza y 2 en el estómago.</i> (Entrevistada 7). <i>No han dicho nada, no han sancionado a nadie.</i> (Entrevistado 4).
	Sanción mínima	<i>Qué día me llegó a mí una notificación que sancionaban al doctor, ay es que no tengo el nombre aquí, al director de la unidad para víctimas.</i> (Entrevistada 1). <i>En mi caso no ninguno, no han recibido cárcel.</i> (Entrevistado 10). <i>Solo sé que hay un señor preso en Popayán que era el que cuidaba, no recuerdo bien, es un señor ya viejo de barba, él está en Boyacá, él era el que cuidaba el territorio donde nosotros estábamos, porque estábamos secuestrados.</i> (Entrevistada 9).
Satisfacción memorial	Conmemoración material	<i>No pues por el momento no han hecho nada.</i> (Entrevistada 2).
	Conmemoración no material	<i>Conmemoración nada, no nos han nombrado para nada, como si estuviéramos muertos.</i> (Entrevistada 15).

4.2 Expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia sobre la reparación simbólica

En la dimensión satisfacción moral, con respecto a la subdimensión restauración de la dignidad (Tabla 2), buena parte de las personas entrevistadas manifestaron querer una disculpa por parte del Estado y/o sus

victimarios, como lo menciona la entrevistada 12: *Que me ofrezcan disculpas y queden transmitidas por los medios de comunicación*, sin embargo, en casos excepcionales no se desea recibir disculpa alguna, como lo expresa el entrevistado 4: *yo no creo en disculpas, porque ya lo que pasó pasó, y uno con una disculpa no va a reparar nada*. También, dentro de la misma subcategoría, algunas entrevistados desean ver un desagravio oficial por parte de los victimarios estatales y/o insurgentes, en donde reconozcan los hechos violatorios públicamente y asuman sus responsabilidades, como lo indica el entrevistado 14: *Pues la actitud de que reconozcan sus errores en público*.

Respecto a la sub-dimensión de la satisfacción moral cambio de conducta, algunas personas entrevistadas manifestaron querer ver en sus victimarios una actitud arrepentida, como lo indica la entrevistada 9: *sería un arrepentimiento por parte de ellos como hacedores de tanto daño*. También, algunas personas mencionan que quieren que sus victimarios confiesen los hechos que cometieron y cumplan con los acuerdos pactados con el Estado, como lo manifiesta el entrevistado 11: *Que digan la verdad y que la gente pueda retornar feliz a sus hogares, sin necesidad de tener miedo*.

En la dimensión satisfacción judicial, en la revelación pública (Tabla 2), en casos excepcionales como lo menciona el entrevistado 14 las investigaciones judiciales: *lo primero que pueden hacer es ir a los cementerios para enterrar los que están en las fosas comunes, que se entreguen los cuerpos, que se tomen fotos a esas tumbas y se divulguen, de esas personas que ya no están para que conozcan las muertes que hubo*. Por otra parte, en otros casos excepcionales la entrevistada 9 manifiesta que las investigaciones judiciales deben: *Para mí que se hiciera una especie de mesa redonda con los victimarios y que dijeran la verdad, asumir la responsabilidad de los hechos que cometieron y en dónde y por qué hicieron lo que hicieron, y dónde están enterrados la mayoría de gente que ellos asesinaron*.

En la segunda sub-dimensión de la satisfacción judicial, sanción mínima, la mayoría de las personas entrevistadas expresan que la cárcel como sanción mínima a sus victimarios satisface su anhelo de justicia, como lo indica la entrevistada 15: *A los que hacen cosas malas que los castiguen con cárcel*. Algunos mencionaron que la expropiación de bienes a los victimarios como una sanción mínima sería justa y apropiada, como lo expresa la entrevistada 13: *que los expropien, que se le devuelva a la gente lo que es de la gente*. Sin embargo, algunas personas opinan que las sanciones jurídicas no satisfacen ese anhelo de justicia, como lo dice la entrevistada 5: *Uno que saca con verlos allá, nada*.

En casos excepcionales de aplicación de sanciones mínimas, la entrevistada 9 menciona que sanciones como la extradición: *que sean castigados, por ejemplo, ahorita que esas personas les da miedo que los extraditen, ese sería un castigo muy bonito para ellos*, una orden de alejamiento: *el destierro total de esa gente de esa zona* y la pena de muerte: *Yo creo que la pena de muerte para esos máximos líderes de la guerrilla* satisface el deseo de justicia; en otros casos excepcionales una orden judicial que obligue al Estado a cumplir con lo que se comprometió, sería una sanción mínima pertinente, como lo menciona el entrevistado 4: *que haya una orden judicial, que obligue al estado a cumplir*. Por último, en casos excepcionales de sanciones mínimas hacia los funcionarios públicos negligentes, la participante 1 manifiesta: *yo llamo una sanción que lo cojan unos 3, 4, hasta 6 meses lo sancionen o hasta un año, para que aprendan que con las personas no se debe jugar y más cuando somos de bajos recursos*.

En la dimensión satisfacción memorial, la subdimensión conmemoración material (Tabla 2), algunos entrevistados manifestaron que los registros documentados serían un adecuado homenaje material simbólico para preservar la memoria histórica colectiva, como lo indica el entrevistado 10: *un registro documentado de fotos me haría sentir satisfecho para que la historia la conozcan las nuevas generaciones*; otro homenaje material simbólico que desean algunas personas entrevistadas son los monumentos, como lo menciona la entrevistada 12: *Yo creo que hacer una estatua en un lugar público*. Algunos entrevistados manifiestan que las conmemoraciones materiales deben presentarse en los medios de comunicación y producciones audiovisuales, como lo indica la entrevistada 7: *Que se divulgue por noticias y películas*.

En casos excepcionales, se desea que las conmemoraciones materiales se hagan a través de los museos, como lo menciona el entrevistado 10: *tener un museo y se realicen las fotos de los lugares donde hubo violencia para conmemorar esas historias de conflicto armado*. No obstante, en otros casos excepcionales

no se desea ningún tipo de conmemoración material, como lo expresa la entrevistada 3: *pues no como le dije, ya el daño está hecho y con papeles, con una foto, con un pedazo de bronce uno no recupera el daño.*

En la segunda sub-dimensión de la satisfacción memorial, conmemoración no material, la mayoría de las personas entrevistadas manifestaron que las conmemoraciones para promover un ambiente pedagógico de diálogo y reconciliación debían hacerse en plazas públicas, como lo menciona la entrevistada 6: *Yo diría que, en una plaza pública, donde la gente se diera cuenta de las cosas.*

Una buena parte de los entrevistados indicaron que se deben hacer en donde sucedieron los hechos victimizantes, como lo expresa el entrevistado 8: *En el lugar exacto donde ocurrió el hecho;* en casos excepcionales se menciona que se deben realizar en los espacios académicos-educativos, como lo manifiesta la entrevistada 13: *en la biblioteca, en la universidad.* Finalmente, se mencionó que los organizadores de esos eventos deben dar un espacio significativo a las víctimas, como lo indica la entrevistada 2: *Que lo den a conocer a las personas que lo cuenten que, que sí que, que todo mundo lo entienda de tal forma que verdaderamente quede ahí como algo importante.*

Tabla 2. Expectativas de las víctimas del conflicto armado en Colombia acerca de la reparación simbólica

Dimensión	Sub-dimensión	Ejemplo
Satisfacción moral	Restauración de la dignidad	<i>Que el estado directamente me pida disculpas por los hechos ocurridos.</i> (Entrevistado 11). <i>Me es irrelevante si me piden o no disculpas.</i> (Entrevistada 13). <i>Que reconozcan los hechos que cometieron.</i> (Entrevistada 12).
	Cambio de conducta	<i>Hay que perdonar, con tal de que la persona reconozca la falla.</i> (Entrevistada 7). <i>Que digan la verdad y que la gente pueda retornar feliz a sus hogares, sin necesidad de tener miedo.</i> (Entrevistado 11).
Satisfacción judicial	Revelación pública	<i>Lo primero que pueden hacer es ir a los cementerios para enterrar los que están en las fosas comunes, que se entreguen los cuerpos, que se tomen fotos a esas tumbas y se divulguen, de esas personas que ya no están para que conozcan las muertes que hubo.</i> (Entrevistado 14). <i>Para mí que se hiciera una especie de mesa redonda con los victimarios y que dijeran la verdad, asumir la responsabilidad de los hechos que cometieron y en dónde y por qué hicieron lo que hicieron y dónde están enterrados la mayoría de gente que ellos asesinaron.</i> (Entrevistada 9).
	Sanción mínima	<i>Deben es pagar, es pagar cárcel y si dicen que por una persona tiene que pagar 25 años pues que paguen 25 años.</i> (Entrevistada 3). <i>No considero que la cárcel sea el castigo, no está en mi corazón desearle el mal a otra persona.</i> (Entrevistada 6). <i>Que les quiten todo.</i> (Entrevistada 12).
		<i>Yo llamo una sanción que lo cojan unos 3, 4, hasta 6 meses lo sancionen o hasta un año, para que aprendan que con las personas no se debe jugar y más cuando somos de bajos recursos.</i> (Entrevistada 1).
Satisfacción memorial	Conmemoración material	<i>Una estatua.</i> (Entrevistada 5). <i>Que apareciera de pronto nuestro nombre, en el mapa o en un libro, el nombre de todas las familias, cada una.</i> (Entrevistada 9). <i>Tener un museo y se realicen las fotos de los lugares donde hubo violencia para conmemorar esas historias de conflicto armado.</i> (Entrevistado 10). <i>Que lo pasen por las noticias, por la radio y la televisión, también por periódicos y las redes sociales.</i> (Entrevistado 8).
		<i>Pues no como le dije, ya el daño está hecho y con papeles, con una foto, con un pedazo de bronce uno no recupera el daño que ya está.</i> (Entrevistada 3).
		<i>Me gustaría en mi pueblito también y en una plaza pública.</i> (Entrevistado 11).
	Conmemoración no material	<i>En cada pueblo, en cada corregimiento donde hayan ocurrido los hechos.</i> (Entrevistado 14) <i>En los colegios, universidades.</i> (Entrevistada 13) <i>Que lo den a conocer a las personas que lo cuenten que, que sí que, que todo mundo lo entienda de tal forma que verdaderamente quede ahí como algo importante.</i> (Entrevistada 2).

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación muestran que la mayoría de los entrevistados no han sido reparados simbólicamente. Esto evidencia que no hay cumplimiento con parte del artículo 25 de la Ley 1448 de 2011, que hace referencia al derecho de las personas registradas como víctimas en la Unidad de Atención y

Reparación de Víctimas a ser reparadas integralmente, lo cual incluye a la reparación simbólica como medida de satisfacción (Congreso de Colombia, 2011).

Los entrevistados no se sienten satisfechos moralmente, ni tampoco los pocos que han recibido una disculpa; porque según Vera (2008) la satisfacción moral se presenta no solo cuando se recibe disculpas y/o algún tipo de desagravio oficial, sino, cuando adicionalmente se logra ver en la actitud del victimario arrepentimiento y remordimiento al momento de reconocer su responsabilidad en los hechos y solicitar el perdón a sus víctimas, lo que en este caso aquellos entrevistados manifestaron no haber visto.

En cuanto a la satisfacción judicial que produce la reparación simbólica según la ONU (2005) muy poco se presenta en los entrevistados. El daño en la noción de justicia y las entidades que la representan persiste, porque en la mayoría de las investigaciones judiciales para esclarecer la verdad de los hechos victimizantes no se ha logrado nada; en pocos casos han logrado encontrar e identificar un cadáver, lo que contribuye según Charry (2016) a llevar a cabo las etapas del duelo que estaban alteradas o sin resolver y en otros casos se han condenado a los responsables de los hechos. Pero en general, el impacto psicosocial positivo que produce la reparación simbólica en los entrevistados ha sido poco y muy limitado.

Ninguna de las personas entrevistadas ha recibido una conmemoración material simbólica como homenaje a la memoria de sus hechos victimizantes. Esto hace que no se presente, según García (2013), una rehabilitación moral, que se puede generar gracias a los precedentes simbólicos que dignifican la memoria de los hechos y las personas afectadas, y permiten divulgar la verdad de un pasado irrepetible y que no se olvide. En este aspecto, la satisfacción memorial que produce la reparación simbólica según la ONU (2005) no se presenta en los entrevistados.

En cuanto a cómo los entrevistados esperan ser reparados simbólicamente para resarcir el daño moral; buena parte de ellos mencionan que las disculpas y el desagravio oficial con una actitud arrepentida por parte de sus victimarios y la confesión de sus actos, hace que según Barreto (2009) se pueda perdonar fácilmente y haber una reconciliación, debido a que se reconoce la dignidad de las víctimas, lo cual beneficia su salud mental y se lograría presentar satisfacción moral. Sin embargo, en casos excepcionales para resarcir el daño moral no se espera recibir ningún tipo de acto de disculpa ni arrepentimiento por parte de los victimarios y/o el Estado, lo que deja ver la importancia de consultar las expectativas de cada víctima antes de realizar actos que no mitiguen daño moral alguno.

Para resarcir el daño en la noción de justicia algunos entrevistados mencionan que en las investigaciones judiciales se deben buscar las fosas comunes, identificar los cadáveres y publicar lo encontrado, como lo menciona Vera (2008). Adicionalmente mencionan que los investigadores deben hablar con los victimarios amenamente, para que ellos digan la verdad de los hechos y se pueda saber dónde están los cuerpos y las razones para cometer todos esos vejámenes.

Las sanciones mínimas que anhelan la mayoría de los entrevistados para sus victimarios, van relacionadas con las penas de la justicia ordinaria como: la cárcel y la expropiación; sin embargo, algunos manifiestan que no desean la aplicación de sanciones por parte de la justicia ordinaria, lo cual abre el escenario para la aceptación de las penas punitivas que se aplican en la justicia transicional. También, algunos entrevistados para satisfacer su anhelo de justicia que según la ONU (2005) se presenta con sanciones mínimas, mencionan que quieren que los funcionarios públicos negligentes sean suspendidos por un tiempo significativamente largo.

Cabe resaltar que en casos excepcionales se menciona la orden judicial como sanción para obligar al Estado a cumplir con las reparaciones, la extradición, la orden de alejamiento y la pena de muerte a los victimarios como medidas para que haya una satisfacción judicial. Todo esto deja ver lo complejo que puede ser satisfacer el anhelo de justicia de las víctimas, por tal razón si se cumple con el derecho a la reparación integral mencionado en la ley 1148 (Congreso de la república, 2011), la satisfacción moral que produce la reparación simbólica, la rehabilitación que produce la atención biopsicosocial y la seguridad que brinda la restitución de tierras o reubicación de vivienda y la reparación económica, podrían generar que se logre algún tipo de satisfacción judicial con las penas punitivas a los victimarios (Sriram, 2007).

En cuanto a la satisfacción memorial que genera la reparación simbólica según la ONU (2005), los entrevistados mencionaron querer ser conmemorados materialmente algunos con la construcción de monumentos, otros con un registro documentado con sus nombres, fotos e historias de vida para que las nuevas generaciones los conozcan y no los olviden y algunos a través de las producciones audiovisuales como documentales y películas, y que estas conmemoraciones materiales sean transmitidas por televisión, las redes sociales y sean anunciados por los noticieros televisivos y radiales; todo ello contrasta con gran parte de las reparaciones simbólicas que exigieron las organizaciones de víctimas del holocausto nazi y que el Estado alemán cumplió (Bauer, 2013). También, cabe resaltar la intención que mencionan de querer que la sociedad conozca los sucesos violentos ocurridos, ya que según González (2010) hace parte de los objetivos de la reparación simbólica: lograr que la población civil en general conozca, se apropie y no quieran que estos sucesos se repitan.

En casos excepcionales se pide que la conmemoración simbólica material se haga a través de un Museo de la Memoria, esto contrasta con uno de los tipos de reparación que según Castellanos (2005) exigieron las organizaciones de víctimas de la dictadura militar de Argentina y el Estado les cumplió. Sin embargo, en otros casos excepcionales no se desea querer ningún tipo de conmemoración simbólica material, al considerarla un gran desperdicio de dinero, puesto que consideran que esa inversión puede servir para la reparación económica que el Estado no les ha cumplido; caso similar lo que opinan según Sepúlveda (2013) las víctimas de la masacre del Aro, en Ituango, que por el incumplimiento del Estado colombiano con la reparación económica, la reparación simbólica que se realizó ya no está satisfaciendo moralmente a las víctimas, porque piensan que con el dinero que costó dicho homenaje se hubiera podido cumplir con parte de la reparación económica o la rehabilitadora.

