

Sistema experto basado en reglas para la generación de horarios académicos del Tecnológico de Teziutlán

M.A. Aguilar Cortés¹, J.L. Gutiérrez García¹, H. Hernández Rodríguez¹, J. Robles Calderón², M. Aguilar Cortés³

¹Cuerpo Académico Desarrollo de Sistemas Inteligentes, Academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73960 Teziutlán, Puebla México

²Cuerpo Académico Calidad y Mejora Continua en Servicios Tecnológicos, Academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73960 Teziutlán, Puebla México

³Academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73960 Teziutlán, Puebla México
*marco.ac@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

El objetivo de esta investigación es implementar un sistema experto basado en reglas a través de una plataforma web que permita la generación automática de horarios académicos de las diferentes carreras que ofrece el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Se utilizó un enfoque cuantitativo longitudinal. Se seleccionó una muestra del 50% de jefes de carrera debido a las restricciones provocadas por la pandemia del Covid-19, aplicando instrumentos como entrevistas y observación para recolectar datos. La información obtenida se procesó en el software IBM SPSS Statistics 25 mediante una prueba t de Student de muestras relacionadas para medir los resultados antes y después de la implementación de la propuesta. Los resultados muestran una diferencia significativa entre el proceso manual y el proceso automático que, dependiendo de la cantidad de grupos que se oferten, puede llevar desde unos segundos a minutos, lo que representa una mejora superior al 90%.

Palabras clave: Sistema experto, horarios académicos

Abstract

The aim of this research is to implement a rule-based expert system through a web platform that allows the automatic generation of academic schedules of the different careers offered by the Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. A longitudinal quantitative approach was used. A sample of 50% career managers was selected due to restrictions caused by the covid-19 pandemic, applying instruments such as interviews and observation to collect data. The information obtained was processed in the IBM SPSS Statistics 25 software through a Student's t-test of related samples to measure the results before and after the implementation of the proposal. The results show a significant difference between the manual process and the automatic process that, depending on the number of groups that are offered, can take from a few seconds to minutes, representing an improvement greater than 90%.

Key words: Expert system, academic schedules

Introducción

En el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán se ofertan seis ingenierías diferentes: Informática, Sistemas, Gestión Empresarial, Mecatrónica, Industrias alimentarias e Industrial. Cada semestre se lleva a cabo el proceso de planeación académica y asignación de horarios donde se indica que docente impartirá cada materia, en que horario y en que aula será. Desafortunadamente, este

proceso es muy complicado para llevarlo a cabo de manera manual. Los jefes de carrera manifestaron que han tenido la experiencia de llevarse más de 20 horas en realizar el proceso de asignación de horarios. Existen algunos estudios que han tratado de dar solución a esta problemática. Por ejemplo, Moreno y Sánchez [1] ha realizado un comparativa entre diferentes algoritmos que apoyan el proceso de asignación de horarios, sin embargo, concluye que todos los tendrán una determinada complejidad por las limitaciones que se apliquen. En lo que concierne a la utilización de algoritmos evolutivos algunos establecen el tamaño de la población para generar las tasas de mutación y cruzamiento [2], otros utilizan tecnología de paso de mensajes (MPI) con una arquitectura de cómputo tipo Beowulf [3] y otros más seleccionan al azar a un docente que representa un gen en un horario suave y compactado [4], sin embargo, entre más restricciones tiene, más complicado se vuelve el proceso de asignación de horarios. Por otra parte, Canseco [5] propone aplicar programación lineal a través de un modelo matemático con el uso del programa LINGO que permite la calendarización de horarios, solo que genera pruebas en un horario continuo de 7 a 14 horas. Capetillo [6] hace uso de la metodología CommonKADS que genera una base del conocimiento estructurada en tres módulos: generales, académicos y laborales, solo que no tiene interfaz gráfica. Continuando con las investigaciones, López [7] realiza un proceso a través de herramientas CASE, desafortunadamente aún no hay resultados exactos. Durán y Faillance [8] implementan una heurística que divide el problema en etapas que combinan la programación lineal y el algoritmo de Stochastic Hill-Climbing. Los resultados mejoran un alto porcentaje a comparación de los años pasados, pero se considera que puede mejorar más. Con respecto a los sistemas expertos, Calle [9] utilizó una propuesta web dividido en capas: interfaz, soporte para la toma de decisiones y capa de servicios que implementa minería de datos. Los resultados muestran una gran efectividad pues tanto los docentes como las materias y horarios evitaron cruces que vayan en contra de las restricciones. Esto ayuda mucho a la institución siempre y cuando no haya más reglas que eviten la correcta asignación de horarios. Existe otro proyecto de Ramos [10] que realiza un sistema de información, pero no muestra cual es el tiempo que se llevó en realizar la asignación. La mayor parte de las investigaciones son una herramienta que ayuda a la institución a generar los horarios, pero ninguna podría ser adaptada a las necesidades del Tecnológico de Teziutlán.

