



*Metodología de la Investigación
Científica para las Ciencias Técnicas*

Roberto A. González Castellanos
Mario Yll Lavín
Lilian D. Curiel Lorenzo

Universidad de Matanzas
Diciembre de 2003

PRÓLOGO

En la actualidad están disponibles en las Universidades cubanas varios textos de Metodología para la Investigación Científica, pero casi todos están dedicados a las Ciencias Sociales o a las Ciencias Médicas y Biológicas y no abundan los textos que tengan en cuenta las particularidades de las Ciencias Técnicas. Además muchos de los Textos existentes o bien abordan con demasiada extensión los fundamentos teóricos de la Investigación Científica o enfatizan solamente en algunos de los aspectos prácticos de la misma, especialmente en lo relacionado con el procesamiento estadístico de los datos.

Con esta Monografía hemos querido llenar ese vacío, presentando un texto especialmente dirigido a las Ciencias Técnicas, en el que se trata de lograr un balance entre los fundamentos teóricos imprescindibles y las aplicaciones prácticas y se incorpora el uso intensivo de las nuevas técnicas de la información y las comunicaciones, en todas las etapas del proceso de investigación.

Esta Monografía se elaboró a partir de los materiales utilizados por los autores para las conferencias de la asignatura Metodología de la Investigación Científica, impartida en varias de las Maestrías que en las distintas especialidades de Ciencias Técnicas se desarrollan en la Universidad de Matanzas, y se han tenido en cuenta también experiencias de otras Universidades cubanas.

El material presentado todavía requiere de una mayor elaboración, por lo cual solicitamos a todos los lectores sus criterios sobre cada una de las partes que conforman esta Monografía, para poder trabajar en su perfeccionamiento, lo que se les agradece de antemano.

Los autores.

Tabla de Contenido

TEMA 1: Introducción a la Metodología de la Investigación Científica.	5
1.1 Presencia de la Investigación Científica en la Educación Superior en Cuba..	5
1.2 Objetivos de la Metodología de la Investigación.....	7
1.3 Antecedentes Históricos	7
1.4 Definiciones fundamentales	12
Encuesta.	16
TEMA 2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN Y SOPORTE CONCEPTUAL	18
2.1. Definición de las etapas de la investigación	18
2.2 Soporte conceptual de la investigación	20
2.3 Búsqueda de la información científico-técnica y procesamiento de la misma.	30
TEMA 3. EL DISEÑO TEÓRICO Y LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	37
3.1 Diseño teórico de la investigación.....	37
3.2 Protocolo o Proyecto de Investigación.	50
TEMA 4. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	70
Introducción.	70
4.1. Tipos de Investigación.....	71
4.2. Diseño de la Investigación.....	72
4.3. Errores en la Medición Experimental.....	74
4.4. Las técnicas instrumentales	77
4.5. Recolección de datos.	80
4.6 Utilización de técnicas para optimizar el trabajo experimental.....	85
4.7 Conceptos básicos del Diseño Estadístico de Experimentos.....	89
4.8. Planificación de las Actividades.....	110
TEMA 5. EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	113
5.1 Problemas que surgen relacionados con el cambio de escala.	113
5.2 Modelos y prototipos	116
5.3. Etapas a considerar en los trabajos de Investigación y Desarrollo.	118
5.4 Definición ampliada del término "escalado".....	119
5.5 Alcance de las etapas de I+D.	122
5.6 Concepto de Ingenierización.....	130
5.7 Utilización de la Modelación Matemática y el Diseño de Experimentos en el Proceso de Escalado.	135
5.8 Aplicación durante la Ejecución de la Investigación de la Ingeniería de Procesos asistida por Computadoras (CAPE).....	137
TEMA 6. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	145
6.1 Introducción al Análisis de los Datos.	145
6.2. Análisis de los datos	158

TEMA 7 . PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	160
Introducción	160
1. El Reporte Final de Investigación en el contexto académico.	162
2. El Reporte Final de Investigación en el contexto no académico.....	168
3. Presentación del reporte de investigación	168
4. Reglas generales para la elaboración del Informe Final de Investigación. ...	170
4. Informes preliminares y parciales y artículos científicos.....	171
5. La Tesis como informe de investigación	172
6. Diferencias entre el Protocolo de Proyecto y el informe de la Investigación.	173
TEMA 8. LA PROTECCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	176
8.1. Derecho de autor y propiedad intelectual	176
8.2. Búsqueda de patentes y solicitud de invenciones.....	182
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	185

TEMA 1: Introducción a la Metodología de la Investigación Científica.

OBJETIVOS.

- Conocer los elementos fundamentales del componente investigativo en la formación del profesional en diferentes niveles de enseñanza universitaria.
- Conocer los antecedentes históricos de la investigación científica
- Conocer los conceptos y definiciones fundamentales relacionados con la investigación científica.

* * *

1.1 Presencia de la Investigación Científica en la Educación Superior en Cuba.

La Educación de Pregrado y Postgrado constituyen los niveles más elevados del Sistema Nacional de Educación en Cuba y tienen como objetivo la formación profesional de los estudiantes y egresados universitarios, lo que contribuye de forma sistemática a la elevación de la productividad, eficiencia y calidad del trabajo. ***La investigación científica es un componente que está presente tanto en la formación de pregrado, como en la de postgrado y por ello los cursos de Metodología de Investigación se han hecho importantes en los currículos de las universidades (21).***

En la enseñanza de pregrado, el componente investigativo se lleva a cabo tanto de forma curricular, como por actividades extracurriculares. La investigación curricular se hace fundamentalmente a través de los Proyectos de Curso y el Trabajo final de Diploma. La investigación extracurricular se hace a través de Grupos de Estudiantes de Alto Rendimiento, Grupos Científicos Estudiantiles, Eventos Científicos Estudiantiles, Talleres de Ciencia y Técnica, etc.

La educación de postgrado por su parte, constituye el nivel más elevado del sistema Nacional de Educación en Cuba y tiene como objetivos centrales la formación académica de postgrado y la superación continua de los egresados universitarios durante su vida profesional.

La superación profesional de postgrado constituye un conjunto de procesos de formación que posibilitan a los graduados universitarios la adquisición, ampliación y perfeccionamiento continuo de los conocimientos y habilidades básicas y especializadas requeridas para un mejor desempeño de sus responsabilidades y funciones laborales, así como para su desarrollo cultural integral.

Constituyen formas principales de la superación profesional, el Diplomado, el Curso, el Entrenamiento, la Especialidad, la Maestría y el Doctorado. Otras formas son: la auto preparación, la conferencia especializada, el taller, el seminario, el debate científico, el intercambio de experiencias y otras que posibilitan el estudio y la divulgación de los avances de la ciencia, la técnica y el arte.

- Curso de postgrado. El curso posibilita la formación básica y especializada de los graduados universitarios. Su duración mínima será de 20 horas.
- Diplomado. El diplomado está constituido por un grupo de cursos articulados entre sí, y comprende además la realización de un trabajo teórico y(o) práctico adicional a los cursos que lo integran. Su duración mínima será de 200 horas.
- Especialidad de postgrado. La especialidad de postgrado es el proceso de formación posgraduada que proporciona a los graduados universitarios la profundización o ampliación de sus conocimientos en áreas particulares de profesiones afines. Se diseñan con un mínimo de 70 créditos (un crédito por 15 horas lectivas). La Especialidad debe dedicar entre un 10 y 20 % de los créditos a la investigación.
- Maestrías. La maestría es el proceso de formación posgraduada que proporciona a los graduados universitarios dominio profundo de los métodos de investigación, amplia cultura científica y conocimientos avanzadas en un campo del saber. Se diseñan con un mínimo de 70

créditos (un crédito por 15 horas lectivas). La maestría debe dedicar hasta un 40 % de los créditos a la investigación.

•Doctorado. El doctorado es el proceso de formación posgraduada que proporciona a los graduados universitarios un conocimiento profundo y amplio en un campo del saber; así como madurez científica, capacidad de innovación, creatividad para resolver y dirigir la solución de problemas de carácter científico de manera independiente y que permite obtener un grado científico. Hay dos tipos de grados científicos: Doctor en Ciencias de determinada especialidad y Doctor en Ciencias.

1.2 Objetivos de la Metodología de la Investigación

Este quehacer científico tiene que hacerse con cierto orden lógico, lo cual es el objetivo de la metodología de la investigación. Ella pretende:

- Que se entienda que la investigación científica es un proceso compuesto por distintas etapas sumamente interrelacionadas entre sí
- Dar un guía general que le permita llevar a cabo investigar en cualquier disciplina
- Hacer comprender diversos conceptos de investigación que generalmente han sido tratados de manera compleja y poco clara
- Que se perciba la investigación como algo cotidiano y no como algo que solo le corresponde a centros muy especializados e institutos con nombres largos y complicados y a hombres de edad avanzada, pelo canoso, desaliñados

1.3 Antecedentes Históricos

Los aportes de nuestros días se deben a que la historia ha pasado por un lento transcurrir a través de muchas etapas. Los progresos del hombre han ocurrido fundamentalmente en dos campos: en lo tecnológico y en la organización social. Las innovaciones tecnológicas se revisan a lo largo de una amplia lista, que puede comenzar con el fuego, y seguir con el desarrollo de la agricultura y la industria. Asimismo ha ocurrido en las organizaciones sociales, y esto ha provocado el progreso de la humanidad.

La ciencia moderna es producto de estos grandes progresos, es el resultado de una mezcla de la teoría y la práctica. Sobre esa base, **la Ciencia se puede definir como un sistema, históricamente formado, de conocimientos ordenados cuya veracidad se comprueba y se puntualiza, se rectifica constantemente en el curso de la Práctica Social, sin cuyo conocimiento no es posible desplegar una actividad práctica consciente y orientada hacia un determinado objetivo. Su fuerza motriz está en la necesidad del desarrollo de la producción material y del avance de la sociedad (3).**

Para otros (33) **la ciencia es el conocimiento racional, cierto o probable, obtenido metódicamente, sistematizado y verificable.**

La ciencia puede contemplarse como una institución, un método, la tradición acumulativa de conocimiento, un fenómeno objetivo y subjetivo y un proceso de cambio. La ciencia consiste en algo más que la reunión completa de todos los hechos conocidos, de todas las leyes, de todas las teorías. En realidad es un descubrimiento constante de hechos, leyes y teorías nuevas que critican y con frecuencia destruyen mucho de lo construido. La ciencia es el resultado de la investigación y la aplicación del método científico; tiene relación con los valores que el hombre da a los distintos aspectos de la vida. Esta relación entre ciencia y valores se establece mediante las motivaciones e intereses humanos.

La razón por la cual es posible apreciar tantas facetas diferentes de la ciencia es porque ella constituye un fenómeno complejo cuyas expresiones históricas han variado considerablemente. Por eso las definiciones de ciencia resultan escurridizas y a veces inalcanzables y por esa causa, más que una definición, deben enumerarse un conjunto de rasgos que tipifican el fenómeno en cuestión.

En resumen, la Ciencia:

- Debe ser entendida como: *institución, método, tradición acumulativa de conocimientos, factor principal en el mantenimiento y desarrollo de la producción y una de las influencias más poderosas en la conformación de las opiniones respecto al universo y al hombre.*
- Se puede definir como: *“un sistema de conocimientos objetivos sobre la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, que está históricamente condicionado en su desarrollo y que tiene como base la práctica histórico-social de la humanidad”.*

A partir de todas estas consideraciones, se puede establecer que la **Ciencia** representa el balance de ***un largo trayecto de desarrollo del conocimiento.***

A su vez, el **conocimiento** se puede considerar en tres niveles principales:

- **Natural y espontáneo:** Los que el hombre adquiere en su vida cotidiana, sin crítica expresa de las fuentes o las razones que lo validan.
- **De divulgación:** Los que parten de una crítica razonada, con exposición somera de las fuentes, basados en datos secundarios.
- **Científico:** El conocimiento dirigido a objetivos determinados, obtenido con carácter sistemático y basado en una severa crítica de los procedimientos usados.

En el caso específico del conocimiento científico se considera a su vez dos niveles:

- **Empírico:** El que se obtiene de la interacción directa entre el sujeto y el objeto de la investigación, con métodos específicos
- **Teórico:** Se basa en el trabajo con conceptos, categorías, leyes, teorías, etc.

Con esta base, el proceso de desarrollo humano se puede dividir en dos etapas

principales y estas son:

- Etapa del proceso espontáneo del conocimiento
- Etapa de aparición de la ciencia como una forma especial del conocimiento (obtención del conocimiento científico)

Estas etapas no pueden separarse de una forma absoluta sino que hay que verlas como proceso de maduración de distinto nivel, en la actividad práctica del hombre.

1.3.1 Etapa del proceso espontáneo del conocimiento

Es la etapa inicial dentro del proceso de desarrollo del conocimiento. Aquí lo que el hombre va adquiriendo como conocimiento es lo relacionado directamente en su práctica laboral. Los elementos esenciales de este proceso son:

- Todos los hombres por igual participan en la actividad cognoscitiva
- No existen medios especiales para obtener el conocimiento
- Los objetos del conocimiento, lo que se va conociendo, son ante todo, los instrumentos y objetos de trabajo
- Los conocimientos que se van obteniendo se recogen y transmiten de una generación a la otra mediante indicaciones y juicios. Las definiciones respecto a los objetos del mundo circundante son todavía imprecisas.

1.3.2 Etapa de aparición de la ciencia como forma especial del conocimiento.

Esta etapa surge con la aparición de las clases sociales y lucha de clases y la división del trabajo manual e intelectual:

- La actividad cognoscitiva es realizada por un grupo de personas
- Existen medios especiales para la obtención del conocimiento
- Se estudian, no sólo los instrumentos y objetos del trabajo, sino también otras cuestiones que aparecen como parte integrante del mismo desarrollo científico.

- Las diferentes disciplinas científicas utilizan sistemas especiales de categorías con las cuales se describen y explican con rigor los fenómenos u objetos estudiados.

1.3.3 Desarrollo de la actividad científica

Como todo acto humano, la actividad científica es una actividad histórica y su papel ha ido variando de acuerdo con el desarrollo de las fuerzas productivas y con la sociedad en la cual ellas se producen. Para nosotros es hoy natural y evidente la existencia de grandes ciudades, fábricas, luz eléctrica, teléfonos, televisión, satélites, computadoras etc., pero no siempre fue así; hay enormes diferencias en las actividades científico-técnicas de las distintas épocas históricas que influyen notablemente en la forma de ser y producir, así como en el desarrollo de la sociedad, lo que caracteriza la época.

El origen de la ciencia consciente se vincula a la gran cantidad de materiales y servicios vinculados al desarrollo de las ciudades y del campo. En este proceso aparecen términos como las cantidades, las medidas y el peso, con lo que se origina la matemática, principalmente la aritmética y la geometría, las que nacen incluso antes de la escritura y aparecen la astronomía y el calendario (2700 años antes de nuestra era) (7).

La cultura en el mundo actual tiene un componente científico y tecnológico importante. El ciudadano de hoy no es verdaderamente culto si no tiene al menos un conocimiento básico del desarrollo de la ciencia y la tecnología y una claridad de los problemas ideológicos, éticos, asociado a ese desarrollo. Por lo tanto, antes de conocer como se desarrolla una investigación científica, se quiere que acreciente su acervo intelectual con el estudio de los conceptos fundamentales de ciencia y tecnología. Para profundizar en este tópico, se puede recurrir a la clásica obra de *Bernal*, "**Historia Social de la Ciencia**" (3).

1.4 Definiciones fundamentales

El nombre de la Asignatura que comenzamos a estudiar comienza con una palabra que se debe definir: Metodología. Por **Metodología** se entiende la utilización consciente de los principios, categorías y leyes de la filosofía en el trabajo de investigación. También se dice que **Metodología** es el estudio crítico del método, o también la teoría general del **método**. De forma más simple se considera como la suma o adición de los métodos y la técnica:

- **Método**: Es una sucesión de pasos ligados entre sí por un propósito (28).
- **Método de trabajo científico** es la sucesión de pasos que debemos dar para descubrir nuevos conocimientos o en otras palabras, para comprobar o desaprobar hipótesis que expliquen o predicen conductas de fenómenos, desconocidos hasta ese momento. El método científico es la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones. Ejemplo: el *experimento* y la *observación*.
- **Técnica**: Operación especial para recolectar, procesar o analizar los datos que se necesitan. Ejemplo: *Entrevistas* y *cuestionarios*.

Con esos antecedentes, se puede definir:

Metodología de la Investigación Científica: Conjunto de principios, categorías y leyes de diferente nivel que permiten orientar los esfuerzos de la investigación hacia el conocimiento de la verdad objetiva, con un máximo de eficiencia.

Además el acto de **investigar** es hacer diligencias para descubrir algo, y es característica exclusiva de la especie humana, pudiendo tener diferentes objetivos y tipos pero toda las investigaciones tienen en común que **comienzan únicamente a partir de la existencia de un problema**.

La **investigación** se refiere a la actividad de producción de conocimientos que se

despliega a partir de los resultados anteriores expresados en modelos, leyes, teorías, y también instrumentos, equipos, experiencias, habilidades, todos los cuales son construidos o creados por el hombre con el fin de explicar y manipular la naturaleza. A su vez la **investigación es la forma fundamental de producción, síntesis y generalización del conocimiento científico**.

¿Qué es la investigación científica? La investigación científica se define como la actividad intelectual orientada hacia el logro de nuevos conocimientos humanos de manera teórica, sistemática y comprobable. La investigación tiene como principal objetivo “**descubrir respuestas a ciertas interrogantes, mediante la aplicación de procedimientos científicos**”.

Las investigaciones científicas se pueden dividir en dos grandes grupos:

- **Las investigaciones fundamentales o básicas**, que tratan del trabajo teórico o experimental emprendido principalmente para adquirir nuevos conocimientos de fenómenos y hechos observables, sin tener por finalidad, en la mayoría de los casos, ninguna aplicación en particular. (No obstante algunas investigaciones básicas se orientan hacia aplicaciones específicas y en esos casos se habla de **investigaciones fundamentales orientadas**)
- **Las investigaciones aplicadas**, que son las que se aplican a las realidades concretas, utilizando para ello los resultados de las investigaciones básicas. O sea, están orientadas a la consecución de un logro u objetivo práctico determinado. En este caso se consideran dos tipos de investigación:
 - **Investigación Desarrollo (I+D)**
 - **Innovación Tecnológica**

Ambos tipos de investigaciones se diferencian sólo en el alcance final. Como investigaciones de **Investigación Desarrollo** se consideran aquellas en las cuales, aunque se llega a la solución de un problema concreto, no se alcanza un

grado de terminación tal que permita su aplicación comercial directa, sino que se queda por ejemplo, en una tecnología o en un producto de planta piloto. Las investigaciones se consideran de **Innovación Tecnológica** cuando su resultado final es un producto con introducción en la práctica, o sea que se llega hasta la producción comercial de un producto dado.