6. CONCLUSIONES

A pesar de que en general es moderada la satisfacción que ha dejado las acciones del Estado colombiano en temas de reparación simbólica en los entrevistados, las expectativas que ellos tienen sobre la misma son diversas. En asuntos de dignificar adecuadamente la moral y la memoria de las víctimas del conflicto armado las acciones pueden variar según la persona, por eso, es fundamental que el Estado escuche a cada víctima y/u organizaciones de víctimas para que las intenciones de resarcir el daño en la noción de justicia, en la dignidad, en la moral, en las etapas del duelo y en el derecho a conocer la verdad se logren cumplir.

En ocasiones, las víctimas tienen la expectativa de no recibir una disculpa o conmemoración material alguna. Los modelos de reparación simbólica internacionales muchas veces se quedan cortos, debido a que fueron realizados escuchando a personas de otros contextos socioculturales, esto hace que, para lograr satisfacer la moral, la recordación memorial y la noción de justicia de cada víctima o grupo de víctimas se deban realizar acciones u homenajes particulares, que pueden contrastar o no con lo realizado en otros países. En consecuencia, esto permitiría que la reparación simbólica cumpla con ser una medida de satisfacción.

Los homenajes simbólicos no pueden verse siempre como un acto público, ya que estos pueden ser pedidos o exigidos que se realicen de manera privada. Aunque uno de los objetivos de la reparación simbólica es hacer que la sociedad conozca lo ocurrido y sienta empatía por ello, el Estado debe tener el interés superior de impactar positivamente la moral de los directamente afectados con las acciones conmemorativas, sin dejar de registrar en la historia los hechos ocurridos y las víctimas de los mismos.

Así, se hace necesario utilizar los resultados de esta investigación para que el Estado colombiano conozca y ejecute acciones pertinentes para lograr la adecuada dignificación y satisfacción en cada caso. También, es importante el cumplimiento del Estado con el derecho a la reparación integral de cada víctima, porque el sentido y significado de la reparación simbólica puede verse permeado por el incumplimiento de las demás medidas de reparación.

REFERENCIAS

Barreto-Ardila, H. (2009). Las víctimas en el proceso de justicia y paz carácter simbólico de la verdad, la justicia y la reparación en la transición hacia la convivencia tolerante. *Derecho Penal y Criminología* 30(89), 17-36.

- Bauer, Y. (2013). *Reflexiones sobre el Holocausto*. Jerusalén: E.D.Z. Nativ Editores.
- Brown, K. (2013). Commemoration as Symbolic Reparation: New Narratives or Spaces of Conflict? *Hum Rights Rev.* 14, 273-289.
- Bustamante-Danilo, J. y Carreño-Calderón, A. (2020). Reparación simbólica, trauma y victimización: la respuesta del Estado chileno a las violaciones de derechos humanos (1973-1990). *Íconos* 24(67), 39-59.
- Cáceres, E. (2013). Justicia transicional y derecho a la reparación integral. Aproximación al caso colombiano. *Novum Jus.* 7(2), 55-87.
- Caicedo, G. A. y Bocanegra, C.V. (2015). Seguimiento al acceso efectivo de las víctimas del conflicto armado a la oferta institucional a través de herramientas tecnológicas. *Revista TIA* 1(1), 71-86.
- Calderón, J. (2016). Etapas del conflicto armado en Colombia: hacia el posconflicto. *Revista de Estudios Latinoamericanos* 62, 227-257.
- Castellanos-Morales, E. (2005). Verdad, justicia y reparación en Argentina, El Salvador y Sudáfrica. Perspectiva comparada. *Estudios Socio-Jurídicos* 7, 200-249.
- Charry-Lozano, L. (2016). Impactos psicológicos y psicosociales en víctimas sobrevivientes de masacre selectiva en el marco del conflicto en el suroccidente colombiano en el año 2011. *Colomb Forense* 3(2), 51-60.
- Congreso de Colombia (2011). Ley 1148. *Por la cual se dictan medidas de atención, asistencia y reparación integral a las víctimas del conflicto armado interno y se dictan otras disposiciones*.
- Defensoría del pueblo. (2019). *Comisiones de seguimiento a la Ley de Víctimas y Decretos Leyes Étnicos alertan sobre aumento de nuevos hechos de violencia*.
- Delgado, M. (2015). Las víctimas del conflicto armado colombiano en la Ley de víctimas y restitución de tierras: apropiación y resignificación de una categoría jurídica. *Perfiles Latinoamericanos* 23(46), 121-145.
- Dudai, R. (2011). Closing the gap: symbolic reparations and armed groups. *Int. Rev. of the Red Cross.* 93(883) 783-808.
- García, V. A. (2013) Perspectivas de reparación simbólica en Colombia: Un enfoque de reconocimiento. *Revista Controversia* 201, 217-257.
- García, V. A. (2014). Las características de la reparación simbólica en épocas de transición. *Estudios en Seguridad y Defensa* 9(17), 35-46.
- González, A. (2010) Justicia transicional y reparación a las víctimas en Colombia. *Rev. Mex. Sociol.* 72(4), 629-658.
- Hamber, B. y Wilson, R. (2002). Symbolic closure through memory, reparation and revenge in post-conflict societies. *J. of Hum Rights* 1(1), 35-53.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Herrera, C. J. y Torres, S. (2005). Reconciliación y Justicia Transicional: opciones de justicia, verdad, reparación y perdón. *Papel Político* 18, 79-112.
- Lazarus, R (1991). *Emotion and Adaptation*. Oxford University Press.
- Marschall, S. (2004). Gestures of compensation: post-apartheid monuments and memorials. *Transformation: Crit. Perspectives on Southern Africa* 55, 78-95.
- Martínez, A., Cubides, J. y Díaz, W. (2015). Los mecanismos de reparación integral (RIT) como elementos unificadores del ordenamiento internacional y el derecho nacional en busca de la consolidación del *Ius Commune Interamericano*. *Justicia* 13, 487-504.
- Martínez, J., Guerra-Ramírez, M. y Suarez-Villa, M. (2020). Experiencias en mujeres víctimas del conflicto armado. *Ciencia y enfermería* 26(13), 1-9.
- McDowell, S. (2007). Armalite, the ballot box and memorialization: Sinn Féin and the state in post-conflict Northern Ireland. *The Round Table* 96(393), 725-738.
- Molina-González, L. C. (2016) La dimensión social del perdón y la posibilidad de reinterpretarlo como un proceso de reconciliación con el daño. *Estudios de Filosofía* 54, 151-176.
- Monroy, J. P. (2019). La reparación simbólica a víctimas de desaparición forzada, olvido. *AGO-USB* 19(1). 244-252.
- Moreno, J. y Cañaveral-Londoño, D. (2018). La reparación simbólica en algunos tribunales Ad Hoc. *Inciso* 20(2), 27-36.
- ONU. (2005). Resolución 60/147. *Principios y directrices básicos sobre el derecho de las víctimas de violaciones manifiestas de las normas internacionales de derechos humanos y de violaciones graves del derecho internacional humanitario a interponer recursos y obtener reparaciones*.
- Patiño, A. (2010). Las reparaciones simbólicas en escenarios de justicia transicional. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos* 21(2), 51-61.
- Piper-Shafir, I., Fernández-Droguett, R. e Íñiguez-Rueda, L. (2013). Psicología social de la memoria: espacios y políticas del recuerdo. *PSYKHE* 22(2), 19-31.
- Piper-Shafir, I., Montenegro, R. y Sepúlveda, M. (2018). Memory sites: Visiting experiences in Santiago de Chile. *Memory Studies* 11(4), 455-468.
- Reyes, A. (2019). The monument to the children of Villatina: commemorating innocent child victims in the context of lethally stigmatized youth in Colombia. *Visual communication* 18(3), 379-398.
- Saito, N. T. (2003). The symbolism and substance of redress and reconstruction. *Third World Legal Stud* 16(8), 161-168.
- Sandoval, D. (2013). Reparación integral y responsabilidad civil: El concepto de reparación y su vigencia en los daños extrapatrimoniales a la persona como garantía de los derechos de las víctimas. *Rev. de Der. Priv.* 25, 235-271.

- Sepúlveda, C. V. (2013). La reconquista de Ituango: un reto en seguridad y defensa nacional del Estado colombiano. *Analecta política* 2(3), 139-160.
- Sriram, C. (2007). Justice as Peace? Liberal Peacebuilding and Strategies of Transitional Justice, *Global Society* 21(4), 579-591.
- Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas. (2021). *Medidas de reparación integral*. Recuperado de: <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/reparacion-integral-individual/286>
- Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas. (2021). *Registro único de víctimas*. Recuperado de: <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>
- Vera-Piñeros, D. (2008). Desarrollo internacional de un concepto de reparación a las víctimas de violaciones a los derechos humanos e infracciones al derecho internacional humanitario: complementos a la perspectiva de la ONU. *Papel político* 13(2), 739-773.
- Villa, J. D., Londoño-Díaz, D. y Barrera-Machado, D. (2015). Reparación a las víctimas de dictaduras, conflictos armados y violencia política en sus componentes de compensación, satisfacción, rehabilitación y no repetición. *AGO-USB* 15(1), 217-240.

Análisis de parámetros de calidad de vida en mujeres nativas de la comunidad de Muyuna, Ecuador

Jessica Galván Vivanco¹

Christian Alcocer Castillo²

¹ *Centro de Educación Continua EPN*

² *Universidad Regional Amazónica Ikiam*
Ecuador

En la Amazonía ecuatoriana la mujer indígena tiene un papel en la sociedad que podría estar sujeto a parámetros de calidad de vida diferentes a los de la mujer tipo en el Ecuador. Si se analiza la calidad de vida en esta región separando sus cualidades subjetivas de las objetivas se podrá entender algunos problemas que atraviesa este grupo étnico. El presente estudio analiza los parámetros de calidad de vida en la mujer indígena dividiéndolos en físicos, materiales, de bienestar y de desarrollo, para ello se tomó una muestra de la población femenina de una comunidad cercana a la ciudad de Tena en la Amazonía ecuatoriana en la cual se determinó que el mayor porcentaje de ellas son casadas o en unión libre con población joven que oscila entre los 19 y los 50 años en su mayoría, tienen estudios primarios y secundarios solo un mínimo porcentaje tiene estudios superiores, muchas han abandonado los estudios por motivos económicos, su dedicación está dada principalmente a la docencia, agricultura y quehaceres domésticos. Uno de los factores que llamó la atención es que un gran porcentaje sobrevive con ingresos familiares mensuales menores a \$400. En cuanto a la tecnología no usan la telefonía fija, un alto porcentaje tiene telefonía móvil y usan internet en menor porcentaje y pocas poseen computadores. En cuanto a su percepción se preguntó acerca de violencia intrafamiliar y calidad de vida, un porcentaje medio menciona que no es violencia la sexualidad sin aprobación o la limitación de actividades, pero en cuanto a calidad de vida mencionan un gran porcentaje sí tenerla, pero la mitad de ellas no se sienten productivas. En conclusión, no se cumplió ningún parámetro planteado, la mujer Kichwa necesita involucrarse más en la sociedad y por parte de las autoridades fomentar la igualdad de género y cultural.

¹ Contacto: jkgalvanvivanco2015@gmail.com

² Contacto: christian.alcocer@ikiam.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo investigativo trata sobre la calidad de vida que poseen las mujeres indígenas de la comunidad San Juan de Muyuna, parroquia perteneciente al cantón de Tena, ubicado al noroccidente de la capital provincial de Napo, Ecuador.

Al hablar de calidad de vida, la Organización Mundial de la Salud (OMS) la define como la percepción que tiene cada individuo sobre su lugar de existencia; sea este cultural, valores, salud y relaciones sociales (Salud, 1996). Partiendo de esta enunciado se centrará la investigación en las mujeres para definir la calidad de vida que poseen, puesto que a raíz de la pandemia es alarmante la cantidad de llamadas que recibió ECU 911 en marzo del 2020, relacionadas con casos de violencia contra la mujer e integrantes, siendo estas 8196 llamadas telefónicas; según encuestas realizadas por Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) a finales del año 2020 hace referencia que de cada 100 mujeres 65 sufren violencia y la Defensoría del Pueblo mediante su página web informa que desde enero hasta el 2 de marzo del 2020 existió 17 casos de muerte por violencia (Defensoría del Pueblo Ecuador, 2020).

La incógnita principal que se presenta, es el por qué gran número de mujeres no dan valor a sus derechos habiendo leyes que las ampara de acuerdo a la última constitución aprobada en el Ecuador como : la ley contra la violencia a la mujer y la familia; Código de la niñez y la adolescencia, Leyes en la constitución de la República del Ecuador y acuerdos internacionales como: Comité para la eliminación de la discriminación contra la mujer (CEDAW), Convención de Belén do Pará, Plataforma de Beijing, Consensos de México, cuyo fin es reducir brechas de género, maltrato, discriminación y mala calidad de vida (Fabara, 2020). Es por eso que con esta investigación se pretende indagar los motivos por los que las mujeres viven una vida de sumisión y austeridad y con ello poder crear un plan en el que por medio del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial San Juan de Muyuna y la Universidad Regional Amazónica (IKIAM) se pueda apoyar a la mujer.

2. MARCO CONCEPTUAL

El caso de estudio se desarrollará en la parroquia rural San Juan de Muyuna, ubicada en el cantón Tena de la provincia Napo; cuyo objetivo es investigar el nivel de calidad de vida en las mujeres indígenas. Dentro de este marco se puede iniciar complementando la definición ya planteada sobre calidad de vida, según la OMS hace hincapié de que la calidad de vida es el bienestar como percibe el individuo de su vida, tales como en el estado emocional o como en lo material; es decir que son las condiciones en las que el individuo pueda disfrutar y satisfacer sus necesidades, aclarando que calidad de vida no es sobrevivir, sino vivir con comodidad (Westreicher, 2020).

En la teoría de necesidades de Maslow, la motivación depende de la posibilidad de satisfacer necesidades fundamentales. Es decir que los factores de calidad de vida se basan en los cinco grupos de la pirámide de Maslow, organizados de acuerdo con la jerarquía congruentemente estable. En la Figura 1, se muestra la composición de la pirámide de Maslow, de las cuales se define los siguientes términos:

1. *Necesidades Fisiológicas*: corresponde a necesidades cronológicamente primeras en satisfacer; como: alimentación, bebida, vestimenta e integridad física de la persona.
2. *Necesidades de Seguridad*: se refiere a un entorno sano, estable y ordenado. Así también a la salud, empleo, vivienda, entre otros.
3. *Necesidades de Pertenencia*: es la razón de sentirse miembros de una comunidad, un grupo social, sentirse aceptado.
4. *Necesidades de Reconocimiento*: es la búsqueda de un estatus social, el deseo de recibir estima por las personas; estas necesidades se tratan del aspecto psicológico, relacionadas directamente con el autoestima y estabilidad mental.
5. *Necesidades de Realización*: es la necesidad de que un individuo realice aquello que es potencialmente capaz, esta necesidad surge del deseo de crecimiento interior y gusto por el cambio; por ejemplo:

estudios, laborar en el área de su interés y es por eso por lo que está ubicada en la cima de la pirámide (Charleux y Loubat, 2017).

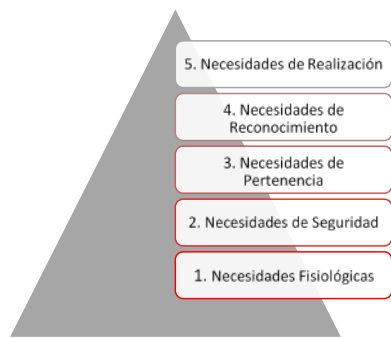


Figura 1. Teoría de las necesidades (a partir de Charleux y Loubat (2017))

De acuerdo con el análisis expuesto por la revista de Gestión Digital, Ecuador aún posee calidad de vida; según con el Índice de Progreso Social (IPS) en el 2019 Ecuador ocupa a nivel mundial el lugar #52 de 149 países analizados, con el IPS de 71,88 y con un Producto Interno Bruto (PIB) per cápita medido por paridad poder adquisitivo (PPP) de \$ 10,412 obtuvo un crecimiento del 3,92 punto sobre el promedio del IPS con relación al 2014 y el 2,27 a nivel global el IPS en el mismo periodo. El análisis a nivel de Latinoamérica a excepción de Venezuela según su IPS y PIB per cápita PPP en 2019, Ecuador se ubicó en el octavo lugar; en la Figura 2 se observa los países de América Latina ordenados según su posición del IPS.