En este trabajo se propone una herramienta tecnológica que permita generar horarios académicos para las asignaturas de las diferentes carreras que oferta el Tecnológico de Teziutlán. El software desarrollado se basa principalmente en un sistema experto basado en reglas que toma en cuenta las restricciones internas y externas a la institución. Para complementar el sistema, se integraron otros módulos que coadyuvan a los procesos de toma de materias (precarga) y la inscripción.

Metodología

El enfoque de se utilizó para esta investigación fue de tipo cuantitativo por ser un proceso sistemático y ordenado que se lleva a cabo siguiendo determinados pasos [11]. Así mismo, se utiliza para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico con el fin de realizar pruebas y probar teorías [12].

Población y muestra

La población está conformada por los seis jefes de carrera que tiene que realizar la tarea de asignar horarios de todos los grupos. Como muestra se eligieron únicamente a tres jefes de carrera para poder realizar las pruebas correspondientes debido al número de grupos que se tienen que manejar. En una entrevista, los encargados explicaron todo el proceso que se realiza para poder asignar los horarios. Aunque la muestra es muy pequeña, la cantidad de grupos que tiene cada carrera es un dato muy importante para poder realizar las pruebas, así como el tiempo que se emplea para poder registrar los horarios académicos por las restricciones que se deben tomar en cuenta en cada docente.

Diseño de la investigación

El diseño que se seleccionó para la investigación es longitudinal debido a que son estudios que recaban información en diferentes puntos del tiempo para poder analizar las causas y efectos de un

fenómeno o investigación. Con este tipo de diseño se llevará a cabo las diferentes mediciones que corresponden a la variable tiempo antes (asignación de manera manual) y después de haber realizado la generación de horarios automáticos a través del sistema experto basado en reglas.

Selección de las pruebas estadísticas

Para poder seleccionar la prueba estadística, se tiene que tomar en cuenta diferentes aspectos, los objetivos de estudio, las variables, distribución y el tipo de muestra. Partiendo de los objetivos de estudio que es la comparación de dos tiempos, se seleccionó la prueba T Student para muestras relacionadas. Se utilizó el software IBM SPSS Statistics para procesar la información obtenida, interpretar los datos y finalmente, analizar si dicho sistema cuenta cumple con el objetivo principal que es reducir los tiempos a la hora de asignar los horarios académicos de manera automática.

Sistema experto basado en reglas

Un sistema experto basado en reglas es considerado como software o hardware que está conformado por una base del conocimiento y se apoya en un conjunto de reglas que permite tomar decisiones consistentes e irrepetibles a través de un motor de inferencia que obtiene conclusiones aplicando lógica a dichas reglas [13]. Los componentes básicos que conforman la arquitectura básica del sistema experto basado en reglas son: la base del conocimiento que es conformado por las reglas del tipo si - entonces (if-then) junto con los datos persistentes, mecanismo o motor de inferencia quien se encarga de utilizar diferentes estrategias de razonamiento para la toma de decisiones, base de hechos que se conforma por la información utilizada por las reglas e interfaz de usuario donde se lleva a cabo la entrada y salida de la información [14]. Un punto importante por mencionar que el módulo de explicación y el módulo de adquisición del conocimiento pueden ser componentes opcionales dentro del sistema experto.