La **Investigación Desarrollo (I+D)** se considera una etapa intermedia entre la **Investigación Básica** y la **Innovación Tecnológica** y ésta última es la que cierra el ciclo que comienza con la **Investigación Básica** y termina con la introducción de un producto en la práctica social. Teniendo en cuenta estas características comunes, se pueden considerar los dos tipos de **Investigación Aplicada** antes mencionados, como **Investigaciones Tecnológicas (10)**.

Entonces nos podemos plantear la pregunta: **¿Qué es la investigación tecnológica?** y entre muchas respuestas posibles podemos escoger la definición dada por Martínez (22), la que plantea que:

Investigación Tecnológica es la *investigación aplicada a los procesos tecnológicos*. Es la actividad orientada a la obtención de un nuevo conocimiento técnico que puede ser introducido directamente en la producción y distribución de bienes y servicios.

Finalmente queda la pregunta: **¿Qué es la Tecnología?** En español, el vocablo **técnica** significa: el conjunto de procedimientos operativos útiles para ciertos fines prácticos, mientras **tecnología** es el conjunto de conocimiento científicos y empíricos, habilidades, experiencias y organización requeridos para producir, distribuir y utilizar bienes de consumo. Incluye, por tanto, conocimientos teóricos y prácticos, know-how, métodos y procedimientos productivos, gerenciales y organizativos, entre otros; identificación y asimilación de éxitos y fracasos anteriores, dispositivos físicos y equipos.

De esta definición se desprende que tecnología es mucho más que aparatos cada vez más caros y sofisticados. ***La tecnología es una práctica social que tiene tres dimensiones:***

- **La técnica**: conocimientos, capacidades, destrezas técnicas, instrumentos, herramientas y maquinarias, recursos humanos y materiales, materias primas, productos obtenidos, desechos y residuos.
- **La organizativa**: política administrativa y gestión, aspectos de mercado, economía e industria; agentes sociales: empresarios, sindicatos, cuestionen relacionadas con la actividad profesional productiva, la distribución de productos, usuarios, y consumidores, etc.
- **La ideológica-cultural**: finalidades y objetivos, sistemas de valores y códigos éticos; creencia en el progreso, etc.

Encuesta

Objetivo: Obtener información sobre los conocimientos en Metodología de Investigación que poseen los maestrantes al comenzar el curso.

A. Datos generales

•Nombre de maestrante:

•Año de graduado: _____ Lugar de graduación: _____

•Profesión:

•Categoría docente o científica:

B. Preguntas

1. Ha recibido superación profesional sobre Metodología de Investigación:

Sí ___ No ___

2. Considera que sus conocimientos sobre Ciencia, Tecnología e investigación son:

Excelentes ___ Buenos ___ Regulares ___ Ninguno ___

3. ¿Cuántos proyectos de investigación ha elaborado en su vida profesional ___?

4. El dominio sobre técnicas instrumentales y experimentales es:

Excelente ___ Bueno ___ Regular ___ Ninguno ___

5. El dominio sobre técnicas estadísticas es:

Excelente ___ Bueno ___ Regular ___ Ninguno ___

6. ¿Cuántas investigaciones científicas y/ o tecnológicas ha terminado en su vida profesional? _____

7. En su vida profesional ha publicado ___ artículos científicos, ha escrito ___ libros, ha elaborado ___ normas técnicas, ha registrado ___ patentes y ha presentado ___ trabajos en eventos científicos.

8. El dominio referente al idioma inglés es:

Excelente___ Bueno___ Regular___ Malo___

9. Tiene experiencia en la dirección investigativa: Sí___ o No ___

10. Tiene dominio de los siguientes programas de computación:

Excel: Excelente___ Bueno___ Regular___ Ninguno___

Microsoft Project: Excelente___ Bueno___ Regular___ Ninguno___

Statgraphics (o paquete estadístico equivalente): Excelente___ Bueno___

Regular___ Ninguno___

11. ¿Ha seleccionado el tema de investigación para la maestría?

Sí___ No___

En caso afirmativo describa brevemente la temática:

TEMA 2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN Y SOPORTE CONCEPTUAL

OBJETIVOS.

- Conocer las partes principales en que se divide una investigación
- Conocer las principales características de las partes de una investigación
- Conocer los principales tipos de documentos existentes
- Aprender a realizar la búsqueda de información necesaria para asegurar el soporte conceptual de la investigación
- Conocer como se procesa la información acopiada

2.1. Definición de las etapas de la investigación

El proceso de investigación científica se puede dividir por etapas y éstas son:

- **Primera etapa:** El diseño teórico y la formulación del protocolo o proyecto de investigación.
- **Segunda etapa:** La selección y elaboración de los métodos de investigación
- **Tercera etapa:** La ejecución de la investigación
- **Cuarta etapa:** El procesamiento y análisis de los resultados obtenidos
- **Quinta etapa:** El informe final

¿Qué se persigue con cada una de estas etapas?. Veamos algunos elementos.

Primera etapa: El núcleo básico del **diseño teórico** de la investigación lo componen:

- a. El problema y las hipótesis
- b. Los objetivos de la investigación

El problema es la interrogante cuya respuesta **no** está contenida en el cuerpo de conocimientos disponibles y surge a partir de la indagación profunda (**soporte conceptual de la investigación** (15).

La hipótesis es la posible respuesta que el investigador adelanta como solución a dicho problema

Los objetivos expresan las diferentes direcciones en las que se pretende arribar a determinados resultados y se encuentran vinculados al **problema** y las **hipótesis**.

Esta etapa se hace explícita en un documento llamado **protocolo, diseño de la investigación** y algunos casos **proyecto de la investigación**.

Segunda etapa: En esta etapa se preparan y utilizan los procedimientos necesarios para obtener los datos que permitan comprobar o refutar las hipótesis. Algunos de los métodos a utilizar son el *experimental*, la *observación científica*, la *modelación*, etc. La elección de uno u otro método o técnica está basada en la idoneidad, en dependencia de las características específicas de la investigación.

Tercera etapa: Es la etapa fundamental, en la cual se lleva a cabo la investigación en sí, mediante la aplicación de los métodos y técnicas seleccionados. El éxito de esta etapa depende en mucho de la calidad de las etapas precedentes ya que, por ejemplo, si no se han definido bien los objetivos a alcanzar o seleccionado adecuadamente los procedimientos a emplear, es difícil que se alcancen resultados, por muy cuidadoso y hábil que se sea en la etapa de ejecución de la investigación.

Cuarta etapa: El conjunto de datos obtenidos mediante la aplicación de los métodos seleccionados, o sea la información, resulta muy difícil de analizar si no se organizan, clasifican y sintetizan mediante tablas, correlaciones, etc. Del éxito de esta etapa depende que se le pueda sacar el máximo de utilidad a la información acopiada y resulta por lo tanto decisiva para obtener los objetivos propuestos.

La información organizada y sintetizada permite interpretar los resultados obtenidos y llegar a determinadas conclusiones. En realidad esto no es más que el resultado de contrastar las hipótesis de la investigación con los datos obtenidos y procesados. Este proceso de comprobación de las hipótesis debe conducir a un nuevo conocimiento en un momento determinado.

En esta etapa se deben de buscar también las vías de introducción en la práctica de los resultados obtenidos

Quinta etapa: Es la etapa de divulgación de los resultados. Se hace mediante la elaboración del informe final, las publicaciones científicas, presentación en eventos, registro de patentes, etc. Es la forma en que el investigador deja plasmado su labor a lo largo de las diferentes etapas y resulta fundamental para el ulterior desarrollo de la ciencia. Hay que tener en cuenta que el proceso de investigación debe conducir a un nuevo conocimiento y este nuevo conocimiento debe conducir a nuevas interrogantes y de aquí surge un nuevo proyecto de investigación.

Finalmente hay que tener en cuenta que el esquema de las etapas no es rígido; al contrario, debe permitir variantes en la secuencia según la creatividad del investigador. Lo que sí es importante es no perder la visión de la relación que debe existir entre las diferentes etapas y dar la importancia que tiene a la primera etapa de concepción teórica del problema.

Por la importancia de estas etapas, se dedicarán los siguientes temas del Curso al análisis de cada una de ellas.

2.2 Soporte conceptual de la investigación

Toda investigación parte del **conocimiento previo del estado de las cosas existentes** y por ello antes de dedicarse a la investigación propiamente dicha, hay

que realizar una serie de actividades previas: saber que existe sobre el tema, quienes han trabajado anteriormente en el mismo, como lo han hecho, hasta dónde han llegado. Además se requiere profundizar en el estado del arte sobre la temática de la investigación. Todo lo anterior **constituye el soporte conceptual de la investigación (15, 21, 31)**.

El soporte conceptual de la investigación requiere una revisión bibliográfica constante y presupone el conocimiento de los distintos documentos u obras de consulta y referencias necesarias para un adecuado dominio del tema en que se trabaja y además un conocimiento de la forma en que se tiene acceso y se utiliza más eficientemente esa información.

2.2.1 Definiciones fundamentales.

Documento es cualquier objeto material que registre o fije algún conocimiento. Un **documento científico** es un objeto físico que contiene información científica, por lo cual es un registro concebido para la transmisión de esta información científica en el tiempo y el espacio utilizado en la práctica social.

La informática ha dividido los documentos en **primarios**, **secundarios** y **terciarios**.

Documentos primarios:

Son los que registran los resultados inmediatos de la investigación científica y las actividades de diseño y proyección. Contienen principalmente descubrimientos científicos o nuevos detalles sobre ideas y hechos conocidos. A continuación se ofrece una breve caracterización de los diferentes tipos de documentos primarios.

Documentos no periódicos

- **Libros**. El libro es una obra impresa escrita en más de 48 páginas. Los libros se identifican con un código que se consigna en el mismo, cuyas siglas son **ISBN** (*International Standard Book Number*). Como formas de libro importantes

para la actividad científico-informativa pueden considerarse: monografías, colecciones de artículos, actas de conferencias (proceedings), libros de textos y publicaciones oficiales.

- **Monografías**. Las monografías son documentos no periódicos, no seriados, sobre un mismo tema. En un sentido más restringido, en las ciencias sociales se llaman específicamente monografías los trabajos de investigación empírica, de un ámbito o alcance limitado. Al igual que el libro tiene más de 48 páginas y tiene ISBN.
- **Colecciones** de artículos. Son libros que contienen artículos sueltos de un solo autor o de diferentes autores, los cuales recogen distintos documentos.
- **Actas (Proceedings) de congresos científicos, conferencias, reuniones**. La comunicación de congresos, simposios, reuniones de trabajo, mesas redondas, seminarios y coloquios constituyen una forma de publicación muy popular; aunque son materiales similares en contenido a los artículos de revistas científicas, son de menor circulación y presentan datos y conceptos provisionales de la investigación.
- **Los libros de texto** son dirigidos a estudiantes, tiene un perfil didáctico y debe ser evaluado por su utilidad.
- **Publicaciones oficiales**. Se editan por organismos e instituciones, y constituyen documentos que contienen información directamente relacionados con las actividades de las instituciones responsables de esa información. Estas publicaciones contienen informes, planes, descripción de los trabajos de investigación en curso, resoluciones, reglamentos, normas, estadísticas, metodologías, cursos, sumarios, etc.
- **Folletos**. Se llama folleto a una publicación no periódica de no menos de 5

páginas y no más de 48. Por su contenido los folletos pueden ser permanentes o efímeros. Tratan sobre distintos temas y contienen datos significativos, que son de interés para los usuarios de la información científica técnica.

- **Publicaciones seriadas.** Las publicaciones seriadas son colecciones de artículos científicos y otros documentos editados por distintos instituciones, sociedades y otras organizaciones, que aparecen sin prioridad estricta, pero en ediciones numeradas y bajo un título común y con idéntico formato. Se consideran también publicaciones seriadas aquellas que se editan a intervalos regulares pero mayor de un año.

- **Tipos especiales de ediciones técnicas**
 - **Patentes:** Se puede entender como el documento legal de una invención que recoge la misma. Las patentes son la fuente mejor, más abundante y más rápida de información tecnológica.

 - **Las normas técnicas.** La norma técnica es un documento técnico que determina los tipos, variedades y marcas de un producto, las normas de calidad y los métodos de norma ensayo; así como su embalaje, marcación, transporte, y almacenamiento y establece las magnitudes técnicas generales, unidades de medición, términos y designaciones.

Varios países poseen un sistema de normas en la esfera mecánica para el trabajo comercial, técnico e investigativo de los productos del transporte, electrónica, de precisión, construcción, domésticos, etc. Una relación de los Sistemas Internacionales de Normas más usadas en las diferentes ramas de la técnica es dada a continuación:

Normas	Sigla	País.
1) Norma Cubana	NC	Cuba,
2) International Organization for Standardization	ISO	

3) Association Standard Test Materials	ASTM	USA,
4) Norma Alemana	DIN	Alemania,
5) British Standard	BS	Inglaterra,
6) Norma Francesa	NF	Francia,
7) Norma Italiana	UNI	Italia,
8) Norma Rusa	GOST	Rusia,

También existen numerosas normas de empresas y ramales concernientes a las aplicaciones tecnológicas de una fábrica o un sector industrial.

- **Otros tipos especiales de ediciones técnicas** son los catálogos técnicos, los documentos técnicos y las listas de precios de equipos y materiales.
- **Documentos inéditos.** Todo aquel documento que no ha sido editado. Tales como informes científicos y técnicos, fichas informativas, traducciones de artículos manuscritos, etc.
- **El Informe Científico.** El informe científico o tesis es también una publicación científica escrita en una extensión de no mayor de 80 cuartillas, sin incluir los gráficos, esquemas, tablas, apéndices y bibliografía y tienen destinos bien definidos, como son los trabajos de diploma, de maestría y de doctorado. (conocidas popularmente como tesis de grado, maestría y doctoral).

Documentos o Publicaciones periódicas.

Una **publicación periódica** posee una presentación fija y contiene artículos científicos técnicos, culturales, políticos, etc., los cuales son presentados, para su publicación, en correspondencia con las normas de redacción que establezca dicha revista. Entre las publicaciones periódicas tenemos:

- **Revistas.** Proporcionan la información más reciente sobre los últimos avances de la Ciencia y la Técnica. Las denominadas de impacto se encuentran

registradas en el denominado **Science Citation Index**. A cada revista la distingue un código, cuyas siglas son **ISSN** (International Standard Serial Number); el cual aparece consignado en el cuerpo de la misma. Los artículos científicos y /o técnicos, que se confeccionan para publicar en estas revistas, son por lo general cortos (generalmente con alrededor de cinco páginas), y deben regirse en su confección por las normas de redacción que estén vigentes en la revista en que se desean publicar. Aquí hay que tener en cuenta que estas normas pueden diferir bastante de una revista a otra.

- **Diarios de noticias**. Es un tipo de publicación periódica que aparece en general diariamente, o una, dos y tres veces por semana y que contiene información sobre sucesos de actualidad, de índole socio político, principalmente. Los diarios también publican con regularidad artículos de ciencia popular y lo más notable de las noticias sobre la ciencia y técnica.

Documentos secundarios.

Reflejan los resultados del procesamiento lógico y analítico-sintético de la información científico-técnica contenida en los primarios y que reflejan, más o menos brevemente, su contenido. Aquí también se encuentran publicaciones periódicas y no periódicas, resultantes del procesamiento de las primarias. En este grupo se encuentran las enciclopedias, los diccionarios, las reseñas bibliográficas y las revistas referativas.

Si se toma como criterio el grado de procesamiento de la información, las diferentes clases de publicaciones secundarias pueden clasificarse en:

Publicaciones no periódicas:

La literatura de referencia. Se destina a la rápida obtención de datos de carácter científico, práctico o educativo. Estos datos incluyen: resultado de generalizaciones teóricas; fundamentos científicos; constantes matemáticas, físicas, y químicas, información industrial, acompañada de diferentes tablas; diagramas, dibujos y formulas. Las publicaciones de referencia más significativas son:

Las enciclopedias son publicaciones de referencia que contienen la información más esencial (amplia o brevemente) acerca de todos o algún campo específico del conocimiento y la actividad práctica. Están generalmente escritas sobre la base de un plan temático.

Los diccionarios establecen la definición clara y el significado preciso de un término.

Los diccionarios bilingües y plurilingües son publicaciones para la traducción que contienen palabras y términos de un idioma y sus equivalentes en otros idiomas.

Los diccionarios biográficos son publicaciones acerca de datos de la vida, actividades de trabajo de eminentes científicos, ingenieros, físicos agrónomos, hombres públicos.

Los manuales proporcionan datos que pueden ser útiles a los especialistas de las diferentes materias.

Las reseñas. Estas publicaciones resumen los datos contenidos en documentos primarios como artículos, monografías, informes de conferencias, informes técnicos y especificaciones de patentes; generalmente abarcan temas de una materia específica, durante un periodo definido. Las reseñas pueden ser: analíticas o informativas.

Publicaciones periódicas

Las revistas referativas o de resúmenes. Son probablemente las publicaciones de información secundaria más importantes en la actualidad. Aparecen con regularidad y reflejan el contenido de los documentos científicos más recientes, en forma de resúmenes, en mayor grado, con anotaciones.

Documentos terciarios.

Se trata de documentos que compendian nombres y títulos de documentos primarios y secundarios, y su utilidad en la investigación científica resulta muy limitado, por lo que en la práctica el trabajo se limita a los documentos primarios y secundarios.

2.2.2 Organización de la información en bibliotecas y centros de documentación.

Con relación a la organización de la información existente en las bibliotecas y centros de documentación hay que considerar dos aspectos diferentes:

- Se requiere un criterio de clasificación que permita que los documentos se puedan colocar de una manera ordenada, para que se facilite el acceso rápido a cualquier documento y se pueda mantener el orden, cuando se incremente el número de documentos.
- Se necesita tener un nivel de información adecuado sobre los documentos clasificados, de manera tal que se puedan seleccionar los que resulten de interés, sin necesidad de revisar directamente cada documento.