	IPS	PIB per cápita PPP
Costa Rica	80,65	15.685
Chile	80,02	22.874
Uruguay	77,77	20.916
Argentina	76,86	18.282
Panamá	73,96	22.674
Brasil	72,87	14.283
Jamaica	72,58	8.266
Ecuador	71,88	10.412
México	71,51	18.102
Perú	71,31	12.794
Colombia	70,31	13.333
Paraguay	67,2	12.063
Rep. Dominicana	67,15	15.821
El Salvador	64,65	7.393
Bolivia	63,66	6.986
Honduras	60,31	4.560
Guatemala	59,67	7.509
Nicaragua	58,97	4.910

Figura 2. Países de América Latina según su IPS y PIB per cápita PPP en el 2019 (Lucero, 2020)

El análisis se centralizó en las tres áreas que mide el IPS: satisfacción de necesidades, bienestar y generación de oportunidades. En las necesidades humanas se toma en cuenta la nutrición, cuidados de salud, saneamiento, vivienda y seguridad personal; en el bienestar, el acceso a los conocimientos e información y comunicaciones; y dentro del medio de oportunidad, se mide los derechos personales, libertad personal, tolerancia, elección, inclusión y el acceso a la educación superior. En la Figura 3, se muestra los principales indicadores del Índice de Progreso Social en Ecuador en el 2019.

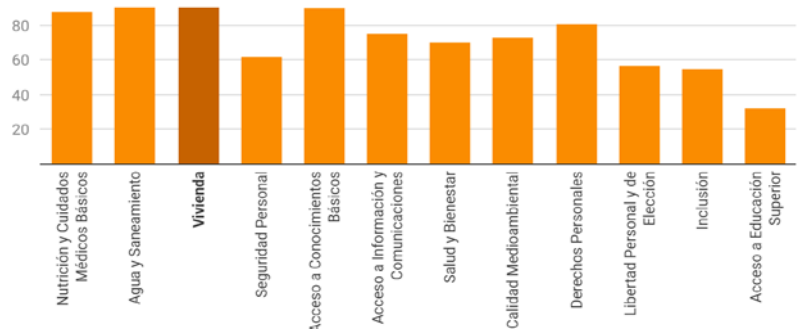


Figura 3. Principales Indicadores del Índice de Progreso Social en Ecuador en el 2019 (Lucero, 2020)

Con base en estudios de investigación que han desarrollado algunas entidades por determinar el nivel de calidad de vida, es de interés investigar precisamente la calidad de vida de las mujeres indígenas en San Juan de Muyuna. La Parroquia Rural San Juan de Muyuna pertenece al cantón Tena, ubicado al noroccidente de la capital provincial de Napo; limita al norte con la Parroquia Archidona y Parroquia Cotundo, Sur con la Parroquia Pano; al este con la Parroquia Urbana Tena y Parroquia Archidona, y Oeste con la Parroquia Pano y Parroquia Cotundo. Su extensión es de 18.496,74 Hectáreas (Administración, 2015).

San Juan de Muyuna fue nombrada Parroquia Rural el 20 de enero del 2011 por el Consejo Municipal de Tena, en ese entonces con 19 comunidades asentadas en el territorio parroquial catastrado por el Gobierno Autónomos Descentralizado (GAD) Municipal de Tena. Actualmente, la Parroquia Rural San Juan de Muyuna cuenta con 29 comunidades establecidas y legalizadas. Las comunidades que son parte de la Parroquia de investigación son:

1. Tiwintza
2. El Calvario
3. Chontayaku
4. Cóndor Mirador
5. San Salvador
6. Chambira
7. San Pedro de Tena
8. Muyuna
9. Tazayacu
10. San José de Chacumbi
11. Centro Wayrayacu
12. Centro Auca
13. San Vicente de Chacumbi
14. Atacapi
15. San Francisco de Guayaquil
16. Alto Tena
17. Shitig
18. Lupi
19. Cuyayacu
20. Santa Margarita
21. San Pascual de Wayrayacu
22. Flor del Valle
23. San Juanito
24. San Francisco
25. San Pascual de Muyuna
26. Pumarumi
27. San Luis de Colonso
28. Rey Loma
29. Mushuk Kawsay

Según INEC con la proyección que realizó al 2015, Parroquia Rural San Juan de Muyuna cuenta con una población de 6.727 habitantes con una Tasa de Crecimiento Anual del 4,34%. La población total de la parroquia constituye el 89,84% habitantes de Kichwa amazónico con su particularidad cultural, lingüística y conocimientos ancestrales; y el 10,16% constituye por habitantes colonos (mestizos), blancos. Montubios, afroecuatoriano y otros grupos. El idioma que prevalece es Kichwa y español (Administración, 2015).

Los actuales Kichwas son el resultado de la mezcla de costumbres con el pasar de los años; entre etnias con habitantes ancestrales del sector de: Quijos, Záparas, Shwar, Achuar, Siona, Secoya y Kichwa de la Sierra. Las costumbres y tradiciones de la cultura han sido familiar; a través de la comunicación y prácticas, de generación en generación, socializando el conocimiento para realizar las actividades de subsistencia, técnicas de agricultura, pesca, gastronomía, caza, cestería, cerámica y medicina tradicional.

Las costumbres de los matrimonios antiguamente; las familias arreglaban el matrimonio, por lo general quienes se encargaban eran los papas de la pareja; llegaban a un acuerdo y arreglaban todos los preparativos para el matrimonio, la futura pareja no podía opinar, esté o no de acuerdo, muchas de las veces la pareja no se conocía y menos tenía algún sentimiento el uno por el otro. Afortunadamente las cosas han cambiado relativamente; hoy en día las parejas se conocen, se enamoran; ya con el deseo propio de formar un hogar se casan, hacen la pedida de mano en compañía de los padres y organizan la boda o de igual forma si no tienen el consentimiento de los padres o familiares, se unen en matrimonio o unión libre.

Ya este tipo de acuerdos depende del comportamiento de la pareja y el aporte económico con el que van a mantenerse. Se dice que un 98% de las unidades familiares, toman decisión y organización por el trabajo es el esposo y en los últimos años el 2% de las unidades familiares, ha implementado la toma de decisión y organización en pareja. Aún es un porcentaje mínimo según investigaciones que realizaron en la Administración 2014-2019 del GAD Parroquial San Juan de Muyuna en el año del 2015, pero un cambio notorio ya que han permitido que las esposas se sientan tomadas en cuenta, se sientan seguras y con mejor autoestima. A nivel comunitario y organización, el trabajo se realiza en asambleas y ejecutadas a través de mingas; por lo general este tipo de decisiones se hacen en acuerdo mutuo (Administración, 2015).

En cuanto al idioma se puede indicar que el habla es kichwa y español, puesto que cada vez se incrementa los matrimonios entre Kichwas, colonos o extranjeros; es por ello que también se va perdiendo la cultura y la lengua materna por la falta de educación en su propia lengua.

Su alimentación es principalmente con los productos que cultivan en la chacra: verde, yuca, maqueño, orito, seda, cacao, chonta, palmito, hojas tiernas, maíz, granos, frutos nativos del oriente, entre otros; de lo que crían pollos y muchas veces tilapia o se van de pesca, carne de monte cuando se van de cacería, con ello preparan platos típicos como: Maitos de tilapia, garabato yuyo, chinta yuyo, Ilaqui panga, chonta curo, mazamorra de pollo o guanta y; chicha de chonta y yuca, siendo estos los platos más conocidos (Administración, 2015).

Teniendo conocimientos básicos del sector a investigar, costumbres y cultura con respecto al tema de investigación y; ya expuesto que las mujeres no ejerce el poder de decisión en sus hogares y a nivel de Ecuador es alarmante el número de denuncias por violencia intrafamiliar, aun existiendo leyes claras que amparan y protegen a la mujer; se desea determinar la calidad de vida de las mujeres indígenas en la Parroquia Rural San Juan de Muyuna en los que se analizará aspectos importantes como educación, violencia, alimentación, entre otras que constan en la pirámide de necesidades de Maslow.

Con el tiempo, en Ecuador se ha incorporado nuevas disposiciones y convenciones internacionales, con las que se crea conciencia con respecto a la protección de la mujer. En referencia del documento del Consejo de la Judicatura *Conoce tus derechos*, en el que hace énfasis sobre el marco legal donde protege a la mujer, detalla las leyes y derechos que amparan a la mujer (Consejo de la Judicatura, 2015).

En el Art. 11 de la Constitución de la República, garantiza el goce a los mismos derechos, deberes y oportunidades; y a no ser discriminada por ninguna razón de etnia, edad, lugar de nacimiento, sexo, género. La ley sancionará todo hecho de discriminación (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En el Art. 66 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce y garantiza inviolabilidad de la vida, derecho a una vida digna, integridad personal, igualdad, vida libre de violencia, a la toma de decisiones; en sí, a que la mujer pueda ser libre y responsable de su vida; de igual forma el estado adoptará todas las medidas para prevenir y eliminar la violencia (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La constitución en el Art. 75 refuerza el compromiso y garantiza el derecho al acceso gratuito a la justicia y a la defensa, siendo esta imparcial y limpia para que no quede en la indefensión dentro de un proceso judicial (Constitución de la República del Ecuador, 2008). Además, en el Art. 78 indica que las víctimas de infracciones penales gozarán de protección, con esto garantiza que no sea revictimizada e intimidada; establece también un sistema de protección y asistencia a las víctimas, testigos y participantes procesales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En la constitución, en el Art. 155, se explica los casos que son parte de violencia. La violencia se considera, a toda acción que radique maltrato físico, sexual o psicológico; consumado por algún miembro de la familia en contra de la mujer o demás integrantes del núcleo familiar. El núcleo familiar se considera al cónyuge, pareja en unión libre, cohabitante, ascendientes, descendientes, hermanos, parientes hasta el segundo grado de afinidad y personas con las que se determine que el procesado mantenga o haya mantenido vínculos familiares, sean íntimos, afectivos, convivencia o noviazgo (Consejo de la Judicatura, 2015).

En el Código Orgánico Integral Penal, de tesis registradas en las convenciones internacionales entre ellos: el CEDAW, firmado el 18 de septiembre de 1979, que es un órgano que supervisa a través de expertos la aplicación de la Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer de la ONU y la Convención Interamericana de Belem do Pará se realizó en 1994, donde trata sobre la violencia y derechos de la mujer, de igual forma deja en claro que la violencia es una violación de los derechos humanos; esta Convención Interamericana tiene como objetivo Prevenir, Sancionar y Erradicar la Violencia contra la Mujer (OEA, 1994).

Existen dos tipos de violencia contra la mujer o núcleo familiar, que se diferencia desde el 10 de agosto del 2014: a los actos de violencia que son producidas por golpes o heridas que causan lesiones con un tiempo de incapacidad de no más de 3 días y los mayor a 3 días. El agresor tiene de 7 a 30 días de prisión. En relación con los delitos psicológicos y sexuales, las sanciones van de acuerdo con la gravedad del caso. En la Figura 4, la violencia de genero también en otros delitos.



Figura 4. Violencia de Género (Consejo de la Judicatura, 2015)

Así mismo, el Consejo de la Judicatura recalca que al existir violencia de genero de cualquier forma, se quebranta los derechos humanos y se considera víctima a la persona que está sometida a estos hechos. El Código Orgánico Integral (Art 441) considera víctima a una:

- Persona natural o jurídica que haya sufrido algún daño de forma directa e indirecta como consecuencia de la infracción.
- Persona que haya sufrido agresión física, psicológica, sexual u otro tipo de perjuicio de sus derechos por el cometimiento de una infracción penal.
- Cónyuge o pareja de unión libre, parejas del mismo sexo, ascendientes o descendientes hasta el segundo grado de consanguinidad.
- Personas que compartan el hogar con el agresor o agredida, siendo casos de delitos contra la integridad sexual, personal y reproductiva contra la mujer o miembros del núcleo familiar (Consejo de la Judicatura, 2015).

La Organización de Naciones Unidas de Mujeres hace un trabajo de sensibilización y concienciación contra la violencia de la mujer; puesto que como lo indica en su página, haciendo referencia a la pandemia por el coronavirus, que mientras todas las personas se protegían de la pandemia en sus casas otra pandemia se desataba *la pandemia de violencia en contra de las mujeres*. La pandemia del coronavirus ha venido acompañada de un repunte de denuncias por violencia doméstica, cuando todos los servicios, fuerzas, orden y servicios sanitarios se centra en hacer frente a la crisis, indica el Secretario General de la ONU.

La ONU de mujeres ha desarrollado campañas de sensibilización contra la violencia de la mujer, *Pinta el mundo de naranja* es una campaña donde trata de ¡Financiar, responder, prevenir, recolectar! Ideas para

llegar a una acción eficiente. La campaña internacional anual que desarrollan bajo el nombre *16 días de activismo contra la violencia de género*; inicia el 25 de noviembre, en el Día Internacional para la Eliminación de la Violencia contra la Mujer y se extiende hasta el 10 de diciembre en el Día de los Derechos Humanos; esta campaña se originó por activistas en la inauguración del Women's Global Leadership Institute en 1991 y se desarrolla bajo coordinación de Center for Women's Global Leadership. Tiene una estrategia implementada por personas y organizaciones del mundo, cuyo fin es exigir la prevención y eliminación de la violencia contra las mujeres y niñas.

Otra campaña es la del Secretario General de las Naciones Unidas *UNETE de aquí hasta el 2030*, que igual forma tiene como objetivo finalizar con la violencia de las mujeres y niñas de todo el mundo, es gestionada por la ONU Mujeres. Para ello pide a toda la sociedad a unir fuerzas para afrontar la pandemia mundial de violencia contra mujeres y niñas (ONU Mujeres, 2020).

3. MÉTODO

La medición de la calidad de vida suele resultar complicado al ser a simple vista un aspecto subjetivo, pero según (Ardila, 2003), la calidad de vida está compuesta por un carácter subjetivo determinado por la percepción del individuo y un carácter objetivo determinado por sus indicadores sociales. Para tratar todos estos temas se trabajó bajo la metodología mostrada en la Figura 5, la misma que indica el proceso realizado desde la obtención de información hasta su finalización con la realización del informe de resultados. Para determinar los parámetros que permitirán medir la calidad de vida, se realizó la clasificación tomando en cuenta, condiciones subjetivas y condiciones objetivas de la persona (Yasuko et al., 2005).



Figura 5. Metodología de trabajo

Dentro de las condiciones subjetivas, la intimidad se define, como una esfera social donde tiene lugar lo personal y el mundo afectivo (Zabludovsky y Guitian, 2004). La expresión emocional se define como una fuente de señales que permite comprender mejor lo que alguien más experimenta orientadas a predecir su comportamiento futuro (Zabludovsky y Guitian, 2004). En la Figura 6 se detalla las condiciones subjetivas y objetivas que describen la calidad de vida en la persona.



Figura 6. Percepción de calidad de vida (a partir de Ardila (2003))

En tanto que el resto de las características de subjetividad se relacionan con la seguridad, productividad y salud, percibidas por la persona. Las condiciones objetivas se relacionan con el bienestar, las relaciones y

la salud objetivamente hablando. De las condiciones mostradas en la Figura 6, y de lo publicado en Significados.com (2017), se dividió en los siguientes parámetros: Físicos, materiales, de bienestar y de desarrollo, en todos ellos están implícitamente las características subjetivas y objetivas, la descripción de cada una de ellas se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de calidad de vida

Parámetro	Descripción
Físicos	Salud, seguridad
Materiales	Ingresos económicos, servicios básicos, vivienda
De bienestar	Autoestima, creencias, relaciones familiares, relaciones con la comunidad, entretenimiento.
De Desarrollo	Educación, productividad, uso de tecnología

Para la elaboración de la encuesta se hicieron preguntas orientadas a todos los parámetros, de tal forma que luego de la tabulación se tenga información que permita analizar cada categoría y verificar cuál de ellas es la que mejor permite analizar la calidad de vida de la mujer. La encuesta consta de 8 secciones, distribuidas como se indica en la Tabla 2, cada sección posee preguntas de opción múltiple para facilitar la tabulación.

Tabla 2. Contenido encuesta

Sección	Detalle preguntas
Datos generales	Información general del encuestado, referente a sexo, edad, estado civil, etnia, nacionalidad indígena, lugar de procedencia y discapacidad.
Grupo familiar	Se recaba información referente a número de integrantes, cantidad de integrantes adultos, estudios del grupo familiar adulto, menores dependientes, jefe del núcleo familiar.
Educación del encuestado	Se orienta a determinar el nivel de estudios del encuestado.
Empleo	Se realizan preguntas acerca de la profesión, dedicación, trabajo actual.
Nivel de ingresos	Permite determinar el nivel de ingresos del grupo familiar y el encuestado.
Vivienda	Se recopila información acerca el tipo de vivienda y de servicios básicos que se poseen.
Tecnología	Se encuentra información respecto a los dispositivos tecnológicos que se posee y el acceso a redes sociales.
Calidad de vida y violencia familiar	Se pretende conocer la parte subjetiva del entrevistado respecto a su calidad de vida y la violencia intrafamiliar.