Se puede definir a los usuarios como a los jefes de carrera, al experto como la persona que conoce todo el proceso académico así como las restricciones. En algunos casos, también se toma al jefe de carrera como experto por su conocimiento y por la experiencia que tiene en llevar a cabo el proceso de asignación de horarios. En la base de conocimientos se encuentra definidos los procesos que se deben tomar en cuenta a la hora de asignar los horarios como la hora de entrada y salida del docente, día de descanso, si es tiempo completo, si imparte clases en otra academia, si tiene clases en otra aula, si el aula esta utilizada, entre otros. El motor de inferencia será el encargado de llevar a cabo la asignación del horario tomando en cuenta todas esas restricciones desde la base de datos.

Reglas establecidas para el sistema experto

Toda la información que se debe obtener para procesar la información se encuentra almacenada en un servidor donde se encuentra SQL Server 2016 como manejador de base de datos. En la siguiente tabla se muestra el resumen de lo que hay en las tablas y sus posibles valores.

Tabla 1. Definición de objetos con sus posibles valores

Objeto	Conjunto de posibles valores
Hora de entrada	{ 07:00 – 17:00 }
Hora de salida	{ 08:00 – 18:00 }
Día de descanso	{ 1,2,3,4,5,6 }
Hora de comida	{ 11:00 – 16:00 }
Tiempo completo	{ true, false }
Clases en otra academia	{ true, false }
Aula	{ Ocupada, Desocupada }
Tiene otra clase	{ true, false }
Horario	{ Asignado, No Asignado }
Número de horas del grupo	{ 4, 5, 6 }
No. De Horas laborales	{ 1,2,3,4,5,6,7,8 }
Máximo de horas clase por grupo	{ 1, 2, 3 }
Respetar Horarios	{ true, false }

A partir de la información presentada, se muestran las reglas que se deben el motor de inferencia para asignar los horarios

Tabla 2. Reglas definidas en el sistema experto para asignación de horarios

Regla No. 1			Regla	Instrucción	Expresión	Asignación
Instrucción	Expresión booleana	Operador				
Si	Hora de Entrada <= Hora Actual	&&	Regla 2		Hora de Entrada > Hora Actual	Entonces
	Hora de Salida > Hora Actual	&&	Regla 3		Hora de Salida <= Hora Actual	
	Día de Descanso ≠ Día Actual	&&	Regla 4		Día de Descanso = Día Actual	
	Aula = "Desocupada"	&&	Regla 5		Aula = "Ocupada"	
	Tiene Clase Mismo Horario = false	&&	Regla 6		Tiene Clase Mismo Horario = true	
	Hora de Comida ≠ Hora Actual	&&	Regla 7		Hora de Comida = Hora Actual	
	No. Horas Asignadas Grupo < Total Horas Grupo	&&	Regla 8	Si	No. Horas Asignadas Grupo = Total Horas Grupo	
	Horas Asignadas < Max(Horas Laborales)	&&	Regla 9		Horas Asignadas >= Max(Horas Laborales)	
	Número de Horas Asignadas al Grupo < Max(Horas Clase Grupo Día)	&&	Regla 10		Número de Horas Asignadas al Grupo >= Max(Horas Clase Grupo Día)	
	Horario = Asignado		Regla 11		Tiempo Completo = true	

Plataforma web

El sistema experto se integró en una plataforma web con el objetivo de que se ejecutara en una interfaz gráfica, así como de complementar los procesos de asignación de horario manual, asignación de un nuevo grupo, aumentar el número máximo de alumnos, ofertar una materia que no había sido considerada en la planeación y reportes sobre inscripciones. Este sistema se implementó con el IDE de Visual Studio 2019 con tipo de proyecto ASP.NET MVC, motor de vistas Razor, lenguaje de programación C# y programación del lado del cliente en algunas peticiones Ajax. Para dicha plataforma se utilizó la metodología de Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos (O.O.H.D.M.) debido a que, después de haber sido comparada con diferentes metodologías ofrece un marco de trabajo óptimo para el desarrollo de aplicaciones web debido a que brinda optimización entre sus etapas y precisar el modelado de objetos [15]. En la siguiente figura, se describen las etapas y las actividades que se llevaron a cabo en la implementación de la metodología O.O.H.D.M.