Criterio de clasificación de la documentación

El hacer convivir en armonía todos los libros posibles en una biblioteca, se debe a la idea del norteamericano **Melvin Dewey**, que vivió en el último tercio del siglo

XIX, basada en la **clasificación decimal**, que más tarde se generalizó y se adoptó con carácter internacional con el nombre de **Clasificación Decimal Universal (CDU)**. Con la **CDU**, el conjunto de los conocimientos humanos, considerados como una unidad, está dividido en diez grandes clases designadas por fracciones decimales de la manera siguiente:

- .0 Generalidades: Metodología, documentación, escritura, registro, reunión y difusión de las informaciones.
- .1 Filosofía, metafísica, lógica, moral. Psicología.
- .2 Religión, teología.
- .3 Ciencias sociales, comprendidas la estadística, el derecho, la enseñanza
- .4 Filosofía, lingüística.
- .5 Ciencias matemáticas, físicas y naturales.
- .6 Ciencias aplicadas: medicina y tecnología.
- .7 Bellas artes, comprendidas la arquitectura, la fotografía, las diversiones y los deportes.
- .8 Literatura y bellas letras.
- .9 Geografía, biografía, historia.

Sobre esta base, la clasificación por índices se construye mediante una continuación de las fracciones decimales, siguiendo el principio de derivación del general al particular. De este modo, cada concepto está representado en el campo de las ciencias puras por una fracción decimal mayor que 5 y menor que 6, llevándose la subdivisión hasta el grado necesario, como lo demuestra el ejemplo siguiente:

- .5 Ciencias matemáticas, físicas y naturales
- .51 Matemáticas
- .52 Astronomía, geodesia

- .53 Física y Mecánica
- .531 Mecánica de los sólidos
- .531.7 Medida de los tamaños geométricos y mecánicos
- 531.71 Medidas de las longitudes, de las dimensiones lineales
- .532 Mecánica de los fluidos
- Etcétera.

Por comodidad el punto decimal se omite, ya que todos los índices CDU son en realidad fracciones decimales, menores de la unidad, lo que determina la continuación e interpolación de los índices, que de otro modo parecería caótica. Además, y simplemente como ayuda visual, se colocan de ordinario puntos después de cada grupo de tres cifras. De este modo, en el ejemplo anterior los índices .53 a posteriores se escriben: 53, 531, 531.7, etc., y así es como figuran en las tablas principales.

Organización de la información

Para organizar la información existente en los documentos de una biblioteca o centro de documentación se utilizan las denominadas **fichas bibliográficas**. En esas fichas viene dada la filiación de todos y cada uno de los libros o documentos y cabe imaginarlas como una síntesis del mismo y casi como su *sucedáneo*, ya que, dado que todo libro entra en una biblioteca para ser leído, y que en un momento dado un parte considerable de los libros, si se trata de una biblioteca de préstamo, pueden estar en manos de los lectores, las fichas del catálogo vendrán a ser sustitutos de los libros.

Todo libro ha de estar bien reproducido, bien "*fotografiado*", en la cartulina o ficha que lo representa, o sea, en la **ficha bibliográfica**. Por ello, al catalogar un libro no suele ser suficiente el mirar la portada, sino que hay que repasarlo totalmente para elaborar la ficha principal, la de autor, y penetrar, luego, en su espíritu para realizar la de materias y clasificarlo. Esta tarea compleja es la que realiza el personal especializado en información científico-técnica, y es la que permite que la

información de las bibliotecas y centros de documentación resulten accesibles a las búsquedas de información requeridas para el soporte conceptual de las investigaciones.

De estas fichas, las de **autores** son las consideradas como **principales**, en primer lugar porque han de contener la descripción bibliográfica, en forma detallada; en segundo lugar porque su redacción sirve de modelo para realizar las de materias y las referencias que se precisen.

En las **fichas de autores**, los datos que se incluyen son los siguientes:

- Apellidos y nombre del autor
- Título del libro
- Nombre de traductores, prologuistas, ilustraciones
- Lugar de publicación. Editorial o imprenta. Fecha
- Paginación y páginas, formato.
- Número de registro. Encuadernación
- Nombre de la colección y número en el interior de ésta

Las **fichas de materias**, por su parte, responden a la demanda y necesidad de saber qué bibliografía existe o hay disponible sobre una determinada materia. Para su confección no basta con los elementos físicos de libro, con en el caso de la **ficha de autor**, sino que además hay que saber de qué trata y como viene tratado.

El resultado suele ser doble; la **clasificación sistemática** y la **ordenación alfabética** de materias. La primera se traduce en cifras simbólicas, arbitrarias, o sea la **CDU** y para la segunda se utiliza un nombre clave, un concepto básico, una palabra concreta que determine el contenido (**materia**) del libro: la **palabra clave**.

2.3 Búsqueda de la información científico-técnica y procesamiento de la

misma.

Búsqueda de la información

En la actualidad la información científico técnica acumulada es inmensa y por lo tanto buscar, entre toda esa cantidad de información, la que es de nuestro interés se convierte en una tarea difícil. Esto hace imprescindible conocer las diversas fuentes que existen para poder realizar la búsqueda de la información científico – técnica requerida.

Entre las más importantes de esas fuentes se tienen:

- Las colecciones de revistas y libros y documentación en general, en Bibliotecas y Centros de Documentación especializados del país y en Centros de Documentación y Bibliotecas de diferentes organismos e instituciones y de los centros de investigación y de educación superior del país.
- Las bases de datos automatizadas, nacionales e internacionales, que se consultan a través de las computadoras, en las bibliotecas y centros de información. Ej: **Medline** (Ciencias Médicas), **Repidisca** (Medio Ambiente en América Latina), **Current Content**, etc.)
- La información de patentes
- La Internet

Para la consulta de las colecciones de libros y revistas y las bases de datos, se requiere previamente conocer qué centros de investigación y organizaciones pueden tener información sobre el tema que se va a investigar, así como conocer las bases de datos que hay disponibles en el país, sus características y donde se pueden consultar. Como punto de partida se puede comenzar por el **Centro de Educación Superior** al que se esté vinculado o al más cercano, así como con la **Biblioteca Nacional de Ciencia y Técnica** en La Habana.

En cada Biblioteca o Centro de Documentación e Información existen las instrucciones sobre los procedimientos específicos de búsqueda y se puede

recibir asesoría del personal que trabaja en las mismas, aunque en todos los casos se requiere consultar las **fichas bibliográficas (fichas de autor y fichas de materia)**.

Sin embargo, como paso previo a la realización de las búsquedas, se deben conocer, por ejemplo, autores destacados en el tema en que se realiza la búsqueda, palabras claves relacionadas con el tema, tipo de publicaciones dedicadas a ese tema e instituciones, eventos en los cuales se trata el tema, e instituciones y organizaciones relacionadas con el mismo, de manera tal que se puedan localizar los autores, libros, revistas, proceedings, etc. que puedan ser de interés. Sólo a partir del conocimiento de los autores, temas o tipos de documentos que resultan de interés para la búsqueda que se esté realizando, se puede comenzar a buscar en las **fichas de autores y fichas de materias** del centro en cuestión.

Esa búsqueda se realizará, en la mayoría de las ocasiones, de forma manual, trabajando directamente con los **catálogos de fichas**, aunque en otros casos se pueden realizar esas búsquedas en bases de datos disponibles en computadoras. Esas bases de datos pueden ser las propias del centro de información que se visite, pero también se disponen de bases de datos internacionales. En el caso de las bases de datos internacionales, se necesita primero conocer los distintos tipos de bases de datos existentes que se relacionan con el tema o la especialidad que interesa y de ellas las que están disponibles en el país, así como en que lugar o lugares específicos se pueden acceder a las mismas. De esa forma se puede seleccionar las que puedan contener información útil y los lugares donde se deben ir a consultar.

Dentro de esas bases, la información se clasifica de forma más amplia que en las fichas de materia, ya que en lugar de una **palabra clave** se usan un grupo de **palabras clave**, por lo cual se necesita tener idea de las **palabras claves** que se

relacionan con el tema de interés, de manera que se puedan solicitar los documentos donde se encuentren esas palabras.

La manera exacta de realizar la búsqueda con palabras claves depende de la base de datos en cuestión y del software de base de datos que se utilice en la institución de información en que se vaya a realizar la consulta, por lo cual deben pedirse las instrucciones pertinentes al personal que labora en dichas instituciones.

El otro tipo de fuente de información, las patentes, se convierte en imprescindible, ya que la cantidad de información que hay disponible en los Centros de Patentes, como es el caso de la **Oficina Nacional de la Propiedad Industrial** cubana, es de una magnitud increíble y resulta una información muy actualizada que permite conocer el estado del arte actual a nivel mundial de la temática de interés. Además el análisis de la información acumulada permite conocer los diversos enfoques que se le han dado a través del tiempo a la solución de los problemas científicos y tecnológicos y del estudio de las mismas se pueden obtener ideas útiles para la solución de los problemas actuales.

Para la búsqueda de patentes se utilizan también bases de datos computarizadas y en Cuba las mismas se pueden consultar en la Oficina Nacional en La Habana o en las dependencias que esta institución tiene en distintas provincias del país. En esas dependencias se cuenta con personal especializado que brindan asesoría para realizar dichas búsquedas y en ocasiones se puede obtener, por encargo, un servicio especializado de búsquedas de patentes sobre un tema específico.

Finalmente se tiene a **Internet**, cuyo uso es cada día más intenso y donde también cada día hay más información acumulada, pero también se hace cada día más difícil tener acceso a la misma, de manera tal que se pueda hallar la información de interés en un plazo de tiempo razonable y que se pueda además confirmar la validez de dicha información.

Procesamiento de la información obtenida.

Una vez seleccionada la información que resulta de interés, el problema que aparece es como procesar la misma de forma tal que resulte útil para el trabajo que se va a realizar. En este punto hay que considerar que la mayoría de las veces la información sólo puede ser consultada en el centro de información y no siempre se puede obtener copia impresa o electrónica de la misma, por lo cual la confección de **fichas bibliográficas** resulta de gran importancia, por las mismas razones con que se justificaba la existencia de las fichas en una biblioteca o centro de documentación: **para servir de sustituto al libro o documento completo.**

Además, incluso en los casos en que se dispone del libro o documento completo, resulta muy conveniente contar con un resumen adecuado del contenido fundamental de dicho documento, resaltando los aspectos que son de especial importancia para el tema en que se realiza la investigación, para lo cual se deben seguir procedimientos muy similares a los que los especialistas en información científico técnica utilizan para confeccionar las fichas de los libros y documentos en general.

Como guía fundamental tiene que estar el concepto de que la **ficha debe ser capaz de sustituir, al menos parcialmente, el documento que cataloga,** de manera tal que a la hora de redactar ya sea el proyecto de investigación, el artículo científico, la ponencia a un congreso o el informe final de la investigación, la lectura de las fichas pueda hacer posible realizar las citas correspondientes y confeccionar las referencias bibliográficas necesarias para cada tipo de trabajo. La mayor o menor cantidad de información que se incorpore en las fichas depende de cada caso particular, pero siempre debe ser la mayor posible, sin que llegue a ser tanta que dificulte el uso de la ficha y reduzca por lo tanto su capacidad de sustituto del documento en cuestión.

El otro problema que se presenta con las fichas es la forma de conservarlas y de poder procesarlas adecuadamente para la confección de las citas y las referencias

bibliográficas y hasta no hace tanto tiempo, esto se resolvía con la confección de fichas en cartulina y su almacenamiento en gavetas, con tarjetas separadoras que facilitaban su consulta. Sin embargo en la actualidad, la disponibilidad y potencialidad creciente de las computadoras, ha hecho que esta tarea se realice casi exclusivamente en forma electrónica, utilizando las bases de datos o software de uso específico.

La manera más simple de procesar electrónicamente la información obtenida, es mediante la creación de una base de datos, para la cual se definan los campos necesarios y cada registro sea una referencia bibliográfica en particular. Para esto se pueden utilizar las listas del **Microsoft Excel** o mejor aún las bases de datos del **Access**, también de **Microsoft**, por mencionar sólo los más conocidos y difundidos en la actualidad.

Sin embargo, existen software específicos que permiten no sólo procesar la información acopiada como una base de datos, sino que también facilitan la búsqueda en las bases de datos de bibliotecas, centros de información e Internet y la confección de las citas y referencias en los documentos que se deben elaborar en las distintas etapas de la investigación. Como ejemplo de estos software se tiene el **EndNote (30)**, que será el que se utilice en las clases prácticas de este Tema.

En particular el **EndNote** tiene tres funciones principales:

1. **Herramienta para búsqueda en línea**: brinda una forma simple para la búsqueda en línea de **bases de datos bibliográficas** y permite importar ficheros de datos desde una variedad de servicios en línea, CD-ROMs y bases de datos de bibliotecas.
2. **Creación de bases de datos de referencias**: Permite almacenar, administrar y realizar búsqueda en las referencias bibliográficas de la biblioteca particular del investigador.

3. **Herramienta para confeccionar referencias bibliográficas**: Facilita la inserción de las citas durante la confección de un documento dado y al finalizar el mismo permite revisar la totalidad de citas realizadas y construye automáticamente las relaciones de los trabajos citados y las ajusta al formato requerido. El programa cuenta con una impresionante cantidad de formatos para la confección de las referencias bibliográficas, y permite también construirlas a pedido del usuario.

En la clase práctica se trabajará con ese software, principalmente en la parte relativa a la confección de las bases de datos, la inserción de las citas en los trabajos y la realización automática del listado de referencias, en el formato requerido. Los que no dispongan de la licencia correspondiente, pueden descargar una versión Demo válida por treinta días, de la página Web de la compañía distribuidora de ese software (www.endnote.com).

Anexo:

Clase práctica Tema 2 (A desarrollar en Laboratorio de Computación con conexión a Internet):

- Ejercicio de búsqueda de información en Internet.
- Uso del Software Bibliográfico *EndNote*.

TEMA 3. EL DISEÑO TEÓRICO Y LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS.

- Profundizar en los aspectos teóricos del diseño de la investigación
- Aprender a seleccionar el problema que se resolverá con el Proyecto de Investigación
- Aprender a plantear adecuadamente las hipótesis y los objetivos
- Conocer como se elabora el Protocolo o Proyecto de Investigación

3.1 Diseño teórico de la investigación.

Como se definió anteriormente, el diseño teórico de la investigación comprende la definición del **problema**, la elaboración de las **hipótesis** para la solución del problema y la definición de los **objetivos** que se deben alcanzar para obtener dicha solución.

Esta tarea significa un paso difícil, pero necesario. Se realiza en el plano teórico y ha sido lamentablemente poco estudiado, y no abunda literatura acerca de él, por lo que se trata de un tema relativamente poco conocido. Esto ha motivado que no pocos investigadores aborden la elaboración de un **proyecto de investigación**, apoyándose en concepciones embrionarias, en verdad primitivas, en lo referente a la definición del **problema**, de las **hipótesis** y de los **objetivos** [Bermúdez, 1988].

Esto se debe a que en muchos casos el nivel de conocimientos metodológicos de un número significativo de profesionales que se enfrentan a la ejecución de investigaciones es relativamente bajo, en especial en lo concerniente a este aspecto de **diseño teórico de la investigación**. En general se le concede más atención a las cuestiones relacionadas con el diseño muestral y los problemas del tratamiento estadístico de los datos derivados de la investigación.

A pesar de ese desconocimiento pudiera argüirse que los objetivos de las investigaciones se logran muchas veces a pesar de ignorar parte de los principios que deben regir este proceso o aplicándolos de manera espontánea, defectuosa o incompleta. Sólo que la realidad permite comprobar que por ello se paga un precio, pues se hace inevitable invertir más recursos, materiales, esfuerzos y sobre todo tiempo.

Por tanto se hace evidente la necesidad de optimizar este proceso, y para ello resulta decisivo incluir los conocimientos relacionados con los principios que permiten optimizar esta etapa del proceso. Por esos motivos, en este tema se pasará a estudiar con detenimiento cada uno de los componentes del **diseño teórico de la investigación**, antes de pasar a definir la forma en que se debe elaborar el **proyecto de investigación**.

3.1.1 El problema de investigación

Definiciones elementales

El método de trabajo científico comienza con la observación de un área particular de fenómenos (**tema**) que interesa, por razones válidas al investigador. Por lo tanto el **tema** es el área o campo de trabajo que será objeto de estudio, y por ello es un concepto de carácter más general que **problema**. La elección del tema es el primer paso en la realización de una investigación y resulta de mucha importancia pues del mismo se deriva el **problema** que va a ser resuelto por la investigación.

De la observación de esta área peculiar de fenómenos, el investigador rastrea las dificultades que hay que resolver o las preguntas que se deben responder. Precisamente en el lenguaje popular, el concepto **problema** se relaciona con algún tipo de dificultad u obstáculo [Bermúdez, 1988 #2] o más bien con algo desconocido o insuficientemente conocido, pero eso no significa que sea algo que deba investigarse. Esas dificultades u obstáculos son la fuente de las **ideas**, las cuales surgen dentro de un **tema** dado, son generalmente vagas y pueden

desembocar o no en **verdaderos problemas científicos**. Las buenas ideas deben alentar al investigador, ser novedosas y servir para concretar el **problema**.

Un **problema** puede definirse como una pregunta surgida de una observación más o menos estructurada. **Un problema puede considerarse básicamente como un instrumento de información nueva**, por lo menos para la persona que pregunta, acerca de observaciones o acerca de fenómenos observados, siendo la novedad del problema un concepto relativo (28).

A su vez, un **problema científico** puede definirse como aquél cuya urgencia científica o humana los hace sobresalir para ser estudiados. La identificación de un **problema científico** no siempre resulta fácil. En la medida en que esto sea claro para el investigador, también lo será el contenido de la propuesta de investigación que se elaborará posteriormente.

Tipos de problemas

Teniendo en cuenta la vinculación que existe entre un problema y una situación relacionada con un déficit de conocimientos, los problemas de investigación pueden clasificarse en dos grupos [Bermúdez, 1988]:

- Déficit de conocimientos con relación al sujeto de la investigación
- Déficit de conocimientos con relación al objeto de investigación

Los problemas del primer tipo ocurren cuando la escasez de conocimientos se relaciona con el nivel de conocimientos del sujeto de investigación; es decir, de los individuos que la realizan. Así este déficit de conocimientos puede superarse elevando el nivel de información del sujeto (de aquí que todo proyecto debe comenzar con el **soporte conceptual**, o sea con el conocimiento de la bibliografía anterior).

Este rasgo nos permite definir estos problemas como de naturaleza subjetiva, porque expresan limitaciones directamente relacionada con la personalidad de los investigadores. Ello pone en primer plano la importancia de la solución de los problemas de la información en cualquier tipo de investigación. O sea, la información ya existente en alguna otra parte, pero desconocida por el sujeto que emprende la investigación. Aquí también deben incluirse los casos en que la falta de aptitudes y experiencias del sujeto le impide hacer uso adecuado de la información, aunque la tenga.