Para la investigación se tomó a las habitantes mujeres de las 29 comunidades de la parroquia San Juan de Muyuna que cuenta con una población de 5362 habitantes según el censo de INEC del año 2010, con un índice de crecimiento de 4,34%. Para realizar el estudio se debía considerar lo siguiente:

- Se debe proyectar la población actual a abril de 2021
- Se debe considerar la población económicamente activa entre 15 a 65 años
- El estudio se realizará a la población Kichwa de la comunidad
- Se encuestará solo a la población femenina de la localidad
- Se calculará la muestra en función de la población que cumpla estos parámetros

Para realizar la proyección se utilizó la ecuación (1).

$$P = P_0(1 + r)^t \quad (1)$$

Donde:

- P es la población a calcular
- P_0 es la población inicial censada al 2010
- R es la tasa de crecimiento poblacional igual a 4,34%

De la ecuación (1) se encontró que hasta abril del 2021 se tiene una población de 8317 habitantes. De esta población se tomará a la población kiwcha que según el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del GAD parroquial de Muyuna, corresponde al 89,84%, con lo que se estima que al 2021 la población kichwa es de 7472 habitantes.

Por otro lado, el porcentaje de mujeres es de 49.66% que equivale a 3711 personas, finalmente de esta población se tomó a la población económicamente activa, es decir mujeres entre 15 y 65 años cuyo porcentaje es de 52.35% con lo que finalmente se tienen 1943 mujeres indígenas kichwas que se encuentran distribuidas en las 29 comunidades.

Para realizar la encuesta es necesario definir una muestra de la población y para su cálculo se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- La dificultad de acceso a la información, por lo que se espera un error entre el 8% y 10%
- El intervalo de confianza será de 95%
- No se tiene información de estudios anteriores.

Para el cálculo de la muestra se utilizó la ecuación (2).

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{e^2(N-1) + \sigma^2 * Z^2} \quad (2)$$

Donde:

- n es la muestra calculada
- N es la población de mujeres kichwas igual a 1943 habitantes
- σ es la proporción p del 50% *e igual a* $(1 - p) = 50\%$
- Z es el nivel de confianza del 95% cuyo valor es igual a 1,96
- e es el error estimado en este caso se tomará de un 9%

Introduciendo los datos a la fórmula se obtuvo una muestra $n = 112$ encuestas. Con el cálculo realizado a través de la ecuación (2), se solicitó a la presidente del GAD parroquial la autorización para realizar la encuesta y socializar por su parte el cronograma de visitas a las comunidades, este se distribuyó en 5 días en acuerdo con la autoridad del GAD como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Cronograma de visita comunidades

Día	Comunidad
Día 1	Centro Muyuna, San Francisco de Muyuna
Día 2	Alto Tena, Calvario, Tiwintza, Atacapi, Cóndor Mirador
Día 3	San Pedro, Lupi, Chontayacu, Cedroyaku
Día 4	Chambira, Cuyayaku, San Francisco de Guayaquil
Día 5	San Vivente, Guagrayaku, Tazayaku, San Salvador

4. RESULTADOS

De la encuesta realizada se obtuvieron 118 válidas, los datos obtenidos fueron ingresados a una base de datos y se separó por grupos de edades, para lo cual se utilizó la regla de Struges, obteniéndose 8 grupos desde los 19 hasta los 65 años con una amplitud de 6 tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución por rango de edades

E_0	Amplitud	E_f	Rango	Cantidad
19	6	24	19-24	22
25	6	30	25-30	16
31	6	36	31-36	20
37	6	42	37-42	28
43	6	48	43-48	9
49	6	54	49-54	10
55	6	60	55-60	8
61	6	65	61-65	5
Total				118

La distribución por estado civil de la parroquia de Muyuna se puede apreciar en la Figura 7, en esta se destaca el hecho que la mayor parte de las mujeres están casadas o en unión libre con un 87%, mientras que las mujeres solteras apenas alcanza el 9%, entre la categoría viudas y divorciadas su porcentajes es 4.5.

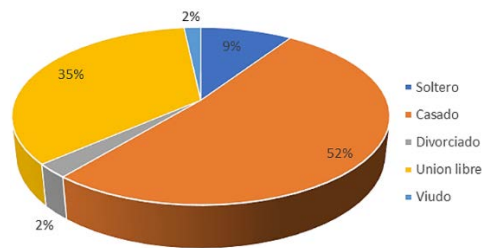


Figura 7. Distribución por estado civil

Si se analiza por rango de edades, la Figura 8 indica que en todos los grupos, incluso en el de 19 a 24 años, la unión libre es un factor común, además en todos los grupos etarios las parejas casadas son un predominante con porcentajes altos, pero la unión libre disminuye a medida que avanza la edad. Algo que causa sorpresa es que el porcentaje de viudez es mínimo a pesar de la pandemia existente por SARS-CoV-2, no hay casos de muertes evidenciadas en la encuesta, apenas el 2% son mujeres viudas, pero ninguna de ellas mencionó que haya sido por esta causa.

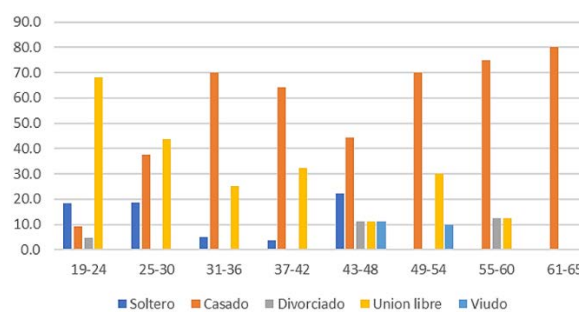


Figura 8. Estado civil por rango de edades

El número de integrantes del núcleo familiar se analiza en la Figura 9, los datos se comportan de acuerdo con una distribución normal, los integrantes aumentan hasta una edad promedio de 43 años y luego disminuye nuevamente. Esto se debe a que se indicó que viven en sus casas no solo su familia sino con familiares ya que se unen en pareja a temprana edad, a medida que pasa el tiempo se separan en grupos independientes y así empieza nuevamente el ciclo. El núcleo familiar está compuesto generalmente por los padres, hijos y sus parejas, nietos e incluso hermanos de los padres con sus hijos.

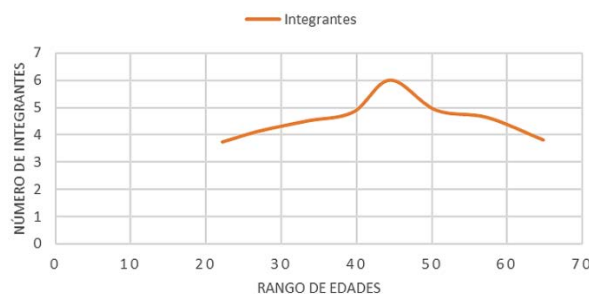


Figura 9. Integrantes del núcleo familiar por edad

En la Figura 10, se indica que la mayor parte de la población femenina tienen estudios de primaria y secundaria, incluso estudios superiores alcanzan el 26%, más adelante se detallará las profesiones y será más claro este porcentaje, ya que muchas mujeres se dedican a la docencia en escuelas de estudios primarios y secundarios.

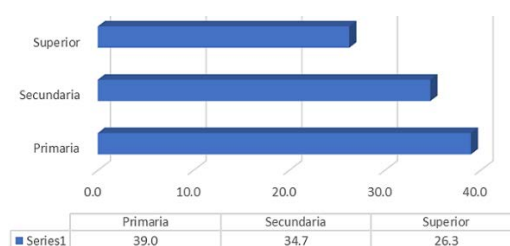


Figura 10. Nivel de estudios

Analizando los estudios por grupos de edad, en la Figura 11 se observa que las mujeres entre 19 y 30 años poseen estudios primarios y secundarios y un porcentaje menor al 14% tiene estudios superiores, pero entre 31 y 48 años predominan los estudios superiores. En edades mayores a 48 años la mayor parte poseen estudios primarios y un porcentaje menor al 30% tienen estudios superiores.

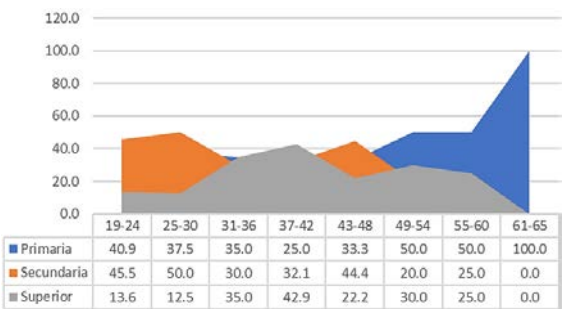


Figura 11. Nivel de estudios por rango de edad

Otro tema importante de análisis son las profesiones, las que se destacan son los quehaceres de la casa, agricultura, docencia, comercialización de productos, en porcentajes menores está enfermería, empleada doméstica, actividades poli-funcionales entre otras. En la Figura 12 se observa que, a grupos de edades menores, en mayor porcentaje realizan solo actividades del hogar, a medida que avanza la edad se dedican a otras actividades, entre ellas la agricultura, el comercio. Cabe resaltar que las actividades de docencia las realizan entre edades de 31 a 60 años.

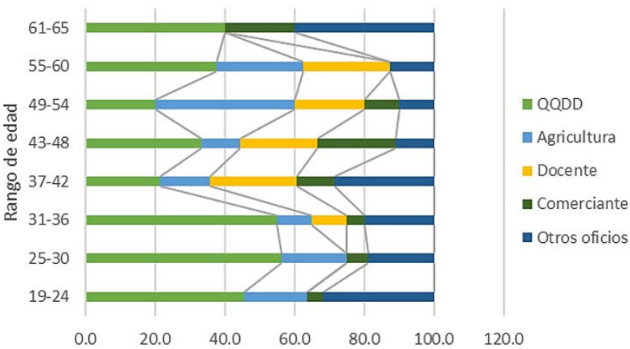


Figura 12. Profesiones por grupo etario

Comparando en la Figura 13 el estado civil con las principales profesiones, a simple vista se puede verificar que las mujeres solteras se dedican principalmente a los quehaceres domésticos, mientras que las mujeres casadas y unión libre realizan indistintamente sin un patrón específico oficios de docente, quehaceres domésticos y agricultura. La agricultura es una actividad propia de la mujer, ella es quien trabaja la tierra de sus pequeños sembríos para consumo propio del hogar y para comercializar en pequeñas cantidades y obtener dinero para otro tipo de productos necesarios para la familia.

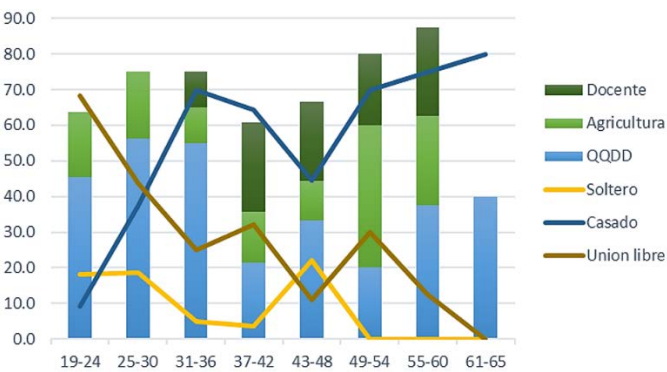


Figura 13. Comparación Estado civil vs profesión

De acuerdo a la Figura 14, los ingresos familiares promedio en la parroquia de Muyuna, son menores a un salario básico es decir menor a \$400, alrededor del 60% de la población sobrevive con un ingreso muy

pequeño especialmente en las comunidades más lejanas, solo un 18% aproximado de familias ganan entre 1000 y 1500 dólares, esto es debido a mujeres que trabajan como docentes e incluso hay familias que trabajan tanto el hombre y la mujer como docentes o tienen ingresos fijos.

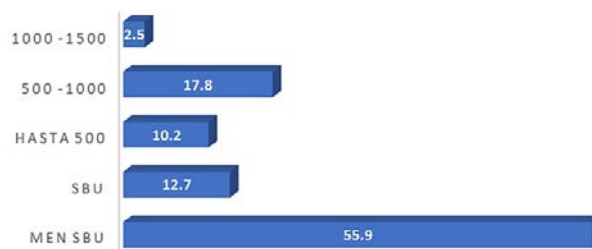


Figura 14. Ingreso familiar

En la Figura 15 se puede ver que un 63% posee vivienda propia, un 30% vive con familiares y un pequeño porcentaje arrienda. El tipo de vivienda por lo general son de madera o de bloque de un piso, viven en esta vivienda un grupo familiar bastante grande. Una de las principales características encontradas es que las familias se ayudan entre ellas y todos tienen un lugar para vivir.

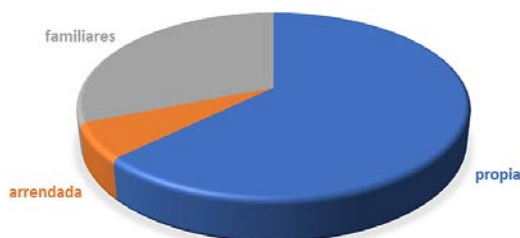


Figura 15. Tipo de Vivienda

Muyuna posee servicio de agua con acometidas a casi todas las comunidades, en este caso aproximadamente el 100% posee agua potable y electricidad como se puede ver en la Figura 16. Respecto la vialidad, la mayor parte de las carreteras que van a las comunidades son lastradas, en este caso el 80% posee acceso directo a sus domicilios. La telefonía fija se usa en un porcentaje muy pequeño, esta alcanza aproximadamente del 20%, con la llegada del internet ya muy pocas personas contratan este servicio.

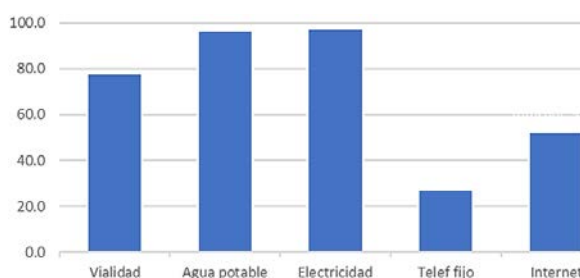


Figura 16. Servicios básicos

La red estatal del servicio de internet cuenta con fibra óptica y par de cobre, esta alcanza a casi todas las comunidades, con planes que van desde los \$22, esto ha permitido que el 50% de familias posean este servicio. El uso de tecnología no es muy habitual, en la Figura 17 se aprecia que el 64% no posee computador, pero si poseen teléfono celular un 74%, este índice ha crecido debido a la pandemia, principalmente por las clases virtuales de los estudiantes escolares y colegiales. Se menciona que el alto costo de estos dispositivos lo ven como impedimento, además el uso de computador solo un 29% de mujeres lo posee, debido a que sus actividades no hacen necesario la compra de este tipo de dispositivos, las funciones básicas que se realizan, como redes sociales y comunicación hacen que no sea necesario la adquisición de tecnología y se limiten a realizarlas con un teléfono celular.

La Figura 18, permite analizar el criterio subjetivo de las mujeres respecto a la violencia, se realizó la consulta respecto a que se indique cuál de las afirmaciones mostradas piensa que es violencia intrafamiliar. El resultado indica que la mayor parte de mujeres no piensa que sea violencia el privar de recursos para vivir,

inducir a la sexualidad, impedirle realizar actividades, perjudicar o hacer daños físicos, solo en un 60% de las mujeres tienen claro el criterio de violencia.

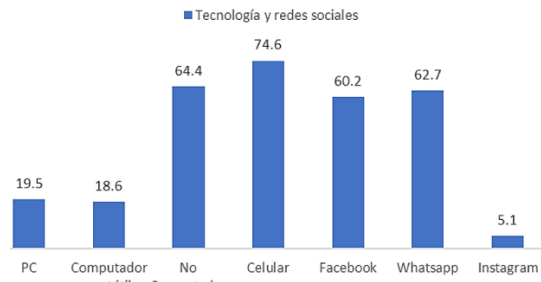


Figura 17. Uso de tecnología y redes sociales

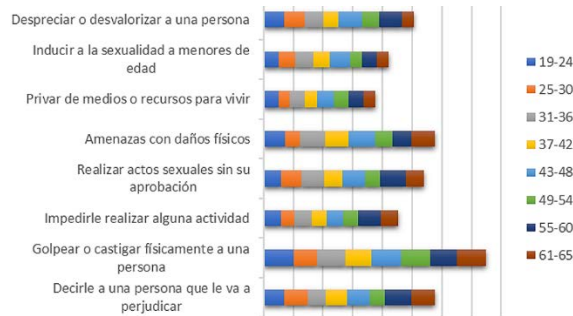


Figura 18. Violencia intrafamiliar

En la Tabla 5, se expone los resultados respecto a la pregunta si sufre violencia intrafamiliar, los resultados indican que en todas las edades padecen este hecho, con porcentajes altos que bordean el 70% en edades de 31 a 36 años, seguido con más del 60% en edades de 43 a 54 años. El tipo de violencia no se consultó, pero se mencionó que es en la relación de pareja.