Tabla 3 Actividades realizadas por etapa de la metodología O.O.H.D.M.

Etapas	Actividad realizada
Obtención de requerimientos	Se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales de los procesos que complementan las actividades de inscripción (asignación manual, asignación de grupo, reportes, entre otros)
Modelo conceptual	Se representaron los procesos y las actividades de cada uno de los actores del sistema a través de diagramas UML.
Diseño navegacional	Se desarrolló la propuesta de navegación de la aplicación, así como el camino para realizar a la ejecución del sistema experto. También se tomó en cuenta los diferentes caminos para los roles de cada usuario.
Diseño de interfaz abstracta	Se diseñaron las interfaces gráficas de cada una de las páginas que el usuario va a consultar tomando en cuenta conceptos responsivos.
Implementación	Se llevó a cabo la implementación de la aplicación en un servidor web Internet Information Services (IIS) versión 10 en un sistema operativo Windows Server 2016 Datacenter Edition

Resultados y discusión

A continuación, se describen la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

- H_0 = el tiempo de asignación de horarios no tiene una diferencia significativa con la implementación del algoritmo que, con el proceso manual, son relativamente iguales.

- H_1 = el tiempo de asignación de horarios tiene una diferencia significativa con la implementación del sistema experto que con el proceso de asignación manual.

El software SPSS fue el que se utilizó para llevar a cabo el análisis estadístico por tratarse de un programa que lleva a cabo cálculos de estadística descriptiva, estadística inferencial, análisis multivariado y estudio psicométrico de instrumentos siendo uno de los softwares más utilizados a nivel mundial para cumplir con los objetivos planteados [16]. Para la presente investigación, se utilizó una prueba T Student de muestras relacionadas que compara las medias de dos variables de un solo grupo y contrasta si la media difiere de cero [17].

En la tabla número 4, se puede observar los datos de la carrera, el periodo, el número de grupos procesados y el tiempo que se utilizó en el proceso manual y en el proceso automático. Esta información fue procesada en el software SPSS a través de la opción Prueba T con muestras relacionadas para comparar sus medias. La tabla número 5 muestra los resultados que se obtuvieron una vez que se llevó a cabo el análisis de la información.

Tabla 4. Información sobre el número de grupos generados, así como el tiempo generado del proceso manual y el proceso automático

Carrera	Periodo	No. De Grupos	Tiempo en proceso manual (minutos)	Tiempo en proceso automático (minutos)
Carrera 1	Ago – Dic 2019	177	1440	11
Carrera 2	Ago – Dic 2019	103	840	7
Carrera 3	Ago – Dic 2019	40	240	4
Carrera 1	Ene – Jun 2020	151	1228	10
Carrera 2	Ene – Jun 2020	88	717	6
Carrera 3	Ene – Jun 2020	37	222	4

Tabla 5. Resultado de la significancia para la prueba T Student

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Tiempo Antes - Tiempo Después	774.167	496.425	202.665	Inferior	Superior	3.820	5	.012
					253.200	1295.133			

A partir de la tabla número 5, se obtienen los siguientes resultados:

- La media de ambos tiempos disminuyó levemente debido a que la diferencia entre los tiempos es muy grande.
- En la tabla de prueba de muestras emparejadas, la significancia tiene un valor del 0.012.
- Los criterios son los siguientes:
 - Si la probabilidad obtenida p-valor $\leq \alpha$ se rechaza H_0 (se acepta H_1).
 - Si la probabilidad obtenida p-valor $> \alpha$ no se rechaza H_0 (se acepta H_0).
- Si p-valor tiene un valor de 0.012 y α es igual a 0.05, p-valor es menor por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 donde se menciona que el tiempo de asignación de horarios tiene una diferencia significativa con la implementación del algoritmo que con el proceso manual.