Un problema de investigación que se puede incluir aquí a manera de ejemplo para ilustrar este criterio de clasificación es el relacionado con el desarrollo de una combinada cortadora de caña autopropulsada, desarrollada en Cuba. Los trabajos de investigación desarrollo comenzaron en los primeros años de la década del 60. Casi 20 años de tenaz lucha costó a los técnicos cubanos llegar a desarrollar el modelo KTP1. Sólo en este modelo específico se trabajó durante 6 años. Sin embargo, no puede afirmarse que el problema tecnológico de la construcción de una cortadora mecánica de caña fuera resuelto por primera vez en Cuba. En otros países, años antes, se habían desarrollado modelos (Por ejemplo la **Masey Ferguson**) capaces de resolver de manera aceptable el corte mecanizado. El mérito de los investigadores cubanos está en haber aprovechado racionalmente la experiencia internacional, y, a partir de ella, desarrollar un modelo propiamente cubano, no una simple copia de la máquina extranjera.

El segundo tipo de problemas es el vinculado con el déficit de conocimientos relativos al objeto de la investigación. Es decir, se trata de deficiencias que no pueden resolverse sólo mediante la superación de los niveles de información de los individuos que integran el sujeto de la investigación. Aquí el problema se expresa en una carencia objetiva de conocimientos. En los frentes de trabajo de cada rama científica, siempre existe un conjunto de problemas de este tipo.

En resumen podemos expresar que tanto un tipo de problema como otro, son reales, y ambos son capaces de expresar situaciones problemáticas, pero de distinta naturaleza. Debe aclararse, por último, que no existen delimitaciones absolutas entre ambos tipos de problemas. Esto significa que en los problemas del primer grupo pueden encontrarse características de los del segundo grupo y viceversa.

Otra clasificación posible se relaciona con la respuesta que se quiere obtener y en ese caso pueden ser:

- **De explicación:** Si se pregunta por la variable independiente desconocida de una o varias variables dependientes.
- **De predicción:** Si se pregunta por la conducta de las variables independientes respecto a las variables dependientes observadas.

Aquí, al igual que con el otro criterio de clasificación, las delimitaciones entre ambos tipos de problemas no es rigurosa y en cada grupo de problemas pueden encontrarse características del otro.

Pasos a dar para la elaboración de un problema científico:

Para la identificación y definición de un problema científico se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Partir de una breve descripción inicial del problema
- b. Ampliar la descripción del problema con la literatura disponible y a través de ésta estudiar más a fondo el problema
- c. Enfocar la atención sobre los aspectos más importantes del problema
- d. Realizar una prueba preliminar para identificar el problema siguiendo el siguiente plan:
 - Discrepancias entre lo que es y lo que debe ser
 - Preguntas sobre las causas de esta discrepancia
 - Posibles respuestas a esas preguntas

- e. Redactar nuevamente la identificación y definición del problema, integrando todos los elementos reunidos a través de la información disponible, tratando de delimitar bien el problema y concentrarse en los aspectos más importantes que deben ser investigados y lograr esto con calidad y precisión
- f. El documento preparado debe ser dado a leer a más de una persona para confirmar su claridad y precisión. Si el problema no está claro, si la discrepancia entre lo que es y lo que debe ser no es evidente para el lector, será necesario comenzar de nuevo el proceso

Formulación del problema de investigación

Teniendo en cuenta que un problema puede definirse como una pregunta surgida de una observación, resulta lógico formular un problema precisamente a partir de una pregunta a la cual se debe dar respuesta con la investigación y por lo tanto esta es la manera más utilizada para formular los problemas. No obstante, también es posible formular el problema a manera de enunciado.

Como ejemplo de un problema formulado de las dos maneras se tiene:

A manera de **pregunta**:

¿Cómo se pueden identificar, evaluar y caracterizar los impactos ambientales que provoca el sistema de Generación de electricidad de la Empresa del Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” (**ENCEGC**) y el sistema de Transmisión eléctrico adyacente, de manera tal que se puedan establecer estrategias para el manejo ambiental de dichos impactos?

En **forma de enunciado**:

Existen impactos ambientales provocados por el Sistema de Generación de la **ENCEGC** y el sistema de Transmisión eléctrico adyacente, los cuales no han sido identificados, caracterizados y evaluados, lo que impide establecer estrategias para el manejo ambiental de los mismos.

Rasgos que tipifican un problema científico:

- Los conocimientos que se buscan poseen valor práctico o teórico superior a los existentes
- Corresponden en verdad a una necesidad social
- Su solución garantiza el ulterior desarrollo de la teoría o de la práctica, difícil de lograr sin resolverlos

Si se cumplen al menos uno de esos requisitos, se puede definir un punto de partida para una investigación, basado en una correcta formulación del problema que lo justifica.

Además de estos rasgos básicos, un problema práctico tiene que cumplir también con los siguientes requisitos:

- Que sea de interés a una persona o institución.
- Que se conozca adecuadamente por el investigador
- No sea ni muy amplio ni muy limitado
- Que tenga importancia y actualidad
- Que existan las condiciones materiales, humanas y económicas para su ejecución.

Análisis de los términos de un problema

Un problema debe ser redactado con objetividad y especificidad y estar bien elaborado, generalmente en forma de pregunta. Se debe prestar especial atención al análisis de los vocablos (términos) que se emplean en su formulación. Ese análisis se refiere a la **empiricidad y objetividad, fidedignidad y validez** de los **términos** del problema.

Muchas confusiones y penosas experiencias provienen precisamente de un análisis defectuoso de los términos del problema enunciado. Palabras sumamente

sencillas ocultan una multiplicidad de significados posibles que contribuyen a oscurecer y en algunos casos a imposibilitar la solución de un problema.

Por **empiricidad** se quiere decir que el significado del término o vocablo utilizado sea verificable por la experiencia. Por **objetividad** se entiende un grado superior de empiricidad: es la condición de una definición de un término tal que el término sea definido por las acciones necesarias para observarlo o medirlo.

La **validez** de un término utilizado en la formulación de un problema se refiere precisamente a que designe exactamente el fenómeno que estamos estudiando. Los términos utilizados deben ser tales que permitan que el problema quede definido de manera específica, determinándose cuál debe ser el aspecto central que va a constituir el objeto del estudio y que cuestiones particulares interesan en ese aspecto central.

La **fidedignidad** puede derivarse de la empiricidad, operatividad y validez de las definiciones. Un término es **fidedigno** cuando cualquier investigador lo entenderá en la misma forma en que fue definido en el trabajo de investigación, de suerte que no podrá ser confundido con otro fenómeno, ni se incluirán en la definición fenómenos que no pertenezcan a ella. Las ideas vagas asociadas a numerosos vocablos equivalen a una auténtica ignorancia. Es mejor trabajar con un de pequeño alcance explicativo pero que sea operativo, que pretender trabajar con términos de gran alcance explicativo o predictivo pero inoperativos, porque tal trabajo estaría inevitablemente condenado al fracaso.

3.1.2 Las hipótesis

Definición de hipótesis

Una vez definido el problema y sobre la base de la experiencia y de conocimientos previos, el investigador elabora una **explicación provisional del problema**. Esta aproximación preliminar del problema se denomina **Hipótesis**.

La **Hipótesis** es una proposición científicamente fundamentada con carácter probabilístico, referida a la esencia, causa o contexto de determinados fenómenos de la realidad objetiva. La hipótesis constituye una herramienta que nos ayuda a ordenar, estructurar y sistematizar el conocimiento a través de una proposición. Es decir, las hipótesis implican una serie de conceptos, juicios y raciocinios tomados de la realidad, que nos lleva a la esencia del conocimiento.

Otras definiciones y conceptos sobre las hipótesis:

- La hipótesis implica una duda, algo que no se tiene certeza, o sea que se supone.
- La hipótesis es el puente entre el conocimiento ya obtenido y el conocimiento nuevo.
- Son proposiciones referentes a hechos no sometidos a prueba, apoyados en el conocimiento científico, susceptibles de ser confrontados con los datos y corregidos con los nuevos conocimientos.
- Una hipótesis es una anticipación en el sentido de que propone ciertos hechos o relaciones que pueden existir, pero que todavía no se conocen y no se han comprobado que existan.
- Hipótesis es una proposición enunciada para responder tentativamente a un problema.
- Es un intento de explicación o una respuesta provisional a un fenómeno.
- Hipótesis es aquella formulación que se apoya en un sistema de conocimientos organizados y sistematizados y que establece una relación entre dos o más variables para explicar los fenómenos que son objetos de estudio.

Requisitos para la formulación de una hipótesis

Las hipótesis deben:

- Ser formalmente correctas: Esto significa que su formulación debe ser clara y precisa y que se deben construir sobre la base de los conceptos de la ciencia.
- Ser compatibles con el conocimiento científico precedente. Esto significa que deben tener fundamentación teórica. Si para el problema de investigación que se está tratando existe un cuerpo de teoría, se está en la obligación de vincular las hipótesis a la teoría existente. Si no existiese ese cuerpo de teoría para el problema, de todas formas las hipótesis tienen que ajustarse a los conocimientos y la tradición de las ciencias. El único modo de lograr entrar en contacto con la teoría existente y la experiencia acumulada, para poder relacionar nuestra problemática actual con el conocimiento presentes es consultando con la bibliografía.
- La hipótesis debe ser contrastable. Esto significa que la hipótesis debe ser susceptible a ser sometida a la experimentación o a la verificación empírica, lo que puede dar lugar a que la misma sea confirmada o refutada. Sin embargo ambas situaciones son importantes para la ciencia. Ahora bien, las hipótesis más generales no permiten una comprobación empírica directa, por lo cual en esos casos el requisito de la verificación debe ser modificado de la forma siguiente: Toda hipótesis debe ser directa o indirectamente contrastable.

Tipos de hipótesis.

Los dos tipos de hipótesis más utilizados son las **descriptivas** y las **explicativas**.

A su vez las **descriptivas** pueden ser de dos tipos:

- a. Las que enuncian el comportamiento de una característica. Ejemplo: cuando afirmamos que *existe poca estadía de los barcos en el puerto de Matanzas*, nos referimos al comportamiento de la característica **estadía** en un contexto determinado.

- b. Las que establecen asociaciones entre distintos tipos de fenómenos, sin establecer la dirección de esta asociación. Ejemplo: *La productividad de los estibadores del puerto de Matanzas está asociada al plan de estimulación.* Aquí se está estableciendo un vínculo entre dos parámetros (productividad y estimulación) sin establecer una determinación causal.

Las hipótesis **explicativas** son las que establecen nexos causales entre distintos acontecimientos o hechos. Es decir, explican el porqué el fenómeno es de una manera y no de otra. En ese caso una hipótesis de este tipo afirma que una determina ocurrencia x determina la ocurrencia y. Ejemplo: La revoltura de un clarificador de la industria azucarera determina una mala calidad del jugo clarificado.

Además de estos dos tipos, las hipótesis pueden dividirse también según el modo de gestación de la misma o formas del pensamiento que participan en su elaboración. En ese caso se pueden dividir en **analógicas**, **inductivas** y **deductivas**, aunque se debe tener en cuenta que este tipo de clasificación es ideal y que en la práctica todas las hipótesis son construidas con inferencias de todas clases y por lo tanto se debe de hablar de hipótesis **predominantemente** analógicas, inductivas o deductivas.

- Las **hipótesis analógicamente halladas** son las inferidas por la captación de parecidos.
- Las **hipótesis inductivamente halladas** existen en dos categorías:
 - ✓ **Inducción de primer grado:** Son las que, a partir del estudio de algunos casos, se generalizan para toda una población. Ejemplo: Un estudio de la calidad de la cal en la Fábrica de Azúcar Cuba Libre, concluyó en una mala calidad del jugo clarificado para todos los centrales que utilizan cal de la calera de Jovellanos.
 - ✓ **Inducción de segundo grado:** Consiste en una generalización a partir de una inducción de primer grado. Ejemplo: Partiendo de la

inducción de primer grado vista anteriormente, se puede inferir que mientras peor sea la calidad de la cal utilizada en el proceso azucarero, más baja será la calidad del jugo clarificado en esta etapa del proceso.

- Las **hipótesis deductivamente obtenidas**: Son las que se infieren de supuestos ya establecidos de teorías generales anteriores. Ejemplo: Cuando a partir de supuestos bibliográficos se deducen hipótesis sobre la mejor ubicación de una planta productora de ácido sulfúrico.

Ejemplos de Hipótesis

Pueden ser escritas como **proposición** o como **suposición**. En el primer caso (**proposición**):

- El empleo de la Teoría del Escalado y el aprovechamiento de parte del equipamiento de la antigua Planta Piloto de Rayón y de la experiencia acumulada en la operación de dicha planta, hace posible diseñar una Planta Piloto para Fibrana, representativa del proceso industrial, que permita la realización a escala piloto de nuevas materias primas y otras modificaciones del proceso de producción de fibrana.
- El grado de satisfacción profesional constituye el elemento esencial que promueve entre los gerentes de unidades hoteleras, una disposición positiva al cambio organizacional

Ejemplo de hipótesis escrita como **suposición**:

- **Si** se realiza una acertada caracterización ambiental de los Sistemas de Generación y Transmisión eléctricos, se podrán identificar, caracterizar y evaluar los impactos ambientales que provocan, **se podrá entonces** establecer los lineamientos para el manejo ambiental de las situaciones adversas que dichos impactos provocan.

3.1.3 Objetivos

El **objetivo** de la investigación es **el enunciado claro y preciso de las metas que se persiguen en razón de la solución de un problema mediante el proceso científico**. Al principio y final de la investigación, los objetivos han de ser identificados con los resultados; es decir, **toda la investigación deberá estar respondiendo a los objetivos propuestos**.

Los objetivos se clasifican en **generales** y **específicos**. Los objetivos generales enumeran las metas que se proponen alcanzar a lo largo del desarrollo del trabajo y los objetivos específicos se relacionan con las tareas del proyecto, o sea, es el logro de una nueva situación en la que dicho problema ha sido solucionado.

Los objetivos nos permiten saber hacia donde se va:

- ¿Qué se va a investigar?
- ¿Qué propósito tiene la investigación que se plantea?
-

Los objetivos deben ser **claros, dinámicos** y **realizables**.

Para que sean claros deben:

- Emplear un lenguaje sencillo
- No ser largos.
- No deben incluir citas o comentarios por interesantes que parezcan.
- Debe existir relación entre los objetivos generales y los específicos
- Debe presentarse un orden.

Para que sean dinámicos deben:

- Iniciarse con un verbo activo en infinitivo.
- Presentarse como un desafío comprometido.

Para que sean realizables debe lograrse que:

- El cambio o resultado propuesto sea una efectiva respuesta a la solución planteada.

- Esté al alcance de los que van a trabajar.
- Tenga en cuenta las experiencias anteriores

Los objetivos de tipo cognoscitivo se expresan mediante un verbo, que tienen diferentes niveles de complejidad (**Tabla 3.1**):

3.2 Protocolo o Proyecto de Investigación.

3.2.1 Introducción

La propuesta de investigación podría describirse como el planeamiento de la idea, concretada en problema, en el cual se indican y justifican los conjuntos de acciones necesarias para alcanzar los objetivos, dentro de determinados parámetros de concepción, tiempo y recursos. El documento escrito de la propuesta se denomina **protocolo o proyecto de Investigación**.

La formulación de la propuesta es, sin duda, uno de los pasos más creativos en toda obra. Los especialistas que se dedican a concebir una investigación, es decir a planear y formular un proyecto, escriben un documento. En la actividad investigativa es usual registrar por escrito todos los factores, para evitar dejarlos en la memoria y para garantizar una mayor seguridad y precisión, por eso esta etapa de concepción y formulación de la investigación culmina con un documento escrito.

En una investigación científica han de planearse detalladamente los aspectos técnicos, metodológicos, de administración y control y de infraestructura institucional. Es lo que se denomina formular una propuesta de investigación científica, que consiste en disponer cuidadosamente, en un documento escrito, las actividades que han de llevarse a cabo y las especificaciones y parámetros de cada una de ellas. Este documento recibe diferentes denominaciones, tales como: **proyecto, protocolo, propuesta de la investigación, diseño de la investigación o plan de trabajo**.

La propuesta cumple las dos funciones básicas de todo ejercicio de planeación:

- Sirve de base para tomar la decisión sobre si conviene o no emprender la investigación propuesta.
- Sirve de guía en la realización de la investigación

Cuando ya se tiene concebido el problema de investigación, es conveniente escribir ordenadamente todos los aspectos técnicos, metodológicos y de financiamiento de la investigación a realizar. A continuación se ofrece una guía para la elaboración del proyecto, cada investigador en función de su experiencia puede adaptar y manejar su propia guía, dentro de ciertas características que sean lógicas y coherentes.

En la Tabla 3.2 se presentan las partes de que se compone el Protocolo o Proyecto de Investigación y en la Tabla 3.3 se resumen las interrogantes que se responden con cada una de esas partes.

3.2.2.Portada

En la Portada se muestran los datos generales del proyecto, los que consisten en:

Nombre o título del protocolo o proyecto.

Es el título que se otorga y que deberá permanecer durante toda la vigencia del trabajo, el nombre que se asigne debe ser preciso, claro y completo; es decir identificar el protocolo en forma inequívoca y debe responder a las siguientes preguntas:

- ❖ **Qué se hará:** Se refiere al proceso que se realiza mediante el protocolo, como por ejemplo la “**Evaluación**”.
- ❖ **Sobre qué:** Es el segundo elemento del nombre y se refiere al objeto sobre el cual recae el proceso, como por ejemplo. “**Evaluación de los cilindros hidráulicos tipo K**”
- ❖ **Dónde:** Se refiere a la localización o ubicación del protocolo en un sitio geográfico, es decir, debe indicar, departamento, municipio o provincia donde se ubica, como por ejemplo. “**Evaluación de los cilindros hidráulicos tipo K fabricados en la EREA 3**”.

- ❖ **Cuándo:** Si es necesario se ubica en tiempo, como por ejemplo: “**Evaluación de los cilindros hidráulicos tipo K fabricados en la EREA 3 durante el último quinquenio**”.