Tabla 5. Violencia intrafamiliar recibida

¿Sufre violencia intrafamiliar?	
Rango Edad	Sí
19-24	50.0
25-30	43.8
31-36	70.0
37-42	50.0
43-48	66.7
49-54	60.0
55-60	37.5
61-65	60.0

La frecuencia de este tipo de violencia se indica en la Figura 19, en la cual se indica que es muy frecuente con el 2%, frecuente el 11%, poco frecuente el 22% y esporádico el 18%, el 44% mencionó no sufrir de violencia. Se mencionó que el alto consumo de alcohol es un desencadenante de la violencia sufrida y esta la padecen tanto las mujeres como también los menores de edad que conviven en el grupo familiar.

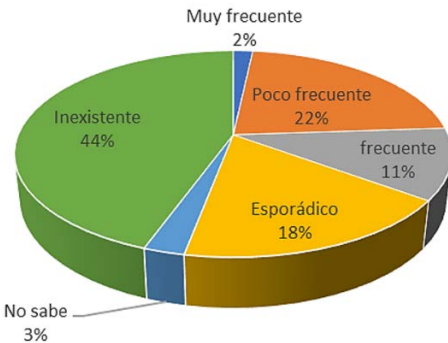


Figura 19. Frecuencia de violencia intrafamiliar

Para analizar el criterio subjetivo de la mujer respecto a la calidad de vida, se propusieron algunos criterios para que sean señalados los que se crea poseen, en la Figura 20 se indican los resultados, se menciona que alrededor de un 90% tienen alimentación, salud, buenas relaciones con la familia y las amistades y tiene buenas creencias religiosas, pero solo el 54% tienen servicios básicos, apenas el 20% tienen un empleo y se siente inseguridad en el 48%, el 76% tiene inestabilidad económica. Esto reafirma las preguntas anteriores respecto a la falta de empleo ya que la mayor parte de ellas pasa en casa en labores no remuneradas.

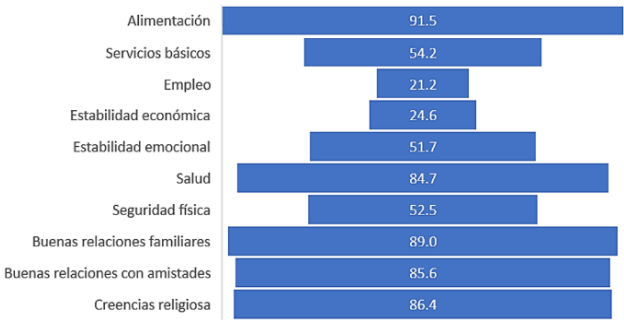


Figura 20. Calidad de vida

Para analizar el sentimiento de la mujer respecto a su rol dentro de la sociedad y la familia, se le preguntó si se siente productiva, en la Tabla 6 se evidencia que en edades menores, solo el 45% de mujeres se sienten productivas, y a medida que avanza la edad las mujeres le dan poco interés a este sentimiento de productividad.

Tabla 6. Productividad de la mujer Kichwa

Edad	Sentirse productiva
19-24	45.5
25-30	68.8
31-36	55.0
37-42	75.0
43-48	77.8
49-54	50.0
55-60	75.0
61-65	100.0

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de todos los resultados mostrados, ahora ya se puede analizar los parámetros de calidad de vida respecto a los datos encontrados. De la Tabla 1, se tomó los parámetros de calidad de vida (Tabla 7) encontrados y se puso un índice de referencia tomando en cuenta niveles básicos a ser alcanzados, por ejemplo en salud el 100% de las mujeres no debería tener problemas de salud y si los tuviera debería ser por alguna enfermedad que no pudiera tratarse, pero en este caso es difícil comprobar su salud y se mantuvo el criterio subjetivo, en este caso del 84%. Respecto a seguridad igual es un criterio subjetivo, se mantuvo el criterio de que solo el 52.5% creen sentirse seguras.

Respecto a los parámetros materiales, los ingresos económicos deberían ser sobre el salario básico para que permita subsistir a una familia, en este caso solo el 30% de mujeres tiene un ingreso familiar sobre el Salario Básico Unificado (SBU), servicios básicos y vivienda deberían tener todas las mujeres, pero solo el 70% lo cumple.

Respecto al bienestar, en este caso los parámetros analizados fueron la violencia intrafamiliar respecto a autoestima, las creencias religiosas, relaciones con la comunidad y la familia como parámetros subjetivos, en este caso se planteó que al menos el 80% debería tener buena relación para sentirse bien.

Respecto a parámetros de Desarrollo, se estableció que se debe tener el 100% al menos educación secundaria, en este caso solo el 60% lo tiene, para la productividad se analizó el desempleo y el criterio

subjetivo de productividad, en este caso solo el 12% tiene un trabajo fijo y solo el 64% se sienten productivas, en cuanto a la tecnología, para poder estar a la par con la globalización en cuanto a educación y trabajo, se planteó que al menos un 70% deberían tener computador de algún tipo, pero solo el 20% lo posee.

Tabla 7. Análisis de parámetros de calidad de vida

Parámetro	Descripción	Referencia	Resultado	Cumplimiento
Físicos	Salud	100%	84%	No cumple
	Seguridad	80%	52.5%	
Materiales	Ingresos económicos	80% Sobre el SBU	30% sobre el salario básico	No cumple
	Servicios básicos	100%	70%	No cumple
	Vivienda	100%	70%	No cumple
De bienestar	Autoestima	Alta: 0% violencia intrafamiliar	50% de violencia	No cumple
	Creencias	80%	86%	Cumple
	Relaciones familiares	Buenas 80%	89%	Cumple
	Relaciones con la comunidad	Buenas 80%	86%	Cumple
	Entretenimiento	80%	60%	No cumple
De Desarrollo	Educación	100% al menos secundaria	60%	No cumple
	Productividad	80% empleo	12%	No cumple
		100% sentirse productiva	64%	
	Uso de tecnología	70%	20%	No cumple

Como resultado de este análisis, solo cumple en parte los criterios de bienestar, ya que la otra parte está limitada por la violencia que sufre la mujer que es alrededor del 50%. El resto de criterios no se cumplen, esto indicaría que los parámetros de calidad de vida deben ser mejorados de alguna manera por medio de un trabajo conjunto entre el gobierno y la sociedad a través de la educación.

6. CONCLUSIONES

A los parámetros de calidad de vida se les dividió en físicos, materiales, de bienestar y de desarrollo. Se planteó criterios asignando un porcentaje de cumplimiento a cada parámetro, pero ningún parámetro lo cumplen totalmente, solo se cumple los parámetros de creencias, relaciones familiares y con la comunidad, Los criterios dentro de los parámetros que están más lejanos son la productividad, autoestima, uso de tecnología, seguridad e ingresos económicos.

La mayor parte de mujeres forman hogares a muy temprana edad, siendo su dedicación principal los quehaceres domésticos, existe un grupo importante de mujeres con educación superior y que son docentes de escuelas y colegios en la región, esto debería tomarse como ejemplo en las nuevas generaciones.

El salario percibido por el grupo familiar es muy pequeño y los grupos familiares que viven en un mismo hogar son grandes, se hace necesario se generen nuevas fuentes de empleo y se promueva la educación superior de tal forma que se generen nuevas profesiones que permitan tecnificar ciertas áreas de la región. La violencia intrafamiliar tiene un porcentaje de alrededor del 50%, a pesar de que no es muy frecuente, pero esto hace que disminuya la autoestima de las mujeres.

Tomando en cuenta lo analizado y respecto a las observaciones, la mujer Kichwa es una mujer alegre, donde su modo de vida es algo normal, tiene costumbres y creencias propias de su cultura, el análisis objetivo y subjetivo de estos parámetros establecen que se debe inculcar valores acordes a la sociedad moderna tanto en hombres y mujeres, donde se fomente la igualdad de género y cultural.

REFERENCIAS

- Administración. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Parroquial de Muyuna*. Tena.
- Ardila, R. (2003). Calidad de vida: Una definición integradora. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 35(2), 161-164.
- Significados.com. (2017). *Calidad de vida*. Recuperado: <https://www.significados.com/calidad-de-vida/>
- Charleux, F. y Loubat, J. R. (2017). *Motivar y animar equipos en trabajo social*. Madrid: Narcea S. A.
- Consejo de la Judicatura. (2015). *Función judicial*. Recuperado: <https://www.funcionjudicial.gob.ec/pdf/conoce-tus-derechos.pdf>

- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). Art. 11 Principios de aplicación de los derechos. *Elementos Constitutivos del Estado*. Ecuador.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Art. 66 Derechos de Libertad. *Derechos*. Ecuador.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). Art. 75 Derechos de Protección. *Derechos*. Ecuador.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Art. 78 Derechos de Protección. *Derechos*. Ecuador.
- Defensoría del Pueblo Ecuador. (2020). Recuperado: <https://www.dpe.gob.ec/defensoria-del-pueblo-exhorta-al-gobierno-nacional-a-aplicar-medidas-para-prevenir-y-proteger-la-violencia-de-genero-en-el-contexto-de-la-emergencia-sanitaria/>
- Fabara, A. C. (2020). *Derecho Ecuador.com*. Recuperado: [https://www.derechoecuador.com/derechos-de-las-mujeres#:~:text=Es%20importante%20mencionar%20que%20en,Par%C3%A1%20\(1994\)%3B%20Plataforma%20](https://www.derechoecuador.com/derechos-de-las-mujeres#:~:text=Es%20importante%20mencionar%20que%20en,Par%C3%A1%20(1994)%3B%20Plataforma%20)
- Lucero, K. (2020). *Revista Gestión Digital*. Recuperado: <https://www.revistagestion.ec/sociedad-analisis/ecuatorianos-aun-tienen-buena-calidad-de-vida-segun-indice-de-progreso-social>
- ONU Mujeres. (2020). *Campaña ÚNETE de aquí al 2030 para poner fin a la violencia contra las mujeres*. Recuperado: <https://www.unwomen.org/es/what-we-do/ending-violence-against-women/take-action>
- OEA. (1994). Convención de Belém do Pará. Recuperado: <https://www.oas.org/es/mesecvi/convencion.asp#:~:text=La%20Convenci%C3%B3n%20Interamericana%20para%20Prevenir,a%20la%20violencia%20como%20una>
- Salud, F. M. (1996). Grupo de la OMS sobre la calidad de vida. The World Health Organization Quality of Life Assessment (WHOQOL). *Foro Mundial de la Salud*, 385-387.
- Westreicher, G. (2020). *Economipedia.com*. Recuperado: <https://economipedia.com/definiciones/calidad-de-vida.html>
- Yasuko, B., Romano, S., García, N. F. y Refugio, M. (2005). Indicadores objetivos y subjetivos de la calidad de vida. <https://www.redalyc.org/>, 93-102.
- Zabludovsky, G. y Guitian. (2004). *Sociología, modernidad, tradiciones teóricas y cambio conceptual*. Press.

Análisis a la relación de la ecoinnovación y la ecoeficiencia en el sector de los combustibles fósiles

Alejandro Parra Saad¹

Universidad de la Salle
Colombia

En este trabajo se presenta un estudio acerca de la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en los combustibles fósiles en el nivel meso, es decir, a nivel sectorial, con el fin de explorar las relaciones sectoriales y su vínculo con una posible estrategia de desarrollo sostenible a partir de los combustibles fósiles en Colombia. Presenta, además, un marco analítico para estudiar los principios de la sostenibilidad desde la perspectiva de la energía, que sirva de soporte teórico en el estudio de la relación entre combustibles fósiles, como la principal fuente de energía primaria en el país, y la sostenibilidad, entendida como la eficiencia en la gestión de dichos recursos. El estudio sigue una propuesta metodológica con base en la definición de una función de producción, a través de la cual se estudia la relación entre el producto total (ingreso nacional) y la eficiencia energética. Metodológicamente se parte de la construcción de ecuaciones simultaneas, realizadas a través de modelos econométricos de ecuaciones simultaneas (estimador de Mínimos Cuadrados en tres etapas MC3E). Como resultados principales se encuentra que las políticas de sostenibilidad que incentiven una distribución adecuada de los flujos de energía y de las fuentes fósiles son fundamentales para la eficiencia energética, y que ésta, a su vez, tenga un impacto positivo en la economía. Por lo tanto, una política de mayor asignación de gasto público hacia una economía más eficiente, en este sentido, el diseño de mecanismos de control y una política adecuada de la gestión de los recursos energéticos, puede contribuir no solo a que se obtenga ganancias en el rendimiento ambiental derivadas de procesos ecoinnovadores. Finalmente, el principal mecanismo articulador de la ecoinnovación y la ecoeficiencia es la asignación eficiente de los recursos para inversión en ciencia tecnología e innovación CTI, por lo que debe favorecerse de desarrollo de mecanismos y programas de financiación ciencia, tecnología e innovación.

¹ Grupo de investigación Centro Lasallista de Investigación en Medio Ambiente CLIMA.
Contacto: alparra@unisalle.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La premisa de que la innovación es un factor clave para la competitividad de un país ha generado un cierto consenso (Carmona, 1992; Dosi, 1992; Olaya, 2008), así como el papel de la inversión en I+D y el capital humano. Sobre estos aspectos se encuentra una amplia literatura como los trabajos de Aghion et al. (2005) y Benavente (2005), entre otros, que señalan el impacto positivo entre la producción y la I+D+i, tanto a nivel agregado como a nivel de firma. Sin embargo, a pesar de los planteamientos teóricos y la evidencia empírica Colombia no se ha caracterizado por incentivar procesos de I+D+i, por el contrario, a lo largo de dos décadas ha disminuido la inversión en este aspecto, y en el entorno de la región es uno de los países de Latinoamérica con menor participación de I+D+i en relación al PIB. Según un estudio realizado por la OECD (2011), el país redujo casi a la mitad la participación de la inversión en ciencia y tecnología entre mediados de la década de los noventa y mediados de la década pasada. La Figura 1 muestra este hecho: mientras que países como Costa Rica, Cuba, Uruguay, Argentina, Chile y Brasil incrementaron esta proporción (y el promedio para Latinoamérica aumentó cerca de una décima ubicándose en 0,65%), en el caso de Colombia la proporción de la inversión en I+D como porcentaje del PIB se redujo a la mitad, de 0,29% a 0,15% en el período analizado, y en la actualidad, según datos del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT, 2014), esta proporción asciende a 0,194%, muy por debajo del promedio de los países de la región².

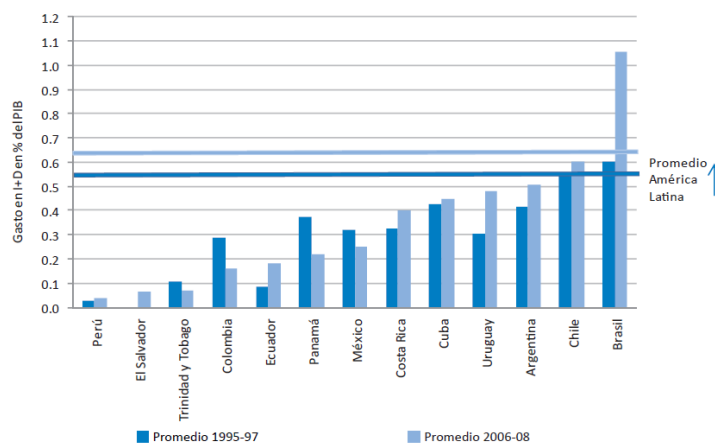


Figura 1. Inversión en I+D en porcentaje del PIB, América Latina y el Caribe. Adaptado de OECD (2011)

Este hecho también se refleja en los indicadores de competitividad reportados por el Foro Económico Mundial WEF, al revelar que entre los doce componentes del Índice de Competitividad Global, la innovación presenta el nivel más bajo (WEF, 2014), así mismo entre 2012 y 2015 el país ha estado entre los puestos 60 y 68 de 143 países, en el Índice global de innovación, registrando las mayores deficiencias en los criterios de capital humano e investigación, conocimiento y salida de tecnología, y tasa de eficiencia en innovación (Cornell University, 2014).

No obstante, en los últimos años el país ha iniciado un proceso de transformación en cuanto a políticas en ciencia, tecnología e innovación, como las Leyes 1286 y 1341 ambas de 2009; la primera transformó a Colciencias³ en Departamento Administrativo y fortaleció el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación SNCTI del país, y la segunda definió el marco general para la formulación de las políticas públicas que rigen el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, su ordenamiento general, el régimen de competencia, la promoción de la inversión en el sector y el desarrollo de la tecnología, entre otras medidas⁴.