Diferencia entre asignación manual y asignación automática

De acuerdo con los datos plasmados en la figura 2 se puede inferir que la implementación del sistema experto basado en reglas ha apoyado de manera significativa a los jefes de carrera del Instituto a reducir considerablemente el proceso de asignación de horarios.

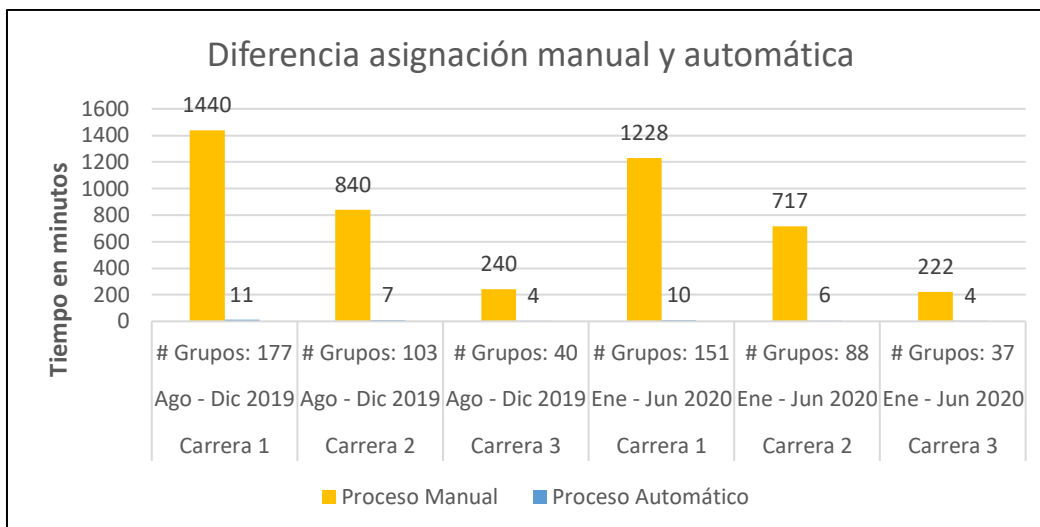


Figura 1. Resultados del tiempo de asignación antes y después de la implementación del sistema experto basado en reglas

El algoritmo se puede ejecutar las veces que sea necesaria, cada vez que se ejecute, se procederá a borrar lo que ya se asignó y realizará una nueva propuesta. Un punto importante que mencionar es que no son los horarios definitivos, tienen que ser autorizados por el departamento de Subdirección Académica para que puedan ser agregados al sistema de precarga. Así mismo, se implementaron otras funciones a la plataforma con la finalidad de atender a los alumnos y apoyar a los jefes de carrera de una manera más rápida. En la figura 3 se muestra una de las pantallas principales del sistema.