Tabla 3.1. Verlos más utilizados en los Objetivos

NIVELES DE COMPLEJIDAD					
I	II	III	IV	V	VI
Información	Comprensión	Aplicación	Análisis	Síntesis	Evaluación
Anunciar	Informar	Operar	Contratar	Establecer	Escoger
Enumerar	Seriar	Convertir	Inspeccionar	Deducir	Estructurar
Listar	Identificar	Dibujar	Discutir	Dirigir	Descubrir
Memorizar	Reafirmar	Utilizar	Diferenciar	Diseñar	Clasificar
Nombrar	Describir	Demostrar	Destacar	Formular	Estimar
Recordar	Revisar	Programar	Criticar	Organizar	Cuestionar
Registrar	Exponer	Trasformar	Examinar	Elaborar	Pronosticar
Relatar	Reconocer	Dramatizar	Experimentar	Reunir	Valorar
Repetir	Interpretar	Aplicar	Distinguir	Plantear	Juzgar
Reproducir	Ordenar	Esbozar	Desmenuzar	Preparar	Justificar
Subrayar	Expresar	Practicar	Probar	Construir	Calificar
	Traducir	Emplear	Analizar	Proponer	Evaluar
	Ubicar	Ilustrar	Comparar	Crear	Seleccionar
		Producir	Catalogar	Explicar	Predecir
		Resolver	Introducir	Concluir	Detectar
		Ejemplificar	Inferir	Reconstruir	Debatir
		Comprobar	Discriminar	Idear	Criticar
		Calcular	Subdividir	Reorganizar	Argumentar
		Manipular		Sumarizar	
		Medir		Resumir	
				Generalizar	
				Definir	
				Reacomodar	
				Combinar	
				Componer	

Nota: No es recomendable usar como objetivos cognoscitivos los verbos estudiar, conocer, saber, desarrollar, etc.

Tabla 3.2. Partes de un Protocolo de Investigación

No.	
1	Portada
2	Tabla de Contenido
3	Resumen
4	Antecedentes
5	Estado actual de la temática
6	Objetivos
7	Resultados esperados
8	Aspectos metodológicos
9	Estudio técnico económico
10	Cronograma de la Investigación
11	Datos de los Investigadores

Tabla 3.3 Tabla resumen de las interrogantes que responde las partes del Protocolo o Proyecto de Investigación.

Etapas del proyecto	Interrogantes
Título	¿Qué estudiar?
Antecedentes y estado actual de la temática	¿Quiénes han investigado anteriormente sobre la temática planteada? ¿Qué se pretende probar?
Objetivos	¿Qué propósitos tienen la investigación que se plantea?
Resultados	¿Qué beneficios se esperan alcanzar? ¿De qué forma se comprueba que se han alcanzado los objetivos propuestos?
Estudio Técnico Económico	¿Quiénes son los principales usuarios de la investigación? ¿Qué recursos se necesitan? ¿Cuáles son las ventajas finales de la investigación?
Aspectos metodológicos	¿Cómo se va a realizar la investigación?
Cronograma	¿Qué tiempo se va a emplear en hacer la investigación?

Clasificación del proyecto.

Es necesario clasificar la propuesta; teniendo en cuenta el tipo de investigación que se va a realizar, o sea si es Innovación Tecnológica, o si es Investigación Desarrollo. Además en el caso específico de un proyecto académico conducente a la obtención de un título, debe especificarse el tipo, o sea si es Tesis de grado, de Maestría o Doctoral.

Datos del investigador principal

Nombre y apellidos del investigador principal

Título profesional, académico o científico.

Dirección de la institución a la que pertenece.

(En el caso de las Tesis debe brindarse también los datos del Tutor o Tutores).

3.2.3 Tabla de Contenido

Después de la **Portada** con los Datos Generales, se coloca la **Tabla de Contenido** donde se detallan los distintas partes del Protocolo o Proyecto y la página en que se encuentran.

La mejor forma de obtener esta **Tabla de Contenido** es, si se utiliza el **Microsoft Word**, seleccionar el Menú Insertar y dentro de éste la opción Índice y Tablas. A su vez, dentro de Índice y Tablas se debe escoger Tabla de Contenido y posteriormente seleccionar el formato en que se debe presentar dicha Tabla. Aquí se debe aclarar que para que esta opción funcione, se requiere el empleo previo de los **Estilos**, para definir el **Nivel (1, 2, 3, etc.)** de los **Títulos**.

3.2.4 Resumen

Un resumen es la expresión extractada del contenido básico de un documento o de parte de éste y permite al lector identificar rápidamente esta información con la precisión adecuada [Crespo, 1987]. El resumen muestra el contenido esencial de la propuesta, usualmente el planteamiento del problema, la Hipótesis, la

metodología a seguir y los resultados a obtener. El resumen debe ser **comprensible, sencillo, exacto, informativo y preciso.**

En la redacción del resumen se deben considerar los siguientes aspectos:

- Redactar el resumen en tercera persona y en voz activa.
- La primera fase del resumen se debe redactar de manera que haga innecesario la repetición del título.
- Evitar el empleo de palabras rebuscadas
- Utilizar una terminología científica y comprensible.
- Utilizar sólo las abreviaturas reconocidas internacionalmente.
- Confeccionar el resumen en forma de bloque, o sea, no se dividirá el mismo en párrafos.
- Limitar la extensión a un máximo de 250 palabras (preferiblemente no mayor de una cuartilla).

En el resumen debe hacerse énfasis en la economía de palabras, por ello al concluir la escritura del **Resumen**, el autor debe revisarlo cuidadosamente, suprimiendo palabras redundantes, esclareciendo pasajes oscuros y rectificando errores. Como ejemplo de **Resumen** conciso, se tiene el caso de un científico que tenía una teoría terriblemente compleja acerca de la relación entre materia y energía. De esta teoría derivó un manuscrito, también terriblemente complejo. Sin embargo el científico comprendió que el **Resumen** tenía que ser corto y sencillo para que fuese aceptado. Así, pasó horas y horas escribiendo y emborronando cuartillas; eliminó palabra tras palabra hasta que, finalmente, toda la verborrea se eliminó. **Lo que este científico dejó escrito ha pasado a la Historia como el Resumen más corto jamás conocido:**

$$E = mc^2$$

3.2.5 Antecedentes

En los antecedentes se muestra el quehacer científico o tecnológico anterior que origina la propuesta investigativa. Los antecedentes se refieren al contexto en que se concibió y se desarrollará el trabajo. Cómo surgió la propuesta, por ejemplo, si es un proyecto para alguna empresa, si es un proyecto interno de investigación, si tiene cláusulas de confidencialidad, si es parte de un proyecto mayor, si tiene apoyos externos, etc.

En los antecedentes debe quedar bien formulado el **Problema que motiva la investigación**, la situación actual del mismo y la justificación del por qué se necesita llevar a cabo la investigación. Se planteará también claramente la (o las) **Hipótesis** propuesta(s) para la solución del problema y se deben mencionar los trabajos anteriores que se hayan llevado a cabo con igual o similar objetivo y los que hayan servido de base, de una u otra forma, al planteamiento de la investigación propuesta.

3.2.6 Estado actual de la temática (Marco teórico o estado de referencia).

Introducción

Se debe presentar una discusión preliminar del estado de desarrollo del tema, basado en una revisión de la bibliografía regional, nacional e internacional. y comparar la realidad en que se realizará el trabajo, con la situación existente en otros lugares de referencia. En caso de tratarse de una idea totalmente nueva, deberá mostrarse en forma más minuciosa la situación actual del conocimiento en el campo.

La elaboración del estado actual de la temática tiene las siguientes funciones:

- Ayudar a prevenir errores que se han cometido en otros estudios.
- Orientar sobre cómo habrá de realizarse el estudio.
- Ampliar el horizonte del estudio y guiar al investigador para que se centre en su problema evitando desviaciones del planteamiento original.

- Conducir al establecimiento de las hipótesis que más tarde habrán de someterse a prueba en la realidad.
- Inspirar nuevas líneas y áreas de investigación.
- Proveer de un marco de referencia para interpretar los resultados de estudio.

Para su confección debe responderse las siguientes preguntas:

- ¿Quién o quiénes han investigado anteriormente sobre el tema?
- ¿Qué aspectos y variables han sido investigadas?
- ¿Qué investigaciones se han realizado sobre el tema?
- ¿Qué investigaciones se han desarrollado sobre la comunidad o institución donde se desarrolla la investigación?
- ¿Qué experiencias o aportes han sido realizados para el manejo del tema o problema?

Para obtener la información necesaria se puede utilizar canales formales y /o informales. Los canales formales son los libros, folletos, revistas especializadas, tesis, normas, patentes y las memorias de congresos. Los canales informales son las entrevistas y conversaciones con expertos en el tema, la correspondencia y los congresos.

La importancia de la revisión bibliográfica radica en que permite escoger el problema y suministrar datos teóricos. Se parte de lo ya conocido, facilita estudiar lo que no se sabe, evita caer en repeticiones de investigaciones de poco interés científico y el despilfarro del tiempo. Para garantizar que se haya tenido acceso a la información más actualizada, **se recomienda que más del 50% de la bibliografía debe corresponder a documentos de menos de 5 años de publicados y que una parte considerable del resto tengan menos de diez años de publicados.**

Durante la elaboración del estado actual de la temática hay que incluir, convenientemente ubicadas dentro del texto, las citas de los documentos utilizados para llegar a las consideraciones expresadas. El estado actual de la temática se complementa finalmente con la relación, al final del mismo, de las referencias bibliográficas que han sido consultadas y que han dado base a las consideraciones expresadas en esta parte de la propuesta. En esta relación se incluyen principalmente las fuentes consultadas que tenga estrecha relación con el trabajo.

Sistemas de Referencias a utilizar

En el mundo existen un gran número de **Sistemas de Referencias** que se emplean por las diferentes editoriales para las referencias bibliográficas en las revistas científicas y en los libros, pero entre ellos se destacan dos sistemas básicos: el **Sistema por apellido y año (Sistema Harvard)** y el **Sistema Numérico por orden de aparición**. Existe también un sistema híbrido de los dos principales, el **Sistema Numérico por lista alfabética**.

El **Sistema por apellido y año (6)**, denominado **Harvard** por originarse en esa Universidad americana, fue muy popular durante muchos años y todavía es de uso común, sobre todo en el ambiente académico. Su gran ventaja es la conveniencia para el autor. Como las referencias no se enumeran, éstas pueden añadirse o suprimirse sin complicaciones. No importa las veces que se modifique la lista de referencias, la cita de "*Talavera y Pérez (1982)*" se mantiene igual en el texto. Si hay dos o más referencias de "*Talavera y Pérez (1982)*", el problema se resuelve fácilmente citando al primero como "*Talavera y Pérez (1982^a)*", al segundo como "*Talavera y Pérez (1982^b)*" y así sucesivamente.

Dado que una buena proporción de artículos tienen varios coautores, en el sistema **Harvard** se prefiere utilizar "**et al.**", (del latín "**et alii**"), en lugar de "y colaboradores" o "y otros", cuando los autores son más de dos. Esto es, los

apellidos se usan para citar a uno o dos autores (6, 8). Ejemplo: *Ronda, 1989; Sánchez y Betancourt, 1991*. Si se citan más de dos autores, generalmente se añade la locución “**et al.**” Después del apellido del primero. Ejemplo: *De la Vega et al., 2000*. En algunos casos se emplea la variante de citarlos todos la primera vez y si hay una segunda cita utilizar entonces la locución “**et al.**”, pero en la mayoría de las ocasiones se acostumbra a usar la locución desde la primera vez. Sin embargo, el uso de esta locución latina se limita a la cita dentro del documento. Cuando se relacionan las referencias en orden alfabético al final del documento, se deben poner los apellidos y la inicial del nombre de todos los autores.

Las desventajas de este sistema son relativas a los lectores y a criterios económicos. La desventaja para los lectores ocurre cuando se tienen que citar varias referencias dentro de una oración o un párrafo como ocurre con frecuencia en el caso del estado actual de la temática o marco teórico. A veces el lector se ve obligado a brincar por encima de varias líneas de referencias entre paréntesis antes de que se pueda volver de nuevo al texto. Incluso dos o tres referencias citadas juntas pueden distraer al lector. La desventaja económica es obvia: cuando “*Fuentes y Martínez (1982)*” puede convertirse en (5), se ahorra un considerable costo de composición e impresión.

El otro sistema muy utilizado es el **Sistema Numérico por orden de aparición** (6). Como indica su nombre, este sistema se basa en citar las referencias por enumeración consecutiva, según el orden en que éstas se citan en el texto, por lo cual no se sigue un ordenamiento alfabético de las referencias al final del texto.

El sistema evita el costo sustancial de composición atribuible al sistema por apellido y año; además suele tener lectores a su favor porque permite asociar rápidamente las referencias de interés en un sistema uno-dos-tres, tal como se citan en el texto. Este sistema es útil cuando los documentos a publicar contienen pocas referencias. Para documentos extensos, con muchas citas bibliográficas, este sistema no parece ser el más adecuado. No es cómodo para el autor, por lo

laborioso que resulta añadir o suprimir referencias (aunque si se emplean software como el **EndNote** este trabajo se realiza automáticamente de forma transparente para el autor). Tampoco es bueno para el lector, toda vez que la presentación en orden no alfabético de la lista final de referencias puede causar la separación de varios trabajos de un mismo autor.

El nuevo Sistema desarrollado para resolver las dificultades inherentes a los dos Sistemas básicos, es el conocido como **Sistema Numérico por lista alfabética (6)**. Las citas en el texto mediante números ofrecen obvias ventajas económicas. La lista alfabética con enumeración consecutiva, en particular cuando es numerosa, es bastante fácil de preparar por los autores y de emplear por los lectores (especialmente los bibliotecarios).

Aquellos que gustan del sistema por apellido y año, sienten cierta aversión por este moderno sistema por medio de números, planteando que se engaña al lector. De acuerdo con estos criterios, el lector tiene derecho a que se le exprese el nombre (apellido) de la persona asociada a la referencia y de conocer el grado de actualización correspondiente, sobre la base que una cita de 1965 puede enfocarse de manera muy diferente que una de 1995.

Sin embargo estas deficiencias pueden ser solucionadas si en el **Numérico por lista alfabética** se adopta una variante híbrida para la forma de realizar las citas dentro del texto. Esta variante, muy utilizada en la actualidad, se basa en que el autor puede decidir si son importantes los nombres y/ o los años, a medida que se acotan las referencias dentro del texto.

Por ejemplo, si la información no es trascendente dentro del texto, se cita sólo el número de la referencia en cuestión: "La tranilcipromina es el más eficaz inhibidor de la monoaminoxidasa (2)". Si se desea destacar la autoridad del autor, ello es posible en el contexto de la oración: "*Haller (5) considera que el trauma es la causa principal de muerte en el paciente pediátrico en Estados Unidos*". Si por el

contrario se quisiera subrayar la fecha, esto se logra también fácilmente en la oración: “*La técnica de auto injertos de Orewntreich, aplicada en las alopecias, se describió por vez primera en 1959 (8)*”.

Por sus ventajas, este Sistema Numérico por lista alfabética, con la aclaración antes mencionada, debe ser el utilizado preferentemente por los autores, sobre todo en los trabajos de Tesis, siempre y cuando no esté normado en la institución en cuestión, otro sistema de referencias.

Por último es importante señalar que en el caso de las referencias numéricas existen muchas variaciones con relación a la forma en que se colocan los números de las citas. Los números pueden variar en formato, tamaño y forma de colocación. Por ejemplo pueden ser subíndices, superíndices, estar alineados a la derecha o a la izquierda, etc. En cada caso se necesita consultar las normas específicas que tenga la Editorial en la que se va a publicar el artículo o libro, o la institución científica o académica a la cual se debe enviar la Tesis de Grado o Trabajo de Diploma.

Por ser una de las variantes más utilizadas la de citas numeradas por superíndices, a continuación se verán ejemplos de ese tipo de numeración (6):

Del libro “*Proceso de la investigación científica*” de Tamayo¹, se extrae el siguiente planteamiento sobre el problema: ...

Al respecto Alberdi² anota: La dificultad puede ser teórica o práctica, según se sitúe en el campo de la especulación o en la ejecución. Un problema es una pregunta surgida de una observación más o menos estructurada³.

Referencias:

1. TAMAYO, M. . El proceso de la investigación científica. México. Editorial Limusa. S.A. 1991. ISBN 968-18-2281-1.
2. ALBERDI, J. Y otros. Metodología de la investigación por muestreo. Madrid, Editora Euroamericana, S.A. 1969.
3. ABOUHAMAD. Apuntes de investigación en ciencias sociales. Caracas.

3.2.7 Objetivos

Se deben presentar tanto los **Objetivos Generales** como los **Objetivos Específicos** que se proponen en la investigación a desarrollar.

3.2.8 Resultados esperados

Los **Resultados** expresan los logros del proyecto y en que medida contribuyen a alcanzar el objetivo propuesto. Deben ser concretos y medibles cualitativamente y cuantitativamente, por esta razón deben estar relacionados con indicadores que los verifiquen. Por ejemplo:

- Mejorar en un 25% el consumo de energía del proceso productivo
- Disminuir del 20 al 5 % al año los pasajeros accidentados en la empresa
- Lograr que el 99 % de los pasajeros encuestados consideren que la empresa goza de buena reputación.
- Aumentar en un 10 % las ganancias anuales de la empresa.

En cada Resultado debe señalarse la forma en que se materializarán los mismos, o sea que la obtención de cada Resultado se comprueba por la presentación de:

- ❖ Publicaciones de diverso tipo
- ❖ Ponencias en eventos científicos
- ❖ Obtención de Patentes o Registros
- ❖ Obtención de prototipos
- ❖ Modelos de diverso tipo
- ❖ Producciones a escala piloto, semi industrial o industrial
- ❖ Tecnologías
- ❖ Procedimientos
- ❖ Manuales
- ❖ etc.

3.2.9 Aspectos Metodológicos.

En esta parte del protocolo se describen las **Tecnologías**, los **Métodos** y los **Medios** que se planifican emplear en la investigación a desarrollar. (Estos aspectos metodológicos se tratarán con detalles en el **Tema 4**).

3.2.10 Estudio técnico económico.

Los estudios técnico-económicos, dependiendo del grado de credibilidad y exhaustividad de los datos, pueden ser **un estudio de perfil, un estudio de prefactibilidad o un estudio de factibilidad**. Estos estudios, a su vez, están conformados por varios estudios (2):

- * **Estudio de Mercado**, que comprende la caracterización del o de los productos a obtener con la investigación ; definición del mercado a acceder (necesidades, deseos y gustos de los clientes; características de los productos competidores y de sus fabricantes y proveedores; tamaño (en cantidad y dinero) y tipo de mercado (libre o monopólico) y otros); características de la demanda y de la oferta y el posible precio unitario de venta. En resumen:
 - **Definición del producto**. Con sus características técnicas y las dimensiones tecnológicas que hacen al mismo competitivo.
 - **Análisis de la oferta y demanda**. Tamaño del mercado, estado de la competencia, aplicaciones del producto y segmentos de consumo potenciales, estudio de la demanda efectiva actual.
 - **Análisis de la comercialización**. Definición de las prácticas comerciales que en condiciones de producción deben tenerse en cuenta, precio basado en los niveles que existen en el mercado o, en el caso de nuevos productos, analizar la novedad, el estado del paquete tecnológico, la fuerza de la patente o secreto industrial, la extensibilidad del producto, etc., con vistas a conformar el precio.