² Además, el informe *OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia* de la OECD indica que las empresas colombianas participan muy poco en la innovación. Durante la última década, solo un tercio de las empresas manufactureras han introducido innovaciones. Únicamente el 30% del total en I+D se lleva a cabo por el sector empresarial, en comparación con el 65-75% en los principales países de la OCDE y China (OECD, 2014a).

³ Institución de referencia nacional para la promoción de políticas públicas que fomenten la CT+I, incentivando la producción de conocimientos y la construcción de capacidades a través de la financiación en diferentes programas.

⁴ Plan *Vive Digital* destinado a fomentar proyectos que innovación regional y el desarrollo tecnológico a través de las TIC, plan APPS.co que incentiva la creación de empresas de TIC para el desarrollo de aplicaciones informáticas, el Plan Nacional de Desarrollo PND 2010-2014, que involucra la innovación como un eje fundamental, y la Ley 1530 de 2012, que asigna el 10% de los ingresos por la explotación de recursos no renovables a un Fondo para financiación de proyectos en CTI (OECD, 2014a, 2014b).

Con relación a la ciencia, tecnología e innovación en combustibles fósiles, el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología agrupa la información por programas de investigación entre los que se encuentra la categoría *energía y minería*, presentando indicadores por número de investigaciones y montos de financiación por categoría. Entre 2004 y 2013 los recursos destinados a financiar proyectos en CTI en Energía y Minería acumularon 178.876 millones de pesos (Figura 2), ocupando la tercera categoría con mayor financiación para proyectos de CTI (9,04% del total), distribuidos entre 291 proyectos entre los años mencionados, sin embargo, a pesar de ser la tercera categoría con mayor financiación se ubica muy por debajo de las dos primeras *Salud* e *Industria* con 825 y 759 proyectos financiados y 552.773 y 489.666 millones de pesos en acumulado respectivamente (OCyT, 2014). Además, según el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación PNCT+I, la cantidad y porcentaje de participación del número de proyectos en energía y minería aprobados por Minciencias se encuentran en el promedio nacional, por debajo de la cantidad de proyectos de ciencia, tecnología e innovación aprobados en las áreas de salud, industria y ciencias básicas (OCyT, 2014).

PNCT+I	Número de proyectos Number of projects	%	Monto financiado por Colciencias Funds granted by Colciencias	%	Contrapartida y otras fuentes Counterpart funds and other resources	%	Monto total proyectos aprobados Total funding of approved projects	%
Ciencia, tecnología e innovación en salud Science, technology and innovation in health	825	23,83	291.788	32,27	260.984	24,30	552.773	27,94
Desarrollo tecnológico e innovación industrial Technological development and industrial innovation	759	21,92	189.586	20,96	300.080	27,94	489.666	24,75
Investigaciones en energía y minería Research in energy and mining	291	8,41	77.378	8,56	101.498	9,45	178.876	9,04
Ciencia, tecnología e innovación agropecuarias Science, technology and innovation in agriculture and livestock	282	8,15	75.820	8,38	87.352	8,13	163.172	8,25
Electrónica, telecomunicaciones e informática Electronics, telecommunications and informatics	320	9,24	63.747	7,05	85.564	7,97	149.311	7,55
Ciencias básicas Basic sciences	299	8,64	64.835	7,17	71.973	6,70	136.809	6,92
Biotecnología Biotechnology	147	4,25	52.353	5,79	54.766	5,10	107.119	5,41
Ciencias, tecnología e innovación en áreas sociales y humanas Science, technology and innovation in social and human issues	195	5,63	28.352	3,14	38.857	3,62	67.208	3,40
Ciencia, tecnología e innovación en ambiente, biodiversidad y hábitat Science, technology and innovation in environment, biodiversity and the habitat	119	3,44	23.820	2,63	26.602	2,48	50.422	2,55
Ciencia, tecnología e innovación del mar y de los recursos hidrobiológicos Science, technology and innovation of the sea and aquatic resources	88	2,54	21.476	2,37	25.685	2,39	47.161	2,38
Ciencia, tecnología e innovación en educación Science, technology and innovation in education	127	3,67	13.252	1,47	17.933	1,67	31.185	1,58
Ciencia, tecnología e innovación en seguridad y defensa Science, technology and innovation in defense and security	10	0,29	1.916	0,21	2.792	0,26	4.707	0,24
Total	3.462	100,00	904.322	100,00	1.074.087	100,00	1.978.409	100,00

Figura 2. Inversión total en proyectos aprobados según Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación PNCT+I 2004 – 2013. Cifras en millones de pesos de 2013. Adaptado de OCyT (2014)

Otros indicadores en los que se observa una débil presencia de la I+D+i en el área de la energía son los relacionados con el número de proyectos aprobados en el PNCTI (Figura 3) y el número de grupos de investigación en esta área registrados en la plataforma ScienTI⁵ y el número de artículos científicos publicados en revistas indexadas; en el primer indicador se aprecia un bajo nivel de investigaciones en energía aprobadas por el PNCTI, muy por debajo de los proyectos aprobados en otras áreas, además de que entre 1994 y 2009 se presentaron en promedio cerca de 30 investigaciones por año, dejando ver de esta manera la pobre evolución de este indicador.

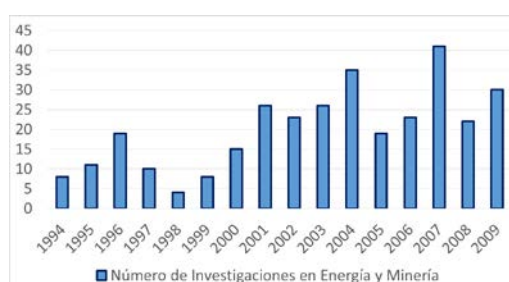


Figura 3. Número de proyectos de investigación en energía y minería según el PNCTI

En el segundo indicador el número de grupos de investigación en energía solo representaron el 2% del total de grupos de investigación del país en 2014, muy por debajo de la participación de otros grupos de investigación como los de investigación en ciencias sociales y en salud que representaron el 35% y 15% del total de grupos de investigación respectivamente (OCyT, 2014), en cuanto al número de artículos científicos publicados el desempeño también ha sido deficiente, entre 2003 y 2012 las publicaciones estuvieron por

⁵ La plataforma ScienTI es el sistema de información de investigación, desarrollo e innovación, y clasifica los investigadores y grupos de investigación por áreas de CTI.

debajo del promedio nacional pasando de 22 a 235 artículos publicados, superado ampliamente por artículos publicados en áreas como medicina, agricultura y ciencias biológicas, física y astronomía, ciencia de la computación, y bioquímica, genética y biología molecular, que en 2012 registraron 1.542, 1.009, 1.044, 739, 679 y 509 artículos publicados respectivamente (OCyT, 2013).

La lenta evolución de los indicadores referentes a CTI en el área de la energía y minería, unido a las aceleradas tendencias en la extracción de los combustibles fósiles y de las emisiones asociadas, ponen de manifiesto la necesidad de avanzar con mayor dinamismo en estrategias y programas que estimulen el desarrollo de procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia en la energía y los recursos minero-energéticos.

Adicionalmente, conforme a autores como Andersen (2010), Arundel y Kemp (2009), Bleischwitz et al. (2009), Huber (2005), Kemp (2010), Reid y Miedzinski (2008) y Rennings (2000), uno de los canales o conductores que posibilitan el desarrollo de la ecoinnovación son los sistemas de gestión, en este punto el país ha avanzado en la conformación de varios sistemas de gestión que puede servir de base para la desarrollo de innovaciones ambientales, como por ejemplo el SNCTI y el Sistema de Información Nacional Ambiental SINA, que hacen parte de la política nacional sobre innovación y recursos naturales. En el ámbito empresarial se encuentran varias normas técnicas internacionales y nacionales que sirven como facilitadores e incentivan la dinámica de procesos en ecoinnovación y ecoeficiencia en los combustibles fósiles, como por ejemplo el sistemas de gestión ambiental ISO 14001 y el sistema de gestión de la energía en las organizaciones ISO 50001, así como las normas técnicas NTC 5067 sobre la planificación y gestión ambiental de proyectos de exploración sísmica terrestre, y NTC 250 sobre buenas prácticas sociales para la exploración y la explotación de hidrocarburos.

2. MÉTODO

En este apartado se presenta el marco general para estudiar los principios de la sostenibilidad desde la perspectiva de la energía que sirven de soporte teórico en el estudio de la relación entre combustibles fósiles (como la principal fuente de energía primaria) y la sostenibilidad entendida como la eficiencia en la gestión de dichos recursos (ecoinnovación y ecoeficiencia). Este marco de referenciado se basa en la aportación de Bretschger y Zurich (2010) que a través de una función de producción estudian la relación entre el producto total (ingreso nacional) y la eficiencia energética, dividiendo el análisis según el horizonte temporal utilizado corto, mediano y largo plazo, y llegan a la conclusión de que las políticas de sostenibilidad que incentiven una distribución adecuada de los flujos de energía son fundamentales para la eficiencia energética y que ésta a su vez tenga un impacto positivo en la economía.

Además, añaden que una política de mayor asignación de gasto público hacia una economía más ecológica puede contribuir a sostener el bienestar social sin incrementar el flujo energético (desacoplamiento de recursos e impactos), aunque advierten que la finalidad de tales políticas no debe ser la de aumentar el bienestar material sino aumentar la eficiencia energética por lo que el diseño de políticas de sostenibilidad deben orientarse a incrementar la eficiencia energética en lugar de aumentar las inversiones de capital, no obstante, se presenta un obstáculo para la financiación del gasto público en programas de eficiencia energética como lo indican Bretschger y Zurich (2010) al afirmar que:

Otros problemas de grandes programas verdes con enormes gastos del gobierno son la falta de proyectos maduros de energía (que causan baja eficiencia) y, posiblemente, los altos costos administrativos. Además, estas políticas pueden llevar una etiqueta verde, pero en realidad solo ayudar a las industrias existentes para sobrevivir (como la "prima de desecho" en alemán). Por último, los impuestos y los mercados de permisos pueden tener efectos similares o mejores, sin causar una carga para los presupuestos públicos.

El planteamiento teórico de Bretschger y Zurich permite estudiar la producción agregada y las implicaciones para la eficiencia energética a partir de la definición de supuestos:

1. No existe un único sector, como suele suceder en la mayoría de los modelos de esta naturaleza (p.e. los modelos de la curva ambiental de Kuznets y los basados en la relación entre energía y desarrollo), sino

que existen varios sectores que utilizan los factores: capital, trabajo y energía, por lo que la producción se caracteriza por un orden jerárquico: la producción final es producida por bienes intermedios y estos son producidos por insumos primarios, lo cual permite establecer los diferentes canales de sustitución del flujo energético de una manera más detallada.

2. El impacto de la energía en la producción final se realiza de forma indirecta, a través de los bienes intermedios, por lo que la energía se relaciona tanto con la producción final como con los procesos intermedios de producción, reflejando de manera más detallada las relaciones entre sectores, insumos y producción.

Formalmente el modelo se especifica como una función de producción estándar, como se puede apreciar en la ecuación (1).

$$Y_t = f(A_t, K_t, Z_t) \quad (1)$$

Donde:

Y es la producción agregada

A es la productividad total de los factores

K es el capital

Z son los insumos intermedios

t representa el tiempo

La expresión puede reescribirse como la ecuación (2), con $0 < \alpha < 1$.

$$Y(t) = A_t K_t^\alpha Z_t^{1-\alpha} \quad (2)$$

En esta función los insumos producidos K y Z son producidos en los diferentes sectores económicos a partir de los insumos primarios trabajo (L) y energía (E), por lo que estos insumos se distribuyen entre los distintos sectores L_K , L_Z , E_K y E_Z , como se describe en las ecuaciones (3) y (4), con $0 < \beta$ y $\delta < 1$.

$$\dot{K}_t = L_{K(t)}^\beta E_{K(t)}^{1-\beta} - \delta K_{(t)} \quad (3)$$

$$Z_t = L_{Z(t)}^\gamma E_{Z(t)}^{1-\gamma} \quad (4)$$

Donde

\dot{K}_t : es la derivada del capital respecto al tiempo [$\dot{K}_t = \frac{\partial K}{\partial t}$]

δ : es la tasa de depreciación

K y Z: son los subíndices son los sectores económicos

K: es una medida amplia de insumos acumulables que puede estar conformada como el conjunto de recursos físicos, humanos y capital de conocimiento (privado)⁶.

L: es el trabajo distribuido entre todos los sectores

E: incluye todos los tipos de energía y recursos naturales (como los combustibles fósiles).

Tomando como referencia la ecuación (2), la eficiencia energética viene dada por el cociente del producto total Y, y la energía E, es decir $\frac{Y}{E}$, como se muestra en la ecuación (5).

$$Y \equiv \frac{f(\cdot)}{E} E = x \cdot E \quad (5)$$

Donde:

$$f(\cdot) = A_t K_t^\alpha Z_t^{1-\alpha}$$

⁶ Además, la productividad total de factores A (insumos), también se puede interpretar como el estado de conocimiento del sector público, y los balances de materia y energía definen los límites de capital físico, (p.e. la Formación Bruta de Capital Fijo FBKF), aunque no limita a los otros tipos de capital (p.e. el capital humano).

De forma tal que x representa la eficiencia energética aunque no se define en el modelo como un único parámetro de la tecnología como se suele utilizar con frecuencia en los estudios aplicados (Bretschger y Zurich, 2010, p. 190), por el contrario depende de los demás parámetros, es decir, de la producción en todos los sectores económicos, por tanto x se puede representar de forma más precisa como se observa en la ecuación (6).

$$x = \frac{A_t \delta^{-a} \cdot L_{K(t)}^{\alpha\beta} \cdot L_{Z(t)}^{(1-\alpha)\gamma} \cdot E_{K(t)}^{\alpha(1-\beta)} \cdot E_{Z(t)}^{(1-\alpha)(1-\gamma)}}{E_{(t)}} \quad (6)$$

Lo relevante de este planteamiento es que los cambios en la eficiencia energética (x) no son necesariamente debidos a cambios en la productividad total de factores A^7 , sino que también están relacionados con la reasignación de los insumos primarios L y E entre los distintos sectores productivos, por lo que la eficiencia energética (en un sentido amplio la ecoinnovación y ecoeficiencia) es un resultado tanto económico como social, y no solo un asunto de ingeniería, por lo que la implementación de procesos en ecoinnovación incentivados a partir de las políticas públicas que favorezcan el ahorro de energía (y por tanto de una menor utilización de los recursos naturales energéticos) se traducen en impactos positivos tanto en la economía como en la disminución de las presiones ambientales.

Además, a nivel sectorial también comporta beneficios tanto económicos como ambientales, de una parte, por el aumento en el ahorro del input energético que permite el aumento de stock de capital y, por otra parte, la eficiencia energética se traduce en una disminución tanto del consumo de recursos energéticos como de las emisiones de contaminantes por lo que la sumatoria de los ahorros energéticos de todos los sectores contribuye sustancialmente al desacoplamiento de recursos e impactos ambientales. En este sentido los procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de los combustibles fósiles representan un pilar fundamental en la eficiencia energética y su difusión en todos los demás sectores de la economía por lo que la profundización de estos aspectos en hidrocarburos y carbón es relevante. El siguiente apartado se ocupa de esta cuestión en el caso colombiano aplicando una derivación de este marco de referencia a través de la modelación econométrica.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Además de los aspectos referidos en la Tabla 1, cabe precisar que el nivel de análisis establecido es el nivel meso *sector*, puesto que se pretende establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia a nivel sectorial, como se analizó con el apoyo del referente teórico del apartado anterior⁸. Se establece además el análisis en este sector como complemento a las dimensiones económico-social y la ecológico-ambiental, establecidas en la investigación, con mayor detalle sobre la dinámica del sector combustibles fósiles.

Tabla 1. Términos y descripción de elementos relacionados en el análisis de ecoinnovación y ecoeficiencia

	Ecoinnovación	Ecoeficiencia
Definición	Es la producción, la asimilación o la explotación de un producto, proceso de producción, servicio o método de gestión o de negocio que es una novedad en la organización (desarrollada o adoptada) y que implica, a lo largo de su ciclo de vida, una reducción de los riesgos ambientales, la contaminación y otros impactos negativos del uso de recursos (incluyendo la energía) en comparación con las correspondientes alternativas (Kemp y Pearson, 2007).	Consiste en la realización de actividades que crean valor económico al tiempo que reduce de forma continua impacto ecológico y el uso de los recursos naturales (DeSimone y Popoff, 2000).
Tipología	Tecnologías ambientales Innovación organizacional Innovación en productos y servicios Sistemas de innovación verde.	Productividad ambiental. Intensidad ambiental. Rentabilidad ambiental.