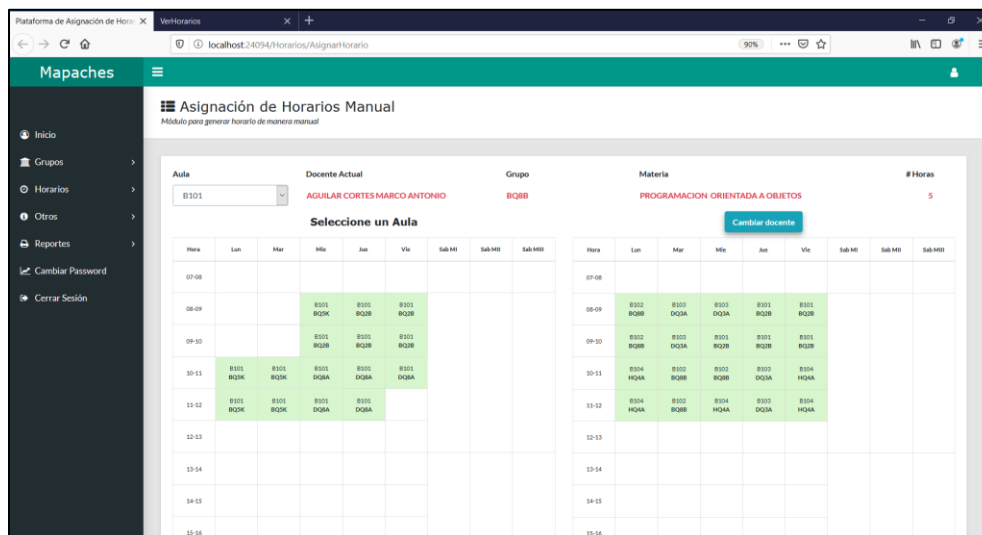


Figura 2. Consulta de horarios cuando ya se ejecutó el sistema experto.

En lo que concierne a los datos generados, el margen de error es mínimo, casi nulo debido a que la información ya se almacena directamente en la base de datos, ya no se tiene que exportar ni pasar a la base de datos de producción, solo que se almacena en una tabla temporal con la finalidad de que antes de ser copiados a la tabla de horarios, se tiene que autorizar por el Departamento de Subdirección Académica. Después de ser autorizados, se copian a la tabla de horarios. Así mismo, si se requiere hacer un cambio, ya se puede hacer de manera automática sin tener que volver a exportar el archivo y cargarlo a la base de datos, ya todo se hace de manera interna.

Con respecto a los empalmes, el algoritmo no coloca dos grupos en el mismo horario. Al principio se tarda pocos segundos en llevar a cabo la asignación de los primeros semestres, conforme se llenan los horarios, es más complicado y el asignar los horarios de los últimos semestres será más tardado. Igualmente, en la asignación manual, también se toma en cuenta los empalmes. En el sistema, se muestran dos secciones de horarios, una que muestra el horario del aula y otra donde se muestra el horario del docente para que el jefe de carrera pueda visualizar la disponibilidad de ambas partes y reducir los errores de empalmes que se puedan producir.

Trabajo a futuro

Se pretende continuar trabajando con el sistema experto para que seleccione al docente que impartirá la materia de manera automática debido a que en estos momentos también lo realiza el jefe de carrera manualmente. Se deben tomar en cuenta restricciones como el perfil, el número de veces que ha impartido las clases, si es tiempo completo, si tuvo incidencias y cuál fue el impacto, evaluación docente, entre otros. Con esta implementación, se tendría automatizado el proceso de planeación académica en un 90%.

Conclusiones

Como se puede observar, el fusionar el desarrollo de software con técnicas de inteligencia artificial puede tener como resultado soluciones que permitan automatizar procesos. Otro factor muy importante es el tiempo que se tarda en realizar esas acciones. A comparación de la mente humana, la computadora puede realizar millones de operaciones por segundo permitiendo realizar comparaciones y asignaciones más rápido que una persona. No se pretende reemplazar a las personas en su trabajo con este tipo de tecnologías, el objetivo principal es brindar apoyo para las tareas que su ejecución o su elaboración toma mucho tiempo en realizarse. Ese tiempo que se invierte en llevar a cabo la asignación de horarios académicos, se podrían realizar otro tipo de actividades haciendo más productivo la jefatura de división y agilizando otros procesos de otros departamentos involucrados. Finalmente, esta herramienta también se realizó no con el fin de beneficiar solamente al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, también se pretende apoyar a las instituciones que pertenecen al Tecnológico Nacional de México, debido a que los procesos académicos son muy parecidos, así como las restricciones que se manejan para cada docente.