- * **Estudio técnico**, que comprende la caracterización de los insumos (materias primas, materiales y servicios necesarios para producir el producto) ; la tecnología (equipos, instalaciones y normas) necesaria para producir ; el monto

de la producción (mínima y máxima) y el costo unitario de producción. En resumen:

- **Capacidad de la planta**. Estudio de las condiciones en que se están garantizando los productos actuales, o sea estudio de la capacidad instalada, niveles de producción que se proyecta lograr con el proyecto.
 - **Programa de producción**. Niveles de producción que deben lograrse durante períodos determinados y su vínculo con los pronósticos de ventas correspondientes, desperdicio previsto, necesidades mínimas de almacenamiento y reservas necesarias por motivos operacionales.
 - **Materiales e insumos del proyecto**. Descripción de las materias primas y materiales, disponibilidad y fuentes de los mismos así como sus costos unitarios ; servicios públicos (electricidad, agua, combustible).
 - **Mano de obra y personal requerido**. Descripción y cantidad de personal requerido y sus salarios.
 - **Ubicación mas conveniente** del proyecto de acuerdo a las materias primas, canales de distribución y recursos laborales.
 - **Estudio de la posible afectación al medio ambiente**. Contaminación atmosférica, producción de residuales, afectación a la biodiversidad o al paisaje.
 - **Regulaciones técnico-legales** que afecten a la ejecución del proyecto.
- * **Estudio económico-financiero**, que comprende el estudio del financiamiento necesario para la Investigación (a ciclo completo) y el cálculo de la rentabilidad económica de la misma según los indicadores antes explicados. En resumen:
- **Elaboración del flujo de caja**. Ingresos y egresos por años (al menos 10 años).
 - **Inversión requerida**.
 - **Utilidad neta actualizada**.
 - Cálculo de la **Tasa Interna de Retorno** (TIR), **Tiempo de Recuperación de la Inversión** (TRI) y **Punto de Equilibrio**.

- **Análisis del financiamiento.** Revisión de fuentes alternativas de financiamiento con el cálculo de la amortización del crédito bajo las condiciones de estas fuentes.
- **Análisis de sensibilidad.** Investigación de la vulnerabilidad de aquellos indicadores que actúan en forma desfavorable hacia la rentabilidad del proyecto.

3.2.11 Datos de los Investigadores

Datos del investigador principal

En esta parte, además de los datos brindados en la Portada, se debe añadir un **Curriculum Vitae** lo más detallado posible del Investigador Principal, a través del cual se pueda comprobar que este investigador tiene la calificación adecuada para dirigir el proyecto.

Datos del equipo de investigadores participantes

En la mayoría de los casos, es imposible que un solo investigador pueda realizar todas las actividades requeridas para llevar a feliz término una investigación y en ese caso se requiere la formación de un equipo de investigadores. En esos casos se deben relacionar todos los colaboradores y formular sus datos principales. Se deben especificar también las instituciones que participan en la investigación.

En caso de proyectos académicos se especifica el nombre y categoría científica del tutor y en proyectos de gran envergadura debe ponerse todos los autores y un resumen de su hoja de vida.

3.2.12 Anexos

El anexo es un agregado que el autor coloca al final del protocolo. Está compuesto por gráficas, mapas, cuadros estadísticas, documentos y todo tipo de ilustración que el autor crea conveniente insertar en el trabajo. Exigen que se hagan referencia de ellos en el contenido o cuerpo de la obra y deben aparecer en el

mismo orden en que han sido citados. Se organizan alfabéticamente por letras y deben tener un pie de grabado o título que enuncie lo que ilustra el mismo.

Anexo:

Clase práctica Tema 3:

- **Ejercicio práctico sobre Evaluación de Proyectos de Investigación**

Se tomarán como base material de estudio un grupo de Protocolos de Proyectos de Investigación para Tesis de Maestrías. Se deberá realizar un análisis crítico de los problemas e hipótesis definidos (o por definir) en los documentos evaluados y se deberán analizar si los Proyectos de Investigación analizados cumplen con la metodología propuesta en este curso y señalar las deficiencias metodológicas que detecten en los mismos.

A continuación se transcribe, a manera de ejemplo, uno de los Proyectos a evaluar, el cual se presenta con errores e insuficiencias que deben ser analizados y evaluados:

Proyecto de Investigación a Evaluar (1):

Título: Modelación numérica del oleoducto Varadero-Matanzas.

Nombre y Dirección de la institución donde se realizará la investigación:
Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro, Finca La Cachura,
Carretera Cárdenas-Varadero, Matanzas.

Tabla de Contenido:

PROYECTO DE TESIS	¡Error! Marcador no definido.
Resumen:	
Antecedentes y Estado Actual de la Temática:	
Objetivos:	
Resultados esperados del Proyecto:	
Aspectos Metodológicos:	
Tecnología y Métodos a utilizar en la investigación:	
Cronograma de la Investigación:	
Datos del investigador principal:	
Anexos:	

Resumen:

El oleoducto Varadero-Matanzas, por los altos volúmenes de combustible que maneja y los destinatarios que lo consumen, es de vital importancia para la economía de la zona y el país, por ello el proceso de trasiego se debe realizar de la forma más eficiente posible; pero ocurre que el petróleo crudo bombeado desde la batería central, aunque se entrega con los parámetros requeridos, llega a sus destinatarios con parámetros que obligan a elevar la presión inicial e incrementar los gastos energéticos. Para analizar las causas que provocan esta situación, utilizaremos como herramienta la modelación numérica del oleoducto, aplicándole un volumen de control finito y así predecir su comportamiento de acuerdo a sus parámetros de entrada y las características del combustible. El análisis de los resultados de la modelación posibilitara proponer soluciones para reducir los gastos energéticos en la operación. Este trabajo, es la continuación de la tesis de diplomado de Ramírez, M; Borges O. Y M. Viart, titulado Modelación Térmica del oleoducto Varadero-Matanzas, de la Universidad de Matanzas. (1)

Antecedentes y Estado Actual de la Temática:

El oleoducto Varadero-Matanzas es el encargado de trasegar la mayor parte del petróleo crudo que se destina desde la batería central de la Empresa de Perforación y Extracción del Petróleo Centro hasta la base de Supertanqueros en la bahía de Matanzas, para ser posteriormente despachado por cabotaje o continuar hasta la Central Termoeléctrica de Santa Cruz.

Las características económicas de este oleoducto la hacen de vital importancia para la zona y el país, por los altos volúmenes de combustible que manejan, por ello el proceso se debe realizar de la forma más eficiente posible.

Conocido es que el petróleo crudo bombeado desde la batería central, se entrega con los parámetros requeridos, pero en su recorrido por el oleoducto, estos van cambiando a valores que hacen difícil la transportación y obligan a elevar la presión inicial e incrementar los gastos energéticos.

Desconocidas son las causas que provocan esta situación y supuestas otras, dadas las características de este oleoducto, de ser soterrado, tener puntos de medición aislados y deficiencias en la ejecución de la inversión inicial, entonces modelando el oleoducto y utilizando como herramienta los volúmenes de control finitos, podríamos conocer el comportamiento de la transportación del combustible y lo mas importante, lo predeciríamos de acuerdo a sus parámetros de entrada y el tipo de combustible.

Este trabajo, es la continuación de la tesis de diplomado de Ramírez, M; Borges O. Y M. Viart, titulado Modelación Térmica del oleoducto Varadero-Matanzas, de la Universidad de Matanzas. (1)

Otras bibliografías que serán consultadas durante el desarrollo del trabajo son: Ramírez Ramírez, M; Borges O. Y Viart M." Modelación térmica del oleoducto Varadero-Matanzas", Tesis de Diplomado, enero 2002, CECYEN, Universidad de Matanzas.

Patankar, S. V. "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Mc Graw- Hill, New York, 1996, 8 th edition.

Patankar , S. V. Y Spalding D. B. "A Calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three dimensional parabolic Flows", I.J.H.&M. T., Vol. 15, pp1784-1806.

Kreith, F. Y M. S. Bohn, "Principles of heat transfer", 6tt Ed. Harper & Row, CA, 1994.

Mills, A.E. "Heat Transfer", 3th Ed. IRWIN, ILL, 1996, Phoenixis,(Parabolic, hyperbolic or elliptic numerical code series), CHAM Lte, London, England.

Optimal System Corp. "Heat Transfer resistance due to burial depth",

<http://www.optimal-system.demon.co.uk//n-burial-resistance.htm>

Optimal System Corp. "Heat Transfer resistance of pipe wall and coating",

<http://www.optimal-system.demon.co.uk//n-pipe-resistance.htm>

Objetivos:

Generales

Predecir el comportamiento del oleoducto Varadero-Matanzas, utilizando como herramienta la modelación numérica, aplicándole un volumen de control finito.

Proponer soluciones para disminuir los gastos energéticos en la transportación del petróleo crudo.

Específicos

Predecir el comportamiento de la transportación del petróleo crudo, de acuerdo a los parámetros de entrada y el tipo de combustible.

Análisis de los resultados de la modelación numérica del oleoducto.

Valorar propuestas para disminuir los gastos energéticos en la transportación del petróleo crudo.

Resultados esperados del Proyecto:

Predecir el comportamiento de la transportación de combustible en el oleoducto Varadero-Matanzas, de acuerdo a los parámetros de entrada y el tipo de combustible.

Disminuir los índices energéticos de la transportación de combustible en el oleoducto Varadero-Matanzas.

Aspectos Metodológicos:

Tecnología y Métodos a utilizar en la investigación:

Para la realización de la investigación se propone utilizar la modelación numérica del comportamiento del oleoducto, aplicándole un volumen de control finito.

Parte del trabajo se apoyara en las ecuaciones convencionales de transferencia de calor, para evaluar el comportamiento de equipos y tuberías.

Cronograma de la Investigación:

No	Nombre de la tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Revisión bibliografía	90 días	03/12/01	05/04/02
2	Elaboración de protocolo tesis	28 días	26/12/01	29/01/02
3	Recogida de mediciones	30 días	04/02/02	15/03/02
4	Modelación del oleoducto	180 días	18/03/02	22/11/02
5	Análisis de resultados	60 días	25/11/02	14/02/03
6	Valoración de propuestas	40 días	17/02/03	11/04/03
7	Elaboración del informe	90 días	14/04/03	15/08/03
8	Discusión de tesis	15 días	15/09/03	03/10/03

Datos del investigador principal:

CURRICULUM VITAE

Anexos:

TEMA 4. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

OBJETIVOS.

- Explicar los diferentes tipos de investigación
- Explicar las técnicas instrumentales, experimentales y de recolección de datos y algunos elementos sobre la teoría de errores.
- Introducir las técnicas de **Diseño Estadístico de Experimentos** y ejemplificar con el uso del software **Design Expert**.
- Explicar la forma planificar las actividades de la investigación e introducir el uso del software **Microsoft Project** dentro del proceso de organización de la investigación.

* * *

Introducción.

Toda investigación se realiza para satisfacer una necesidad, o sea para solucionar un problema. Después de ser aprobada la propuesta comienza la etapa de ejecución de la investigación que comprende la recolección de la información, el procesamiento de los datos, la presentación e interpretación de los resultados y la elaboración de las conclusiones.

Para toda investigación es de importancia planificar las acciones o tareas que se deben realizar con el fin de producir los resultados y por lo tanto contribuir al logro de los objetivos propuestos, no se debe incluir actividades que no conduzcan a producir los resultados específicamente buscados. Para su planificación se debe responder a la pregunta:

¿Cómo se va a realizar la investigación?

Para su respuesta deberá tomarse en cuenta:

- Tipo de estudio.
- Diseño de la investigación
- La determinación de la población y la muestra.
- Recolección de datos.

- El procesamiento de los datos.

4.1. Tipos de Investigación

Cuando se va a resolver un problema en forma científica es muy conveniente tener conocimientos detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir. Conviene anotar que los tipos de investigación difícilmente se presentan puros, generalmente se combinan entre sí y obedecen sistemáticamente a la aplicación de la investigación. No obstante, tradicionalmente se presentan tres tipos de investigaciones, para abarcar la amplia gama de investigaciones existentes (21):

- **Histórica**. Describe lo que era
- **Descriptiva**. Interpreta lo que es
- **Experimental**. Describe lo que será.

4.1.1 Investigación histórica.

La investigación histórica trata de la experiencia pasada, se aplica no sólo a la Historia sino también a cualquier disciplina. En la actualidad, la investigación histórica se presenta como una búsqueda crítica de la verdad que sustenta los acontecimientos del pasado. Los datos generalmente son obtenidos de documentos primarios y secundarios. Por ejemplo: *Investigación sobre el desarrollo científico técnico de Matanzas en el siglo XIX.*

4.1.2 Investigación descriptiva.

La investigación descriptiva comprende el registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, o sea trabaja sobre realidades de hecho presentes. Los datos son generalmente obtenidos por encuestas, entrevistas y observación de los fenómenos. Por ejemplo: *Diagnóstico sobre la producción de tanques de gas licuado de la Empresa Conformadora de Metales de Matanzas..*

4.1.3 Investigación experimental.

La experimentación ha dado muy buenos resultados en las Ciencias Naturales y Técnicas, pero no ha sido así en las Ciencias Sociales donde experimentar presenta grandes dificultades, sobre todo en el vivir diario. Cuando se intenta experimentar en el hombre, éste se altera. Se influye sobre él y los resultados que se obtienen ya no corresponden a los hechos, porque el hombre cambia en la medida que se quiere experimentar con él. Los hechos estudiados y provocados por el investigador en forma planeada y controlada, permiten llevar a cabo la experimentación. Y como se ha señalado, en Ciencias Sociales no es conveniente que el investigador manipule los hechos o fenómenos.

Sin embargo, en el campo de las Ciencias Técnicas y Naturales los experimentos juegan un papel fundamental y por ello dentro del **Diseño de la Investigación**, jugará un papel importante el Diseño de los Experimentos a realizar.

4.2. Diseño de la Investigación.

Una vez que se ha definido el tipo de estudio a realizar y establecidos los objetivos e hipótesis de la investigación, el investigador debe concebir la manera practica como ejecutar la investigación. Esto implica seleccionar un **Diseño de Investigación**. El término **Diseño de Investigación** se refiere al plan estratégico concebido para responder a las preguntas de investigación.

En la literatura sobre investigación se pueden encontrar diferentes clasificaciones de los tipos de Diseños existentes. Las clasificaciones van desde investigación experimental pura hasta investigación no experimental. Cabe aclarar que en términos generales los autores no consideran que un tipo de investigación sea mejor que el otro, en muchos casos en una misma investigación se aplican de ambos tipos.

4.2.1 Diseños no experimentales de investigación.

La investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador. En la investigación no experimental las variables independientes ya han ocurrido o están ocurriendo y no pueden ser manipuladas, el investigador no tiene control directo sobre dichas variables, no puede influir sobre sus efectos.

Por ejemplo:

Un investigador desea analizar las insuficiencias que presentan los trabajos de curso de Proyectos de Ingeniería I, II, III y IV de la carrera de Ingeniería Mecánica. Si decidiera seguir un enfoque experimental, asignaría a uno o a varios grupos experimentales, o sea manipularía uno o varios grupos. Por el contrario, si desea seguir un enfoque no experimental, el investigador debe analizar naturalmente el desarrollo de los trabajos de curso. En ese caso no hay manipulación de los grupos, los datos se obtienen del proceso natural de enseñanza.

Sin embargo aquí es importante señalar que también existen los denominados **experimentos pasivos**, en los cuales no se manipula el proceso a investigar, pero se seleccionan diferentes parámetros de ese proceso, en la forma en que ocurren naturalmente, para buscar relaciones entre los mismos e investigar el efecto que producen determinadas variables y en esos casos se utiliza también el **Diseño de Experimentos**.

4.2.2 Diseño experimental.

Los investigadores realizan experimentos virtualmente en todos los campos del

saber, por lo general para describir algo acerca de un proceso o un sistema. Literalmente, un experimento es una prueba o ensayo.

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en una o más de las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas en la respuesta de salida. Se manipulan deliberadamente **una o más variables independientes** (*supuestas causas*) para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más **variables dependientes** (*supuestos efectos*), dentro la situación de control de la investigación. Manipular las variables es sinónimo de hacer variar o dar distintos valores a la variable independiente.

Ejemplos:

1. En las actividades docentes se realizan investigaciones con varios grupos de estudiantes para determinar una nueva experiencia pedagógica. En este caso al grupo que se expone a la presencia de la variable independiente se le conoce como **grupo experimental** y al grupo en el cual está ausente dicha variable se le denomina **grupo de control**, aunque ambos grupos participan en el experimento.
2. Para la determinación de la relación que hay entre la dureza del acero y el contenido de manganeso se hace un experimento. La dureza es la variable dependiente y el contenido de acero es la variable independiente.

4.3. Errores en la Medición Experimental

En el proceso investigativo, sobre todo en las Ciencias Técnicas, los experimentos van dirigidos a determinar el valor de una magnitud. En este procedimiento resulta de tanta importancia el cálculo del valor de interés, como la determinación del error con el cual se determina ese valor. Este error indica la **exactitud** y la **precisión** del valor calculado, así como la determinación de las **cifras significativas**. De esta manera es de interés precisar los elementos que intervienen en la medición directa o indirecta de una magnitud, así como en la

determinación de su error.

En las mediciones existen muchas fuentes de errores que deben ser analizadas; estos errores pueden ser en general disminuidos si se conocen sus fuentes, pero nunca pueden ser totalmente anulados, e incluso muchos de ellos no pueden disminuir por debajo de cierto valor debido a las imprecisiones propias de la técnica y del montaje experimental.

El análisis de errores es un paso imprescindible al diseñar un experimento, esto evitará la búsqueda de instrumentos que no son necesarios y que pudieran resultar poco disponibles y caros, a la vez que permite evaluar la precisión y exactitud dentro de la cual hay que evaluar los resultados.

El **error** es la diferencia entre el resultado equivocado de una acción y el resultado correcto. Cuando se realiza una evaluación o medición experimental se cometen múltiples errores, siendo éstos la causa de las diferencias entre el valor de la propiedad que se quiere evaluar y el medido.

4.3.1 Tipos de errores

La teoría de errores de los equipos y **mediciones, es una de las partes más estudiadas de la teoría** de la técnica de medición. Producto de que la ocurrencia de los errores de los equipos y de las mediciones se presenta de formas diferentes, es por ello que los errores se clasifican en diferentes tipos, de los cuales se verán los fundamentales.

❖ **Errores aleatorios**. Los errores aleatorios o accidentales son el resultado de causas muy diferentes: variación de la temperatura, movimiento del aire, limitada apreciación de los aparatos de medición, etc. Todas estas causas conducen de hecho a que las mediciones repetidas de la misma magnitud den distintos resultados.