⁷ Conclusión a la que se llega utilizando los modelos convencionales de la función de producción agregada de Solow.

⁸ El planteamiento metodológico de este apartado varía levemente con relación al marco teórico expuesto en el apartado anterior, puesto que aquí se estudia un sector concreto *el de recursos energéticos*; asimismo, la información para series extensas por sectores por cada parámetro de las variables de entrada es limitado, debido a la carencia de datos u observaciones incompletas por variable, así como la falta de indicadores de ecoinnovación y ecoeficiencia por sectores productivos dificulta el empleo de la metodología del apartado anterior. Sin embargo, sirve de referente para la construcción de un enfoque que permita el análisis de la eficiencia ambiental (ecoinnovación/ecoeficiencia) a través de una aproximación de ecuaciones simultáneas.

Medición	Relacionados en función del nivel y objeto de análisis, normalmente expresados como Indicadores.	Indicadores de productividad e intensidad de materiales.
Supuesto	La ecoinnovación en combustibles fósiles está asociada a la mayor disponibilidad de recursos, y se relaciona inversamente con las emisiones de este sector.	Se utiliza como medida que engloba la ecoeficiencia las emisiones de CO2 equivalente per cápita para el total de los combustibles fósiles, puesto que esta medida refleja la eficiencia en la gestión de las emisiones.
Variables	Puesto que los procesos de ecoinnovación se derivan de una amplia gama de acciones que puede estar o no relacionadas con la reducción de impactos ambientales, se asume como variable que mide la ecoinnovación el monto de recursos destinados a proyectos de investigación en ciencia tecnología e innovación en energía y minería, que en un sentido amplio refleja las acciones emprendidas en eficiencia energética y/o reducción de la contaminación.	Se utiliza como medida que engloba la ecoeficiencia las emisiones de CO2 equivalente per cápita para el total de los combustibles fósiles, puesto que esta medida refleja la eficiencia en la gestión de las emisiones, así como el total de la extracción doméstica y el IDM de combustibles fósiles.

Para la definición de las variables se toma como indicador de la ecoinnovación el monto de recursos asignados a proyectos de ciencia, tecnología e innovación en energía y minería (cifras del OCNT), se toma este indicador como aproximación a los procesos de ecoinnovación en el sector, y se plantea además, que la ecoinnovación está asociada con el volumen total de recursos disponibles, por lo que se asume una asociación lineal directa entre IED y/o recursos de regalías para investigación y una mayor actividad de ecoinnovación, por su parte se asume que las emisiones de CO₂ equivalente del sector combustibles fósiles reflejan la ecoeficiencia del sector, la cual se ve afectada por la producción y exportación de los recursos. En la Tabla 2 se resume las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas para el análisis de ecoinnovación y ecoeficiencia. A partir de estadísticas del OCyT y SERI. \bar{x} y δ corresponden a la media y la desviación estándar, y N indica el número de observaciones

Variable	\bar{x}	δ	N
CO2 eq	22.175	2.967.787	17
EDU y EDNU	600.933	56.174	17
IED	1.444.757	2.028.486	17
Regalías	700.000.000	570.000.000	17
Exportaciones	51.732	21.870	17
Inversión en CTI	5.863.137	2.392.704	17

El razonamiento que une la ecoinnovación con la ecoeficiencia es el siguiente: la ecoinnovación se expresa como ganancia en eficiencia ambiental la cual depende de los recursos disponibles para su financiación, que a su vez cuales están conformados por los recursos de Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, una proporción de los flujos de IED asignados a I+D+i en el sector, y una proporción de la regalías para financiar este tipo de proyectos (se incluye este supuesto ya que la Ley 1530 de 2012 establece que el 10% de las regalías provenientes de la extracción de los recursos naturales debe destinarse a un Fondo de financiación para proyectos de ciencia y tecnología).

Por su parte, se asume que la disminución de la calidad ambiental (pérdida de eficiencia), se relaciona con el aumento de la actividad extractiva, expresada como aumento el aumento de la inversión productiva y las exportaciones, lo cual se relaciona de forma inversa con la ecoeficiencia, la Figura 4 muestra esta relación.

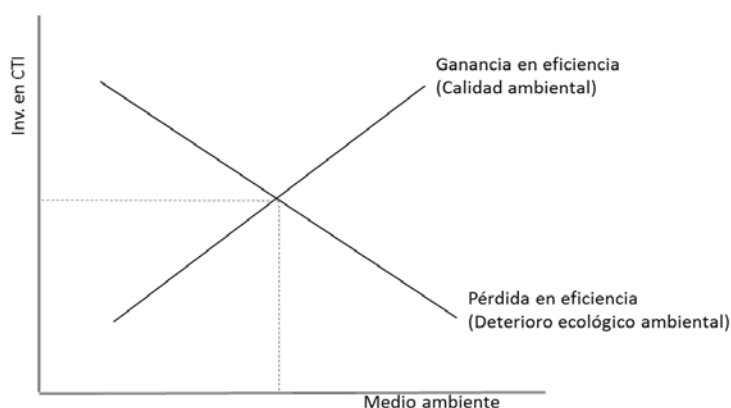


Figura 4. Ganancia y pérdida eficiencia ambiental

Formalmente los enunciados anteriores se pueden expresar como se observa en las ecuaciones (7) y (8).

$$GE = f(inv, or) \quad (7)$$

$$PE = f(inv, ex) \quad (8)$$

Donde:

inv: inversiones

or: proporción de IED y regalías

Donde:

inv: inversiones productivas

ex: exportaciones destinadas a CTI

A su vez, las variables dependientes están esta relacionadas con otros determinantes como se muestra en las ecuaciones (9) a (12).

$$inv = \beta_0 + \beta_1 invcti + \beta_2 or \quad (9)$$

$$inv = \alpha_0 + \alpha_1 invtotal + \alpha_2 ex \quad (11)$$

$$or = \beta_3 + \beta_4 rcf + \beta_5 ied \quad (10)$$

$$ex = \alpha_3 + \alpha_4 prod + \alpha_5 pc \quad (12)$$

Donde:

invcti: inversiones en CTI

rcf: proporción de regalías para CTI

ied: proporción de IED destinada a CTI

Donde:

invtotal: proporción de la inversión total

prod: producción de combustibles fósiles

pc: precio de los combustibles fósiles

La ecuación (7) refleja la ganancia en eficiencia ambiental (que funciona como variable proxy de la ecoinnovación), la cual depende como se mencionó de la inversión en CTI y otras fuentes de financiación (IED y regalías), es decir que un aumento en las fuentes de financiación aumenta la ecoinnovación, por lo tanto, aumenta la ganancia o eficiencia ambiental. Por su parte, la ecuación (8) refleja la pérdida en eficiencia ambiental (que funciona como proxy de la baja ecoeficiencia) y depende de la inversión productiva y las exportaciones, es decir, que un aumento de la producción o exportaciones disminuye la ecoeficiencia, por lo tanto, aumenta la pérdida ambiental.

Las ecuaciones (9) a (12) presentan las relaciones funcionales de las variables independientes. Y todas las ecuaciones forman un sistema de ecuaciones simultáneas en el cual la relación causa-efecto se establece a partir de la relación entre las variables dependientes y las independientes, de las cuales algunas están determinadas de forma simultánea por la variable dependiente⁹.

Debido a lo anterior, el método apropiado para modelar dichas relaciones son los Modelos de Ecuaciones Simultáneas. A continuación, se presenta la derivación del sistema de ecuaciones y los resultados encontrados. Igualando las ecuaciones (7) y (8) del sistema se tiene las expresiones reflejadas en las ecuaciones (13) y (14).

$$GE = PE \quad (13)$$

$$inv, or = inv, ex \quad (14)$$

Sustituyendo la ecuación (10) en (9) y la ecuación resultante reemplazándola en la ecuación (7), se obtiene la ecuación (15).

$$GE = \beta_0 + \beta_1 invcti + \beta_2 (\beta_3 + \beta_4 rcf + \beta_5 ied) \quad (15)$$

Realizando el mismo procedimiento con las ecuaciones (11), (12) y (8) se obtiene la ecuación (16).

$$PE = \alpha_0 + \alpha_1 invtotal + \alpha_2 (\alpha_3 + \alpha_4 prod + \alpha_5 pc) \quad (16)$$

⁹ Esta interrelación entre variables explicativas y explicadas puede generar sesgos en los parámetros, por lo que la literatura especializada recomienda reducir el conjunto de variables que se determinen simultáneamente mediante el conjunto restante de variables, lo que le da el nombre de modelos de ecuaciones simultáneas. En estos modelos normalmente hay una ecuación para cada una de las variables mutuamente o conjuntamente dependientes, de nominadas variables endógenas (Gujarati y Porter, 2010).

Igualando las ecuaciones (15) y (16) se obtiene 3l sistema de ecuaciones estructural del modelo¹⁰, a partir de la cual se pueden estimar los parámetros de interés (ecuaciones estructurales) con el fin de establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en 3l sector productivo de combustibles fósiles. El procedimiento se detalla a continuación en las ecuaciones (17) a (23), donde las ecuaciones estructurales están dadas por las ecuaciones (17) a (20).

$$\beta_0 + \beta_1 inv + \beta_2 \beta_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied = \alpha_0 + \alpha_1 inv + \alpha_2 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_4 prod + \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (17)$$

$$\alpha_1 inv - \beta_1 inv = \beta_0 + \beta_2 \beta_3 - \alpha_0 - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (18)$$

$$inv(\alpha_1 - \beta_1) = \beta_0 + \beta_2 \beta_3 - \alpha_0 - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (19)$$

$$inv = \frac{\beta_0 + \beta_2 \beta_3 - \alpha_0 - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc}{(\alpha_1 - \beta_1)} \quad (20)$$

A partir de la ecuación (20) se puede establecer la ecuación (21) reducida¹¹.

$$RAm_t = \Pi_0 + \Pi_1 inv_t + \varepsilon_t \quad (21)$$

En donde el término de la constante Π_0 se representa en la ecuación (22) y el término de la pendiente se representa en la ecuación (23). Además, ε es el término de perturbación estocástico.

$$\Pi_0 = \frac{\beta_0 + \beta_2 \beta_3 - \alpha_0 - \alpha_2 \alpha_3}{(\alpha_1 - \beta_1)} \quad (22)$$

$$\Pi_1 = \left[\frac{\beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc}{(\alpha_1 - \beta_1)} \right] \cdot inv \quad (23)$$

El sistema que se acaba de describir se modeló utilizando el estimador de Mínimos Cuadrados en tres etapas (MC3E) que resulta más eficiente al realizar las estimaciones por pasos progresivos e incluir variables instrumentales para corregir los posibles sesgos de estimación¹².

Siguiendo lo descrito en el planteamiento metodológico, se realizan varias estimaciones utilizando distintas medidas para dar mayor soporte a los resultados y comprobar la estabilidad y robustez del modelo, los resultados se presentan en las Tablas 3 a 5¹³.

Tabla 3. Modelo 1 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNVACIÓN-1				
Estimation Method: Three-Stage Least Squares				
Sample: 1995 2010				
Included observations: 13				
Total system (balanced) observations 26				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-4.726013	4.598765	-1.027670	0.3177
C(2)	-2.37E-06	9.61E-07	-2.465686	0.0240
C(3)	0.124139	0.061903	2.005373	0.0602
C(4)	0.704859	0.252464	2.791916	0.0120
C(5)	1932566.	799389.2	2.417553	0.0408
C(6)	-191435.6	82355.6	-2.324500	0.0536
C(7)	235061.6	201219.3	2.568186	0.0580
C(8)	-109283.8	45074.1	-2.424536	0.1185
Determinant residual covariance		1.69E+08		
Equation: inv = C(1) + C(2)*ted + C(3)*ied + C(4)*regal				
Instruments: C ied ied(-1) regal ex				
Observations: 13				

¹⁰ Para una revisión detallada de la metodología de modelos de ecuaciones simultáneas consultar a Gujarati y Porter (2010), Greene (2003) y Wooldridge (2006).

¹¹ En la ecuación en forma reducida se expresa la variable endógena en términos de las variables predeterminadas y las perturbaciones estocásticas ε .

¹² También se realizaron las pruebas correspondientes de identificación: condición de orden y condición de rango. La modelación se realizó utilizando el software Eviews 8.1.

¹³ Las variables se utilizan en logaritmo natural.

R-squared	0.605064	Mean dependent var	8.718624
Adjusted R-squared	0.473419	S.D. dependent var	0.328151
S.E. of regression	0.238126	Sum squared resid	0.510335
Durbin-Watson stat	1.936521		
Equation: $ted = C(5) + C(6)*inv + C(7)*ied(-1) + C(8)*ex$			
Instruments: C ied ied(-1) regal ex			
Observations: 13			
R-squared	0.915007	Mean dependent var	725392.6
Adjusted R-squared	0.886676	S.D. dependent var	237811.5
S.E. of regression	80056.01	Sum squared resid	5.77E+10
Durbin-Watson stat	1.736638		

Prueba de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.4321.

C(1) y C(5) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es la extracción total de materiales y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): es la IED en el sector de combustibles fósiles

C(4): son las regalías en combustibles fósiles

C(6): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(7): es la IED en el sector de combustibles fósiles rezagada un período

C(8): son las exportaciones de combustibles fósiles

El modelo anterior soluciona el sistema de ecuaciones (7) a (12), y presenta los resultados para las ecuaciones principales de forma individual, es decir para *GE* y *PE*, que representan la ecoinnovación y la ecoeficiencia respectivamente, expresadas como la ganancia en eficiencia ambiental y la pérdida en eficiencia ambiental; en el primer caso *GE* se interpreta como mejoras en la calidad ambiental debida a una menor utilización de recursos o un menor impacto ambiental por la reducción de emisiones de contaminantes del sector combustibles fósiles. Formalmente la ecuación de ecoinnovación se escribe como en la ecuación (24) y las estimaciones de los parámetros se presentan en la ecuación (25).

$$GE = \beta_1 + \beta_2 ted + \beta_3 ied + \beta_4 regal + \varepsilon_1 \quad (24)$$

$$GE = -4.726013 - 2.37e - 06ted + 0.124139ied + 0.704859regal \quad (25)$$

Los estimadores *ted*, *ied* y *regal* son significativos al 5%, es decir que la extracción total de materiales (usados y no usados) en combustibles fósiles (*ted*), la inversión extranjera directa en combustibles fósiles (*ied*) y las regalías en combustibles fósiles (*regal*) tienen un efecto o influencia en la variable dependiente *GE* expresada con la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI, la cual se interpreta como procesos ecoinnovadores en combustibles fósiles. Así mismo los coeficientes presentan el signo esperado *a priori*, es decir, una mayor disponibilidad de recursos por inversión extranjera directa (IED) y/o regalías se traduce en mayor financiación para proyectos de ecoinnovación (signo positivo de los dos estimadores), mientras que un aumento de la extracción de materiales se traduciría en una disminución de las capacidades de ecoinnovación (signo negativo en *ted*). Los resultados puntuales de los coeficientes de las variables independientes indican el cambio porcentual promedio en la variable dependiente (ecoinnovación). Por otra parte, para esta ecuación individual se presenta un ajuste aceptable $R^2=0.60$, y el estadístico de Durbin-Watson de 1.936521 indicada ausencia de autocorrelación (DW cercano a 2), lo cual valida los resultados del modelo.

En el caso de *PE* se interpreta como la pérdida en la calidad o rendimiento ambiental debido a una mayor utilización de recursos y/o mayores impactos ambientales por el aumento de emisiones de contaminantes del sector combustibles fósiles. Formalmente la ecuación de ecoeficiencia se escribe como en la ecuación (26) y las estimaciones de los parámetros se presentan en la ecuación (27).

$$PE = \alpha_1 + \alpha_2 inv + \alpha_3 ied + \alpha_4 ex + \varepsilon_2 \quad (26)$$

$$PE = 1932566 - 191435.6inv + 235061.6ied - 109283.8rex \quad (27)$$

Los estimadores *inv* e *ied* son significativos al 10%, salvo *ex* que resultó significativa solo al 12%, en términos generales la inversión, la IED y las exportaciones en combustibles fósiles tienen un efecto sobre la variable dependiente *PE* expresada con la extracción doméstica total de combustibles fósiles, la cual se interpreta como procesos de ecoeficiencia en combustibles fósiles. Del mismo modo, los coeficientes presentan el signo esperado *a priori*, es decir que una mayor tasa de extracción de recursos disminuye la eficiencia

material (signo negativo), una mayor disponibilidad de recursos por IED se traduce en mayores procesos de ecoeficiencia (signo positivo), y a mayores exportaciones disminuye la eficiencia material (signo negativo). Los resultados puntuales de los coeficientes de las variables independientes indican el cambio porcentual promedio en la variable dependiente (ecoeficiencia). Finalmente, para esta ecuación individual se presenta un buen ajuste $R^2=0.915007$, y el estadístico de Durbin-Watson de 1.736638 indicada ausencia de autocorrelación (DW cercano a 2), lo cual valida los resultados del modelo.