Referencias

- [1] P. Moreno Díaz y J. Sánchez Allende, «Revisión de algoritmos de búsqueda aplicadas al problema de creación de calendario de exámenes,» *Tecnología y Desarrollo*, vol. 15, pp. pp. 1 - 32, 2017.
- [2] A. M. Vilorio Corro y E. M. Paz Vives, «Generación de horarios de clase mediante algoritmos evolutivos en la Universidad Cooperativa de Colombia,» *Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías*, vol. 3, nº 1, 2016.
- [3] J. Sandoval, G. Sánchez, N. R. Castillo Valdez y S. Gómez Carpizo, «Algoritmo genético paralelo como herramienta de apoyo para la generación de horarios,» *Revista de Análisis Cuantitativos y Estadístico*, vol. 4, nº 11, pp. pp. 1 - 9, 2017.
- [4] S. M. Ramírez Campos, I. V. García Pimentel, M. A. de la Cruz Guadarrama, P. V. Salas Hernández y A. L. Ramírez Jaramillo, «Determinación de horarios de clases bajo múltiples restricciones y limitaciones,» *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 13, nº 1, pp. pp. 1 - 12, 2019.

- [5] A. Canseco González, D. Sánchez Partida, C. Zuñiga Alcaraz y E. Olivares Benitez, «Aplicación de programación lineal para la asignación de horarios en una Institución Educativa Mexicana,» *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 15, nº 2, pp. pp. 135 - 146, 2016.
- [6] G. J. M. Capetillo, D. F. Reynoso Hernández y M. Gallegos López, «Modelo de una base de conocimiento para la creación de un sistema experto para el proceso generador de horarios de maestros mediante el uso de la metodología Commonkads,» *Pistas Educativas*, nº 126, pp. pp. 58 - 65, 2017.
- [7] F. López Cruz, «Una solución basada en agentes al problema de generación de horarios,» *Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, vol. 2, nº 3, pp. pp. 73-85, 2015.
- [8] G. A. Durán y N. Faillance, «Implementación de una heurística para la programación automática de horarios de una escuela secundaria,» *Revista Ingeniería de Sistemas*, vol. XXXIII, pp. pp. 51 - 80, 2019.
- [9] D. Calle López, J. Cornejo Reyes, F. Pesántez Avilés, M. Rodas Tobar, C. Vásquez Vázquez y V. Robles Bykbaev, «Un sistema Experto basado en minería de datos y programación entera lineal para soporte en la asignación de materias y diseño de horarios en educación superior,» *Enfoque UTE*, vol. 9, nº 1, pp. pp. 102 - 117, 2018.
- [10] P. Ramos Romero, L. Mendoza Rodríguez y L. Vivanco Benavides, «Diseño e implementación de un sistema informático de apoyo para la generación de horarios de docentes en Instituciones de Educación Superior,» *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, vol. 6, nº 35, pp. pp. 1 -20, 2018.
- [11] C. A. Monje Alvarez, *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa*, Neiva: Universidad SurColombiana, 2011.
- [12] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, México: Mc Graw Hill, 2014.
- [13] C. Ponce y B. Rojas, «Diseño de un Sistema Experto Difuso para la Determinación de la Densidad de Corriente en una Planta de Cromado,» *Información Tecnológica*, vol. 3, nº 2, pp. 157 - 170, 2019.
- [14] M. E. Cabello Espinoza, *Arquitectura de pizarrón de un sistema experto ilustrada con el diagnóstico médico*, Colima: Universidad de Colima, 2018.
- [15] J. R. Molina Ríos, M. P. Zea Ordóñez, M. J. Contento Segarra y F. G. García Zerda, «Comparación de metodologías en aplicaciones web,» *3C TECNOLOGÍA. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, vol. 7, nº 1, pp. 1 - 19, 2018.
- [16] J. L. Rivadeneira Pacheco, A. I. De la Hoz Suárez y M. V. Barrera Argüello, «Análisis general del spss y su utilidad en la estadística,» *E-IDEA Journal of Business Sciences*, vol. 2, nº 4, pp. 17 - 25, 2020.
- [17] IBM®, «Prueba T de muestras emparejadas,» [En línea]. Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_sub/statistics_mainhelp_ddita/sps/base/idh_ttpr.html. [Último acceso: 11 Septiembre 2020].