- ❖ **Los errores accidentales** no pueden eliminarse, y es inevitable su aparición en el proceso de medición, pero sin embargo, es posible hacer un estimado de los mismos. Estos errores obedecen a las leyes de la probabilidad. El error aleatorio que afecta a la medición se disminuye según aumente el número de veces que se realice la medición.
- ❖ **Errores sistemáticos.** Los errores sistemáticos surgen sistemáticamente durante las mediciones repetidas, se deben a una causa permanente, por ejemplo a la imperfección de la fórmula aplicada, a los equipos de medición, etc. Estos errores siempre son de la misma índole.

Los errores sistemáticos son aquellos cuyo origen se puede conocer. Tiene la característica de que el valor no fluctúa, es siempre el mismo para cada lectura, siempre por exceso o siempre por defecto, por lo que la enmienda a realizar en la medición es completamente evaluable.

Ejemplo de este tipo de error es el caso de una cinta metálica milimetrada, preparada para trabajar a 20° C pero que en determinado experimento se usó a 35° C; en este caso se puede buscar el coeficiente de dilatación del metal de la cinta y calcular que longitud ΔL se ha dilatado cada milímetro debido al exceso de temperatura, conocida esa dilatación se puede hacer la corrección de cada lectura.

La localización y eliminación de los errores sistemáticos, frecuentemente resulta difíciles y exige del análisis minucioso del método de medición y la verificación de todos los equipos.

- ❖ **Error absoluto y relativo.** Existen muchas y muy diversas causas que originan imprecisiones y errores al efectuar cualquier medición. Todos los diversos errores que se analizan en el presente trabajo se resumen bajo un

denominador común: el error absoluto. El error absoluto es la diferencia entre el valor exacto A y su valor aproximado B, o sea:

$$e_a = |A - B|.$$

En la práctica no se conoce el valor de A sino el valor medido B al cual se le asigna un error absoluto máximo e_a de acuerdo con las características del instrumento utilizado para efectuar la medición, y es común utilizar la expresión $M = B \pm e_a$.

En la teoría de errores en las mediciones resulta más significativo el concepto de error relativo, este se define como el cociente del error absoluto por el valor exacto de la magnitud de la medida, o sea $e_r = (A-B)/A$.

El error relativo caracteriza la calidad de una medición puesto que el error relativo mide la precisión de una medición. Es más precisa una medida cuyo error relativo es de 0,1 % que otra con un error de 10 %, aún cuando esta última puede ser más exacta que la primera. El error relativo es adimensional lo que permite comparar el grado de mediciones diferentes.

Otros conceptos importantes son los de **exactitud y precisión**:

- La **exactitud** en el análisis es la aproximación del resultado obtenido al valor verdadero. **Mientras menor sea el error absoluto mayor será la exactitud.**
- La **precisión** del resultado es la reproducibilidad que se caracteriza por la dispersión de varias mediciones individuales efectuadas por el mismo método. **Mientras menor sea la dispersión de los datos mayor será la precisión.**

Por lo tanto el error relativo da una medida de la precisión de la medición y el error absoluto de su exactitud.

4.4. Las técnicas instrumentales

Desde las etapas de selección y profundización del tema de elección del

problema, se requiere el uso frecuente de las técnicas e instrumentos de recolección de datos, para tomar decisiones acerca de si es conveniente la ejecución de una investigación determinada.

Se debe aclarar que, en este caso se denomina:

- **Técnica** al medio a través del cual se establece la relación entre el investigador y el consultado para la recolección de datos, por ejemplo las entrevistas, la observación y el cuestionario.
- **Instrumento** es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información, por ejemplo los formularios, las listas, etc.

Las técnicas instrumentales son variadas, por lo que en este trabajo se presentarán solamente las que son más relevantes por su uso en el campo de las Ciencias Técnicas:

- **Observación**. Se afirma que la ciencia comienza con la observación y finalmente tiene que volver a ella para encontrar su validación final, de aquí la importancia que tiene la observación en la actividad científica. La observación es el registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignado los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia.

La realización de observaciones requiere de una preparación previa que garantice su eficacia y para ello se debe elaborar un plan en el cual se precisen los aspectos esenciales motivos de estudio, como son:

- Objeto de la observación
- Objetivo de la observación
- Tiempo total y frecuencia de las observaciones
- Cantidad de observaciones
- Tipo o tipos de observación que se utilizarán

- Definición o aspectos que han de observarse y los indicadores cualitativos para la valoración de los distintos aspectos.

La ventaja fundamental de la observación radica que el fenómeno se investiga directamente y se puede apreciar el proceso de su desarrollo.

- **La entrevista**. La entrevista es la técnica de comunicación interpersonal establecida entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema propuesto. Son encuestas con estructura más libre, contempla los asuntos que el entrevistador debe averiguar con sus instrucciones. Esta técnica es útil en distintos momentos de la investigación, fundamentalmente al inicio, cuando el investigador realiza entrevistas para efectuar una exploración preliminar del fenómeno estudiado.

La realización de la entrevista supone la elaboración de un plan determinado en el que se incluyen los aspectos que habrán de tratarse, así como una guía de preguntas ajustadas al plan.

- **Encuesta**. La encuesta es la técnica que utiliza como instrumento un cuestionario impreso, destinado a obtener respuestas sobre el problema en estudio y que el investigador o consultado llena por sí mismo. Es un instrumento consistente en una serie de preguntas a las que contesta el mismo encuestado, por lo que este documento escrito es realizado sin la intervención del investigador.

El cuestionario puede aplicarse a grupos o individuos, pudiendo estar o no presente el investigador o el responsable de recoger la información, ya que ésta puede enviarse por correo a los destinatarios seleccionados en la muestra (4).

Ventajas de la entrevista:

- Permite el contacto con personas que no saben leer ni escribir.
- Facilita la labor de persuasión
- Precisa y aclara preguntas
- Verifica las respuestas y capta el ambiente natural
- Se observan actitudes y opiniones.

Ventajas de la encuesta:

- Alcanza un mayor número de consultados
- Permite guardar el anonimato
- Elimina la presencia del entrevistador
- Deja en absoluta libertad de expresión permitiendo al informante consultar datos si lo requiere el instrumento
- Puede ser contestado al mismo tiempo por todos los interrogantes.

- **Codificación.** Es el procedimiento técnico mediante el cual los datos son categorizados. A través de la codificación, los datos sin elaborar son transformados en símbolos, ordinariamente numéricos, que pueden ser tabulados y contados. Sin embargo, la transformación no es automática; supone un juicio por parte del codificador.

4.5. Recolección de datos.

El adecuado diseño de las técnicas instrumentales y experimentales nos garantiza una buena recolección de datos.

4.5.1. Los datos.

¿Qué es un dato? Es el elemento de información recogido durante la investigación para llegar al conocimiento exacto de lo que se busca. La recolección de los datos está entre las tareas más difíciles e importantes de cualquier investigación.

Los datos pueden obtenerse de dos fuentes:

- **Los datos primarios** o información primaria, que son los datos obtenidos mediante técnicas instrumentales y experimentales.
 - ✓ Las técnicas instrumentales son muy utilizadas en investigaciones de carácter social, las más utilizadas son las entrevistas y los cuestionarios.
 - ✓ Las técnicas experimentales son más aplicadas en las Ciencias Técnicas y éstas consisten en las determinaciones de una o más variables medidas directamente con instrumentos de medición.

- **Los datos secundarios** o información secundaria, son aquellos obtenidos mediante aquella información que se integran con toda la información escrita del tema, o sea la obtenida de los trabajos relacionados directamente con la temática que han sido resueltos anteriormente, y que se obtienen por lo tanto mediante documentos primarios y secundarios.

Los **datos primarios y secundarios** están encadenados indisolublemente: todo dato secundario ha sido primario en sus orígenes y todo dato primario, a partir del momento en que el investigador concluye su trabajo se convierte en dato secundario para los demás.

4.5.2. Formas de registro de los datos.

Los datos se pueden recolectar de diferentes formas:

- Manual. Es la forma más primitiva, pero su aplicación es recomendable cuando el volumen de datos a recoger es pobre.
 - ✓ Óptico. Los instrumentos nos indican el valor de medición en forma óptica y el registro en el documento se realiza de forma manual.
 - ✓ Digital. Los instrumentos nos indican el valor de medición en forma digital y el registro en el documento se realiza manual.
 - ✓ Analógico. Los instrumentos nos indican el valor de medición en forma analógica y el registro en el documento se realiza manual.
- Registradores mecánicos. Los valores de medición son registrados en un papel

y después son procesados.

- Registradores que utilizan microprocesadores. El registro se puede guardar en archivos y después ser procesados por las técnicas estadísticas.

4.5.3 Población y muestra.

El primer paso en la ejecución de la investigación es la selección del objeto de estudio, o sea establecer la **población** y la **muestra**. Por **población** o universo se entiende la totalidad del fenómeno a estudiar. Los componentes (unidades) de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Por ejemplo, si se analizan todos los tornillos fabricados en determinada empresa.

La muestra es cualquier subconjunto de una población que se realiza para estudiar las características en la totalidad de la población, partiendo de la observación de una fracción de la población. Por ejemplo, si analiza las características del 10 % de los tornillos fabricados (El 10% es la muestra y el 100 % la población).

Tipos de muestras

Las muestras se clasifican de acuerdo a la forma en que se realiza el proceso de obtención de la muestra (**muestreo**), Los muestreos pueden ser **probabilísticos** o **no probabilísticos** y en cada uno de esos tipos se consideran variantes (11). En general, la clasificación más común es la siguiente:

Muestreo probabilístico

- ❖ **Muestreo aleatorio simple o al azar**. El procedimiento más común para obtener una muestra representativa es la selección **al azar** y esto es lo que constituye el **muestreo aleatorio simple**.
 - Para que esto se cumpla, cada uno de los individuos de una población tiene que tener la misma posibilidad de ser elegido. Si eso no se cumple, se dice que la muestra es **viciada**.

- Para tener la seguridad de que la muestra al azar no es viciada debe emplearse para su constitución una tabla de números aleatorios. El muestreo al azar o aleatorio simple es la base fundamental del muestreo probabilístico.

Sin embargo en muchas ocasiones no resulta práctico utilizar este método y se deben aplicar otros diseños muestrales probabilísticos, como los siguientes:

- ❖ **Muestreo estratificado.** Cuando la característica investigada presenta una gran dispersión, el muestreo estratificado aporta mejores muestras y por lo tanto mejores resultados. En este tipo de muestreo, el universo se divide en un número de subuniversos paralelamente ordenados, que se denominan estratos. Estos estratos pueden tener la misma o diferente extensión. Entonces de los estratos tomados independientemente se sacan los elementos de la muestra, usando un muestreo aleatorio. Mediante la formación de estratos debe lograrse que la varianza de la característica sea pequeña en cada estrato, para reducir así el error de los muestreos.

Se dice entonces que una muestra es estratificada cuando los elementos de la muestra son proporcionales a su presencia en la población. La presencia de un elemento en un estrato excluye su presencia en otro, lo que constituye un requisito fundamental de este tipo de muestreo. En la muestra estratificada la representación de los elementos en los estratos es proporcional a su representación en la población.

- ❖ **Otros muestreos probabilísticos:** Se tienen además los muestreos multietápico y de conglomerados.

Muestreos no probabilísticos:

- ❖ **Muestreo casual.** La técnica consiste en tomar elementos en forma casual, por ejemplo: uno de cada diez individuos que pasen por una calle.
- ❖ **Muestro intencional.** El investigador selecciona los elementos que a su juicio

son representativos, lo cual exige del investigador un conocimiento previo de la población. Por ejemplo: los dueños de determinado automóvil.

- ❖ **Muestreo por cuotas.** El investigador selecciona a su juicio los elementos representativos. La muestra ha de ser proporcional a la población y en ella deberán tenerse en cuenta las diferentes categorías. Por ejemplo, una encuesta es aplicada para determinar la opinión de los estudiantes acerca del componente investigativo de la carrera de Ingeniería Industrial.

Errores en la muestra.

Para que una muestra proporcione datos confiables, éstos deben ser representativos de la población, es decir, los errores del muestreo deben ser relativamente pequeños para que éste no pierda validez. Ninguna muestra da garantía absoluta en relación con la población de donde ha sido extraída, de ahí, la importancia de poder determinar el posible margen de error y la frecuencia de los mismos dentro del conjunto. Generalmente, se presentan dos tipos de errores: **sistemáticos** y de **muestreo**.

- ❖ **Error sistemático.** El error sistemático se presenta por diferentes causas ajenas a la muestra:
 - Situaciones inadecuadas. Se presentan cuando el investigador tiene dificultades para obtener la información y la sustituye por la que más fácilmente está a su alcance, no siempre la más confiable.
 - Insuficiencia en la recolección de datos. Hay distorsión por falta de respuestas, o respuestas inadecuadas, ya sea por ignorancia o falta de datos relativos a los elementos incluidos.
 - Errores de cobertura. Cuando no se han incluido elementos importantes y significativos para la investigación que se realiza.

- ❖ **Errores de muestreo.** Cualquiera que sea el procedimiento utilizado y la perfección del método, empleado, la muestra diferirá de la población. A esta diferencia entre la población o universo y la muestra, se le denomina error de

muestreo. El error de la muestra es la diferencia entre σ y X . Donde σ es el parámetro de la media para la población y X es la estimación de la media para la muestra (1, 11, 15).

4.6 Utilización de técnicas para optimizar el trabajo experimental.

El proceso completo de Investigación y Desarrollo, desde el laboratorio hasta la industria, resulta generalmente largo y costoso, por lo cual resulta conveniente optimizar dicho proceso para llevarlo a su mínima duración y costo. Para realizar esa optimización resulta muy valioso aplicar las técnicas del Diseño Estadístico de Experimentos (25, 26).

El aplicar el Diseño Estadístico de Experimentos a escala industrial resulta difícil por las afectaciones que puede hacerle a la producción. No obstante, el Diseño Estadístico de Experimentos es una de las principales herramientas de que dispone el investigador para aumentar la eficacia de la investigación, y hoy en día se aplica ampliamente a escala de laboratorio, banco y piloto. No es necesario ser un estadístico o un matemático; la experiencia ha demostrado que los químicos e ingenieros pueden fácilmente aprender los principios fundamentales de este tipo de diseños (32).

Una simple observación experimental en un laboratorio, en una instalación a escala piloto o a nivel industrial puede costar cientos o miles de dólares, luego siendo el objetivo de la investigación obtener información, puede definirse la **eficiencia de la investigación** como *la cantidad de información útil obtenida por unidad de costo*. Por consiguiente, es extremadamente importante para una investigación utilizar métodos experimentales que le brinden la máxima cantidad de información con el menor costo y esfuerzo. El uso del *Diseño Estadístico de Experimentos* facilita un incremento apreciable en la productividad de los investigadores, así como en la confiabilidad de los resultados obtenidos, siendo estos métodos, por su naturaleza universal, adaptables a la mayoría de los campos actuales de investigación.

Con el **Diseño Estadístico de Experimentos** se pueden reducir al mínimo imprescindible las experiencias que se deben realizar a Escala de Laboratorio y planificar adecuadamente las corridas en las escalas de banco y piloto, de forma tal de obtener la mayor cantidad posible de información en el menor intervalo de tiempo. Con la **Modelación Matemática** se pueden reducir las corridas necesarias en las instalaciones de banco y piloto ya que se pueden realizar sólo las corridas necesarias para obtener la información que se requiere para poner a punto los modelos matemáticos del proceso y el resto de las investigaciones se pueden realizar mediante simulaciones en computadora, con la excepción de un mínimo de corridas experimentales que se realicen al final para corroborar los resultados de los modelos.

Aquí hay que señalar también que resulta evidente que el tipo de diseño a utilizar en cada caso, depende del objetivo del experimento y del tipo de modelo que se desea obtener. Sobre la base de estas consideraciones, se puede establecer una clasificación de las investigaciones experimentales según Box (12):

1. **Experimentos de tamizado:** Cuando a partir de un gran número de variables hay que identificar cuáles afectan el rendimiento.
2. **Construcción de modelos empíricos:** Para obtener una descripción aproximada de la relación entre X e Y, en función de parámetros B.
3. **Construcción de modelos determinísticos:** Para determinar la verdadera relación funcional que existe entre X e Y.
4. **Ajuste del modelo determinístico:** Para encontrar los mejores estimados de los parámetros desconocidos en el modelo propuesto.

Los *experimentos de tamizado* deben hacerse al comienzo de un estudio experimental, cuando hay numerosas variables que potencialmente pueden incluir en la respuesta. Es necesario discriminar entre ellas las verdaderamente importante. Esta es la esencia de este tipo de experimentos los que deben ser

bien diseñados estadísticamente para poder determinar también las interacciones entre las variables.

La construcción de *modelos empíricos* se hace necesario en aquellas situaciones en que no es factible la obtención de un **modelo determinístico**. En esas situaciones resulta útil, un modelo aproximado que representa adecuadamente el comportamiento del proceso bajo estudio en a región de interés. Los *modelos determinísticos*, por otra parte, casi siempre son no lineales y la estimación de los parámetros de los mismos puede resultar difícil.

Por lo tanto, el objetivo de las investigaciones generalmente es establecer un modelo matemático del proceso y puede haber dos casos:

1. El modelo se puede desarrollar teóricamente y por ello en el trabajo experimental sólo se necesita comprobar el modelo y determinar los coeficientes desconocidos del mismo.
2. Con el nivel de conocimientos presentes no se puede deducir un modelo justificado en forma teórica y por ella la dependencia entre las variables tiene que determinarse experimentalmente, escogiendo previamente las variables significativas del proceso.

Generalmente no se conoce la forma del modelo a ajustar; en ese caso es recomendable comenzar con un modelo lo más simple posible. La información acerca del modelo del proceso debe ser, por supuesto, muy precisa, pero esto puede lograrse haciendo un número de corridas experimentales lo suficientemente grande. Sin embargo esta solución, por supuesto, es cara, y una forma de lograr los mismos objetivos con menos recursos es localizando los valores de las variables independientes estratégicamente para cada corrida experimental. Por tanto, si los experimentos se planifican adecuadamente, se obtiene la información deseada en una forma eficiente.

Un plan experimental bien diseñado y su posterior ejecución ayuda en la selección de un mejor modelo, dentro de un conjunto de modelos posibles y la estimación eficiente de los parámetros en el modelo seleccionado. Ambos objetivos se investigan simultáneamente y casi siempre en forma secuencial, porque el experimentador generalmente no conoce qué variables deben medirse, cuál es el rango en que las variables se deben medir ni qué series de experimentos deben hacerse hasta que el programa experimental esté al menos parcialmente ejecutado. Generalmente un plan experimental comienza con una hipótesis expresada en forma de un modelo matemático.