Las Tablas 4 y 5 presentan otros dos modelos que en línea general presentan resultados similares a los descritos anteriormente. El modelo de la Tabla 4 realiza una modificación en la ecuación de ecoeficiencia para probar la sensibilidad ante un cambio en una de las variables explicativas y el modelo de la Tabla 5 reemplaza la variable extracción doméstica de materiales en combustibles fósiles por el input directo de materiales en los combustibles fósiles, como una medida alternativa de la ecoeficiencia en el sector, con el mismo propósito de probar la sensibilidad ante cambios en la especificación del modelo.

Tabla 4. Modelo 2 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNOVACIÓN-2				
Estimation Method: Three-Stage Least Squares				
Sample: 1995 2010				
Included observations: 13				
Total system (balanced) observations 26				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-2.364801	3.688031	-0.641210	0.5290
C(2)	-2.18E-06	8.19E-07	-2.658311	0.0155
C(3)	0.169833	0.058454	2.905413	0.0091
C(4)	0.565211	0.203228	2.781166	0.0119
C(5)	-9174639.	944665.0	-9.712056	0.0000
C(6)	296228.1	83560.52	3.545073	0.0022
C(7)	663953.4	75688.45	8.772188	0.0000
Determinant residual covariance		42719076		
Equation: inv = C(1) + C(2)*ted + C(3)*ied + C(4)*regal				
Instruments: C ied ied(-1) regal ex				
Observations: 13				
R-squared	0.562707	Mean dependent var		8.718624
Adjusted R-squared	0.416943	S.D. dependent var		0.328151
S.E. of regression	0.250570	Sum squared resid		0.565069
Durbin-Watson stat	2.008017			
Equation: ted = C(5) + C(6)*inv + C(7)*ex				
Instruments: C ied ied(-1) regal ex				
Observations: 13				
R-squared	0.813350	Mean dependent var		725392.6
Adjusted R-squared	0.776020	S.D. dependent var		237811.5
S.E. of regression	112547.9	Sum squared resid		1.27E+11
Durbin-Watson stat	1.678134			

Prueba de normalidad de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.1472.

C(1) y C(5) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es la extracción total de materiales y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): es la IED en el sector de combustibles fósiles

C(4): son las regalías en combustibles fósiles

C(6): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(7): son las exportaciones de combustibles fósiles

Tabla 5. Modelo 3 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNVACIÓN-3				
Estimation Method: Three-Stage Least Squares				
Sample: 1995 2010				
Included observations: 13				
Total system (balanced) observations 26				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	14.75733	5.352896	2.756887	0.0122

C(2)	-1.712351	0.811516	-2.110063	0.0476
C(3)	0.664989	0.224159	2.966594	0.0076
C(4)	2.721980	0.493023	5.520995	0.0000
C(5)	0.159979	0.045214	3.538274	0.0021
C(6)	0.659943	0.038652	17.07376	0.0000
Determinant residual covariance		3.46E-05		
Equation: inv = C(1) + C(2)*idm + C(3)*regal				
Instruments: C ied ied(-1) regal ex				
Observations: 13				
R-squared	0.421626	Mean dependent var		8.718624
Adjusted R-squared	0.305951	S.D. dependent var		0.328151
S.E. of regression	0.273381	Sum squared resid		0.747374
Durbin-Watson stat	1.731614			
Equation: idm = C(4) +C(5)*inv + C(8)*ex				
Instruments: C ied ied(-1) regal ex				
Observations: 13				
R-squared	0.951786	Mean dependent var		11.38991
Adjusted R-squared	0.942143	S.D. dependent var		0.220890
S.E. of regression	0.053132	Sum squared resid		0.028230
Durbin-Watson stat	2.405433			

Prueba de normalidad de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.2510.

C(1) y C(4) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es el Input Directo de Materiales (IDM) de combustibles fósiles y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): son las regalías en combustibles fósiles

C(5): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(6): son las exportaciones de combustibles fósiles es la IED en el sector de combustibles fósiles

En los tres modelos los estadísticos de R^2 indican buen ajuste de los modelos (salvo en la ecuación de ecoinnovación de la Tabla 5), y el estadístico de Durbin-Watson en todos los casos indica la ausencia de autocorrelación. Además, para todos los modelos los coeficientes resultaron significativos. Como hecho significativo se resalta que las ecuaciones de ecoinnovación conservan la estabilidad de los signos en los tres modelos a pesar de los cambios en las ecuaciones estructurales de la ecoeficiencia. Mientras que en el caso de la ecuación de ecoeficiencia se presentó un cambio de signo en los coeficientes de la inversión y exportaciones; en el primer modelo se obtuvieron resultados negativos como se establecieron *a priori*, puesto que a mayores inversiones y/o exportaciones de combustibles fósiles se espera una menor eficiencia de los recursos (menor ecoeficiencia), sin embargo, en dos siguientes modelos estos coeficientes presentaron un signo positivo, lo cual es inconsistente con el supuesto establecido. Aunque esto no invalida los resultados generales de los modelos, si deben prestarse atención en la forma de interpretar los resultados para las ecuaciones de ecoeficiencia.

Por otra parte, los resultados del modelo presentado en la Tabla 4, siguen la misma línea de interpretación que en el caso anterior puesto que se utilizan las mismas variables endógenas (inversiones en CTI y extracción doméstica total en combustibles fósiles). En cuanto al modelo de la Tabla 5 si presenta una modificación puesto que en este caso se utiliza el IDM en combustibles fósiles; la ecuación de ecoinnovación se expresa como se aprecia en las ecuaciones (28) y (29).

$$GE = \beta_1 + \beta_2 idm + \beta_3 + \varepsilon_3 \quad (28)$$

$$GE = 14.75733 - 1.712351 idm + 0.6649899 regal \quad (29)$$

En este caso el input directo de materiales en combustibles fósiles influye de manera negativa sobre el rendimiento ambiental, mientras que la proporción de regalías destinadas a la financiación de proyectos en I+D+i en combustibles fósiles incrementa la eficiencia o rendimiento ambiental, es decir, que el IMD se relaciona inversamente con los procesos de ecoinnovación, e I+D+i se relaciona de forma positiva.

Aunque los resultados expuestos no son definitivos o no se pueden entender como conclusivos en un sentido amplio, si son válidos para establecer la relación entre la ecoinnovación y la ecoeficiencia en el sector de los recursos naturales energéticos de origen fósil, y sirven de soporte para argumentar la premisa de que una asignación eficiente de la inversión y la buena gobernanza sobre los recursos naturales energéticos contribuye significativamente al despliegue de procesos de ecoinnovación que permitan dar un

salto cualitativo en el modelo de desarrollo de Colombia, que, aunque sigue basándose en el extractivismo de recursos, al incorporar mecanismos de ecoinnovación y ecoeficiencia se puede revertir la tendencia actual de bajo o nulo desacoplamiento de recursos e impactos, dicho de otro modo, se contribuye al logro de un desarrollo ambientalmente más sostenible, como se puede observar en la Figura 5.

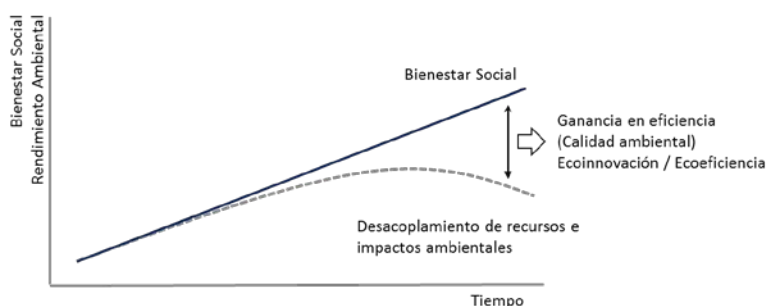


Figura 5. Esquema conceptual de desacoplamiento basado en ecoinnovación

Finalmente aunque este análisis se realizó en el nivel meso (sectorial), los resultados son consistente con otras investigaciones que exploran los mecanismos de ecoinnovación en el nivel micro (empresa), como por ejemplo las investigaciones de Cai y Zhou (2014), Cuerva et al. (2014), Horbach (2008), Yu et al. (2013) y Santamaría et al. (2009). Los resultados también son consistentes con otras investigaciones en ecoeficiencia, como las de Brennan y Palmer (2013), Costa et al., (2015), Guenster et al. (2011), Helminen (2000) y Lucato et al. (2013).

4. CONCLUSIONES

La ecoinnovación y ecoeficiencia aunque contribuyen al desacoplamiento de impactos y recursos, no obstante estos criterios se encuentran en un estado poco desarrollado o en un grado incipiente en la industria de las fuentes fósiles. Todos los indicadores relacionados con la ciencia, tecnología e innovación en el sector de energía y mineral presentaron bajos niveles en comparación con otros campos de conocimiento, lo que influye en que el desarrollo de mecanismos de ecoinnovación y ecoeficiencia tengan un bajo rendimiento.

Las ganancias en ecoinnovación y ecoeficiencia deben gestionarse adecuadamente para no generar efectos Efecto rebote. El diseño mecanismos de control y una política adecuada de la gestión de los recursos energéticos puede contribuir no solo a que se obtengan ganancias en el rendimiento ambiental derivadas de procesos ecoinnovadores, sino que además, pueden contribuir a identificar de forma temprana los posibles riesgos por el efecto rebote, es decir, a pesar de generar procesos ecoinnovadores que reduzcan los impactos, el aumento en el consumo de los recursos puede soslayar las ganancias en eficiencia por lo que el acompañamiento de políticas de producción y consumo son igualmente necesarias.

La inclusión de los criterios de ecoinnovación y ecoeficiencia son necesarios para el diseño de una política de desarrollo sostenibles. El principal mecanismo articulador de la ecoinnovación y la ecoeficiencia es la asignación eficiente de los recursos para inversión en ciencia tecnología e innovación (CTI). Por lo que la gestión pública en la obtención y distribución de recursos debe fortalecerse, además, debe involucrarse a los actores privados en los programas de financiación de CTI.

Agradecimientos

Presentamos un especial agradecimiento a la Universidad de La Salle por su apoyo y financiación en el desarrollo de la investigación *Recursos Naturales Energéticos y Desarrollo Sostenible*, que condujo a la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R. y Howitt, P. (2005). Competition and Innovation: An Inverted-U Relationship. *Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 701-728.

- Andersen, M. (2010). *Opening Up Innovation: Strategy, Organization and Technology*. Paper presented at the On the Faces and Phases of Eco-innovation-on the Dynamics of the Greening of the Economy, Imperial College. En Summer Conference 2010.
- Arundel, A. y Kemp, R. (2009). Measuring eco-innovation. Maastricht: UNU-MERIT.
- Benavente, J. M. (2005). Investigación y desarrollo, innovación y productividad: un análisis econométrico a nivel de la firma. *Estudios de Economía*, 32(1), 39-67.
- Bleischwitz, R., Giljum, S., Kuhndt, M. y Schmidt-Bleek, F. (2009). *Eco-innovation – Putting the EU on the path to a resource and energy efficient economy*. Germany: Wuppertal.
- Brennan, T. J. y Palmer, K. L. (2013). Energy efficiency resource standards: Economics and policy. *Utilities Policy*, 25(0), 58-68.
- Bretschger, L., y Zurich, E. (2010). Sustainability Economics, Resource Efficiency, and the Green New Deal. *International Economics of Resource Efficiency*, 7(2-3), 187-202.
- Cai, W.-g., y Zhou, X.-l. (2014). On the drivers of eco-innovation: empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 79(0), 239-248.
- Carmona, A. M. (1992). *Economía e innovación*. Madrid: Prensa y Ediciones Iberoamericanas.
- Cornell University, INSEAD y WIPO. (2014). The Global Innovation Index 2014: The Human Factor In innovation. Fontainebleau: Cornell University, INSEAD, World Intellectual Property Organization (WIPO).
- Costa-Campi, M. T., García-Quevedo, J., y Segarra, A. (2015). Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms. *Energy Policy*, 83, 229-239.
- Cuerva, M. C., Triguero-Cano, Á., y Córcoles, D. (2014). Drivers of green and non-green innovation: empirical evidence in Low-Tech SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 68(0), 104-113.
- DeSimone, L. D., y Popoff, F. (2000). *Eco-efficiency: the business link to sustainable development*. Cambridge: MIT press.
- Dosi, G. (1992). Fuentes, métodos y efectos microeconómicos de la innovación. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 22, 269-332.
- Greene, W. (2003). *Econometric analysis*. Boston: Pearson Education
- Guenster, N., Bauer, R., Derwall, J., y Koedijk, K. (2011). The Economic Value of Corporate Eco-efficiency. *European Financial Management*, 17(4), 679-704.
- Gujarati, D., y Porter, D. C. (2010). *Econometría* (P. Carril, Trans. 5a. ed.). México: MacGraw-Hill.
- Helminen, R.-R. (2000). Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of the Finnish and Swedish pulp and paper industry. *Business Strategy y the Environment (John Wiley y Sons, Inc)*, 9(3), 196-210.
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163-173.
- Huber, J. (2005). Key Environmental Innovations.
- Kemp, R. (2010). Eco-Innovation: definition, measurement and open research issues. *Economía política*, 27(3), 397-420.
- Kemp, R., y Pearson, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. OCDE.
- Lucato, W., Júnior, M., y da Silva, J. (2013). Measuring the ecoefficiency of a manufacturing process: a conceptual proposal. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(6), 755-770.
- OCyT. (2013). Indicadores de ciencia y tecnología Colombia 2013. Bogotá: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.
- OCyT. (2014). Indicadores de ciencia y tecnología 2014 (pp. 206). Bogotá: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.
- OECD. (2011). Hacia un mecanismo para el diálogo de políticas de innovación: Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe. OECD.
- OECD. (2014a). *OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014*. OECD Publishing.
- OECD. (2014b). *Perspectivas de la OCDE sobre ciencia, tecnología e industria 2014 (Version abreviada)*. OECD Publishing.
- Olaya, A. (2008). Economía de la innovación y del cambio técnico: una aproximación teórica desde el pensamiento chumpeteriano. *Revista Ciencias Estratégicas*, 16, 20.
- Reid, A., y Miedzinski, M. (2008). Sectoral Innovation Watch in Europe-Eco-Innovation *Europe Innova*. Brussels: Europe Innova.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319-332.
- Santamaría, L., Nieto, M. J., y Barge-Gil, A. (2009). Beyond formal Ryamp;D: Taking advantage of other sources of innovation in low- and medium-technology industries. *Research Policy*, 38(3), 507-517.
- WEF. (2014). The Global Competitiveness Report 2014–2015. Geneva: World Economic Forum.
- Wooldridge, J. M. (2006). *Introducción a la econometría: un enfoque moderno*. Madrid: Thomson.
- Yu, Y., Chen, D., Zhu, B., y Hu, S. (2013). Eco-efficiency trends in China, 1978–2010: Decoupling environmental pressure from economic growth. *Ecological Indicators*, 24(0), 177-184.

Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad, ed. 1

Este libro contiene una serie de capítulos en los que se presenta y se analiza el trabajo transdisciplinar desde una visión de la ciencia como bien público, no político ni militar. Los autores desarrollan una concepción apartada de la comercialización irreflexiva del conocimiento, con base en una propuesta para desarrollar ciencia transdisciplinar socialmente robusta, con la idea de materializar la visión sistémica del desarrollo y la supervivencia de la humanidad. El lector encontrará experiencias de procesos de aprendizaje mutuo entre ciencia y sociedad y, para comprender mejor la necesidad de cambiar los antiguos modelos de la investigación disciplinar, se plantea nuevas formas de colaboración ciencia-práctica y se llama la atención acerca del peligro que conlleva la comercialización indiscriminada de los resultados de la investigación.

A una sola voz los autores convocan al raciocinio para recuperar la libertad de la investigación y a compartir los recursos necesarios para la producción de conocimientos básicos generalizados y revolucionarios, que le brinden a la sociedad las herramientas para enfrentar los problemas complejos con los que convive en este siglo. Se necesita estructurar procesos transdisciplinarios abiertos dirigidos a mantener la viabilidad de todos los sistemas humanos y ambientales que cohabitan en el Planeta. Hay que dejar de lado la eterna lucha por el poder y la dominación, porque si seguimos así, *dentro de poco no habrá a quien dominar y, mucho menos, qué habitar.*