Para probar la hipótesis se lleva a cabo un experimento, el cual, para obtener la información, se debe diseñar adecuadamente. Los datos obtenidos del experimento tienen que analizarse para evaluar la hipótesis original. Los resultados experimentales pueden conducir a modificar la hipótesis, en cuyo caso una nueva hipótesis se formula o se confirma. En el primer caso, la nueva hipótesis debe ser probada, para lo cual debe efectuarse otro plan experimental, y así se continúa hasta obtener resultados satisfactorios. Un experimento es, por tanto, sólo una etapa que ayuda a la comprensión del proceso bajo estudio. El investigador debe analizar cuidadosamente los resultados de sus experimentos, para determinar las direcciones en que los cambios son realmente sustanciales.

Este proceso iterativo que caracteriza la investigación científica se muestra de forma esquemática en la siguiente Figura 4.1. En esa figura se muestran los dos papeles distintos que la Estadística puede desempeñar: diseño y análisis. De ellas, el más importante es el primero, el diseño: poca información útil puede sacarse de los datos obtenidos en un experimento que no se ha planificado cuidadosamente. Sin embargo, con un diseño adecuado, se puede obtener una clara visión de la situación con métodos de análisis simples.

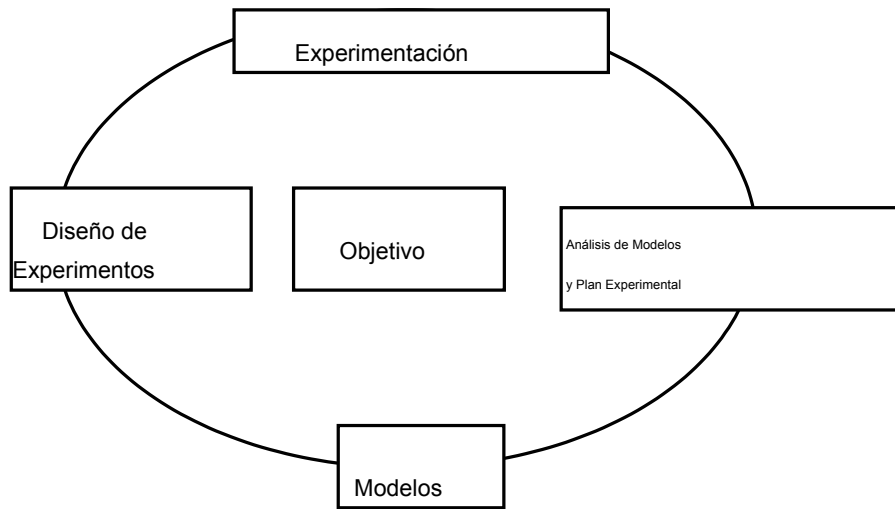


FIGURA 4.1 . Proceso Iterativo de la Investigación Científica. Tomado de (14).

4.7 Conceptos básicos del Diseño Estadístico de Experimentos.

El *Diseño de un Experimento* consiste en *planificar los experimentos de la forma más racional posible, de manera que los datos obtenidos puedan ser procesados adecuadamente y que mediante un análisis objetivo conduzcan a deducciones aceptables del problema planteado*, para lo cual se sobreentiende que la persona que formula el diseño conozca los objetivos de la investigación propuesta.

Antes de comenzar el trabajo experimental se debe, por lo tanto, tener la información requerida del sistema que permita contestar a las interrogantes siguientes:

1. ¿Cuáles son las propiedades de sistema que se van a estudiar?, o sea los llamados *rendimientos* o *variables dependientes*.
2. ¿Qué factores afectan a estos rendimientos?, es decir qué parámetros o variables independientes que determinarán los rendimientos y si se podrán controlar o medir adecuadamente.
3. ¿Qué factores se estudiarán y cuáles permanecerán constantes?
4. ¿Cuántas veces se deben repetir los experimentos?

5. ¿Qué cantidad de experiencias se deben efectuar?
6. ¿Cómo se deben realizar las experiencias?

Algunas de estas preguntas sólo se pueden responder por el conocimiento científico-técnico del sistema, como por ejemplo las tres primeras, mientras que las restantes requieren del conocimiento científico-técnico, del diseño estadístico de experimentos y de la lógica para su contestación.

El proceso de investigación en general, independientemente de la escala en que se halle (laboratorio, banco o piloto), se desarrolla a través de una serie de etapas bien definidas: **familiarización, tamizado de variables y optimización.**

En la **etapa de familiarización**, el investigador se familiariza con el nuevo sistema a estudiar. Por ejemplo, en la etapa de laboratorio (27) esto puede ser el tratar de reproducir resultados descritos en las patentes o en experimentos de estudios anteriores, o aprender a trabajar con un equipamiento nuevo. En una planta piloto (12), esta etapa se refiere a la serie de corridas preliminares que deben realizarse para poder probar todos los componentes de la planta, incluyendo los equipos de medición y control. Además es necesario determinar el tiempo de transiente entre dos estados estacionarios del proceso, o sea el tiempo que se requiere para que se alcance el estado estacionario, después de una variación en las condiciones del proceso.

En esa etapa inicial de *familiarización* no resulta de utilidad el Diseño Estadístico de Experimentos, ya que la mayoría de las experiencias se realiza de una forma intuitiva. Sin embargo, en todo el proceso posterior, comenzando con el *Tamizado de Variables*, resulta imprescindible la utilización del Diseño Estadístico de Experimentos y por ello *no se debe comenzar ningún trabajo experimental sin hacer previamente algún tipo de diseño* pues puede ocurrir, si esto no se hace, que al final los datos obtenidos no sean capaces de permitir el análisis de los efectos buscados.

Desafortunadamente muchas veces se trata de llevar el enfoque de la etapa inicial de familiarización al resto de los trabajos y todavía persisten en muchos investigadores la costumbre de iniciar sus trabajos sobre un sistema nuevo y, por lo tanto poco conocido, mediante métodos de tanteo intuitivos con el pretexto de no poder aplicar las herramientas estadísticas hasta que no se tenga un conocimiento más amplio del sistema (25, 26).

Este proceder erróneo provoca la realización de un gran número de experiencias preliminares antes de que se logre obtener de verdad información orientadora. En realidad es *precisamente* al comenzar el estudio de un sistema nuevo, cuando es más recomendable iniciar la investigación aplicando técnicas de *Diseño Estadístico de Experimentos*, especialmente de aquellas con las cuales se puede estudiar el efecto de algunas variables en conjunto y definir sobre una base sólida, cuáles de éstas son significativas (*Tamizado de Variables*).

En general se puede decir que hay tres principios básicos del *Diseño Experimental*:

- ❖ **Reproducción** : Es la repetición del experimento básico para estimar el error puro o aleatorio, que permitirá determinar si las diferencias observadas son significativas o no.
- ❖ **Aleatorización**: En la mayoría de las pruebas estadísticas se supone que las muestras son independientes unas de otras y que sólo están afectadas por los parámetros que se controlan. Para garantizar esto se requiere tomar las muestras al azar o aleatoriamente de la población investigada.
- ❖ **Control local**: Se refiere implícitamente, en primer lugar, al tipo de diseño experimental que se haya realizado y en segundo lugar a las medidas que se tomar para controlar el proceso experimental como por ejemplo:
 - 1- Utilizar material o bloqueo experimental homogéneo para la estratificación cuidadosa del material disponible.

- 2- Dirigir el experimento cuidadosamente.
- 3- Considerar las posibles variantes aleatorias
- 4- Emplear las técnicas analíticas y los equipos de control más adecuados.

Por último se debe señalar que es conveniente discernir dos grandes campos del *Diseño Estadístico Experimental*, por una parte las *Ciencias Biológicas y Agrícolas*, en las que se utilizan principalmente los diseños completamente al azar, bloques al azar y los cuadrados latinos y por otra parte las *Ciencias Técnicas, Química, Física y Farmacéuticas* y algunos campos de las Ciencias Biológicas como la *Microbiología* y la *Genética Microbiana*, en las cuales existe la posibilidad de controlar un número finito de variables, en cuyo caso se emplean principalmente los *Diseños Factoriales*.

En este Curso se verá con más detalles el Diseño Experimental aplicable a las Ciencias Técnicas, Física, Química y Farmacéutica y la Microbiología, haciendo énfasis en su aplicación práctica mediante la utilización de los paquetes de programas estadísticos especializados. Para un estudio del Diseño Experimental en el campo de la Biología y la Agronomía se deben consultar textos especializados como "**La Experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas**", (19).

4.7.1 Introducción al Diseño de Experimentos en las Ciencias Técnicas.

En este campo de trabajo es usual trabajar con pocas variables, conocidas y casi siempre controlables, por lo que se planifican los experimentos con vistas a obtener *modelos matemáticos, empíricos, o mecanicísticos*, que describan el sistema estudiado. Aquí es importante destacar que este tipo de situaciones no se observa sólo en estas ciencias, sino que se observa también en algunos campos de las Ciencias Biológicas, como por ejemplo en la *Microbiología* y en la *Genética Microbiana*.

En este punto resulta conveniente definir la palabra *experimento*, puesto que puede resultar ambigua, al igual que otros términos utilizados en un diseño estadístico. En este tipo de problemas, una *corrida experimental* (o simplemente una *corrida* como se nombra usualmente), es simplemente *un experimento único*, mientras que un *grupo de corridas*, dirigidas hacia la obtención de algún objetivo, se denomina *Diseño Experimental* o simplemente *diseño*.

La anatomía de una *corrida* se representa en la Figura 4.2 (27). El resultado de la *corrida* es una *respuesta* obtenida o observación hecha en una *unidad experimental*. El valor de la *respuesta* para cualquier *corrida*, dependerá de los ajustes de una o más variables experimentales o *factores*, los cuales están bajo el control directo del investigador.

Desafortunadamente para los experimentadores, este cuadro de una *corrida experimental* incluye además muchas *variables no controladas* y a veces incluso desconocidas, que también influyen en la respuesta y que tienden a provocar variaciones tanto sistemáticas como aleatorias que tienden a enmascarar los *efectos* verdaderos de los *factores* en la respuesta. Como ejemplo de dichas variables están el efecto sistemático de las condiciones ambientales y las diferencias en el equipamiento, material de arrancada y técnicas empleadas en los experimentos. Variaciones aleatorias se pueden producir también por errores en las pesadas, en la transferencia de materiales y en la lectura de instrumentos. Por todo esto, un buen Diseño Experimental debe considerar las posibilidades de impacto de ese tipo de variables, en la posibilidad de sacar conclusiones adecuadas de los experimentos y poder alcanzar los objetivos experimentales.

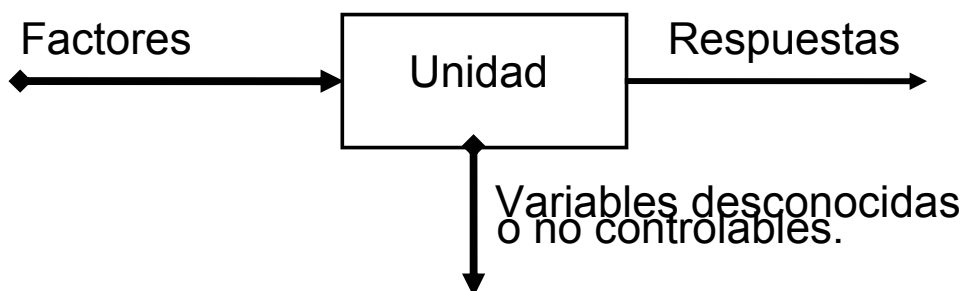


Figura 4.2 Representación de una Corrida experimental. Tomado de (27).

Los principales elementos en general, que se deben considerar en un Diseño Estadístico de Experimentos, se presentan en la Tabla 4.2. El primero resulta obvio, no obstante es sorprendente como en muchos casos no se llegan a resultados adecuados por defectos en el planteamiento inicial del problema. La relación de variables de respuesta también resulta de vital importancia y ya no resulta obvia. Las respuestas pueden ser *cuantitativas* (continuas), *cualitativas* (discontinuas) y *binarias*. De ellas las de más fácil manejo son las continuas y para las discontinuas una buena solución es evaluarlas en una escala numérica, por ejemplo de 5 a 10, convirtiendo así la respuesta a una variable semi-cuantitativa. En el caso de las *binarias*, puede tratarse también de llevar a formas discontinuas, pero muy frecuentemente se necesitan emplear técnicas especiales para su manejo.

Los *factores* o *variables independientes experimentales*, son controladas por el experimentador y el *nivel de un factor* es el valor fijado para el factor durante una corrida experimental. Al igual que las respuestas, los factores pueden ser clasificados de acuerdo con la escala de medición, como *continuos* o *cuantitativos* como el tiempo y la temperatura y *cualitativos, discontinuos* o *categoricos* como el tipo de catalizador o solvente empleado. También en este caso son más difíciles de manejar los *discontinuos* y la solución común es emplear dos niveles en el experimento, definiendo con (+1) o simplemente con el signo (+) la presencia o el carácter positivo del factor y con (-1) o con el signo (-), lo contrario.

4.7.2 Selección de los modelos a emplear en un Diseño Experimental.

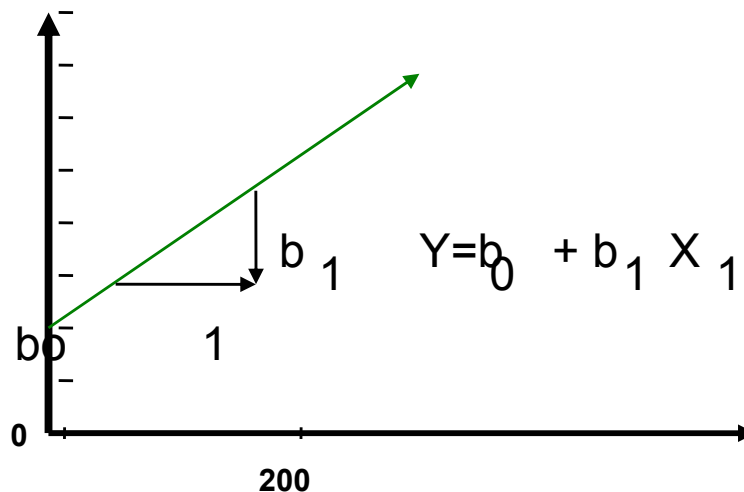
Cuando la *respuesta* y los *factores* son *continuos*, se debe considerar la relación factor /respuesta en términos de una función matemática o *modelo*. En las primeras etapas de la investigación, cuando se conoce poco sobre la verdadera relación factor /respuesta, resulta suficiente considerar un *modelo empírico* sencillo tal como un polinomio de primero o segundo orden. Ya en etapas más avanzadas de la investigación puede considerarse un *modelo determinístico*,

derivado de los principios fundamentales, ya que con ese tipo de modelos puede obtenerse la requerida precisión en la predicción en un amplio rango de condiciones.

En el caso de un factor único, el modelo empírico más simple es la función de primer orden:

$$Y = B_0 + B_1 X$$

(4.6)



Los parámetros del modelo, B_0 y B_1 , se

Figura 4.3 Modelo de Primer Orden.

denominan *intercepto* y *pendiente* respectivamente. Ese modelo se muestra en la Figura 4.3 y resulta útil para predecir la respuesta Y en un rango limitado del factor X . También resulta útil en la etapa de Tamizado de Variables, cuando el interés debe centrarse en los factores que tienen un mayor efecto en la respuesta Y . En ese caso, si b_1 tiene un valor cercano a cero, se dice que el factor no tiene un efecto significativo en la respuesta.

En general se tiene la tendencia a considerar que la relación factor /respuesta tiene una forma curva y en ese caso se obtiene una mejor representación con la función de segundo orden (Figura 4.4):

Aquí es posible determinar un óptimo grosero, localizado en un nivel del factor igual a $-B_1/2B_{11}$. Por su parte, al coeficiente B_{11} se le denomina *coeficiente de curvatura*. Si B_{11} es cercano a cero, se dice entonces que la respuesta no tiene

curvatura y por ello es aproximadamente de primer orden, es decir lineal, con respecto al factor X.

$$Y = B_0 + B_1 X + B_{11} X^2 \quad (4.7)$$

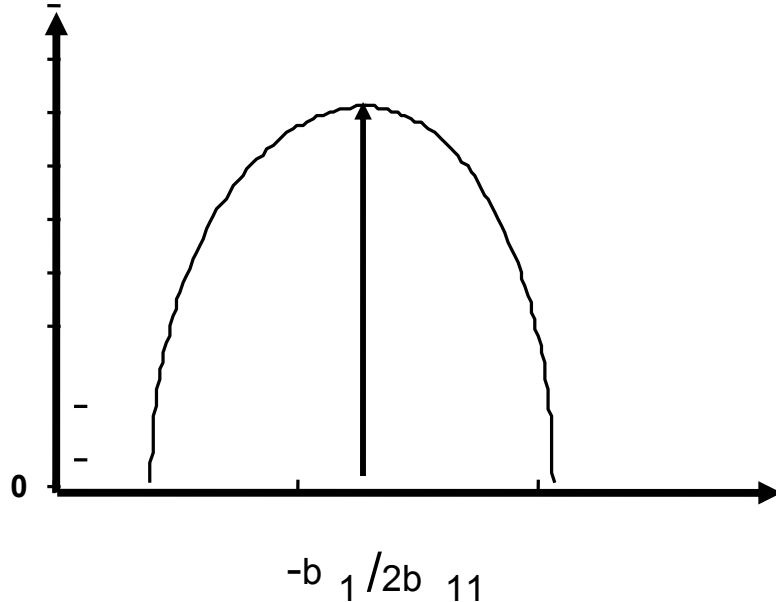


Figura 4.4. Modelo de segundo orden

Tabla 4.2 Elementos del Diseño Estadístico de Experimentos (27)

1	Planteamiento del problema
2	Relación de variables de respuesta
3	Relación de factores variables
4	Modelo Matemático
5	Elección de niveles para los factores
6	Tamaño del diseño
7	Orden de la Experimentación
8	Registro de los datos

Para el caso de la existencia de dos o más factores, puede existir una situación más complicada conocida como *interacción*, lo que significa que los factores no

operan independientemente sobre la respuesta. En el caso de que exista *independencia* en lugar de *interacción*, se dice entonces que los factores son *aditivos*. Cuando no hay o es muy poca la curvatura con respecto a cualquiera de los factores, el modelo más simple para dos factores es:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{12} X_1 X_2 \quad (4.8)$$

en el cual B_1 y B_2 son las pendientes correspondientes a los factores X_1 y X_2 , respectivamente, mientras que B_{12} es el parámetro de interacción y cuando el mismo se hace cero, se está en presencia de un modelo *aditivo* de primer orden. En ese caso cuando se grafica Y vs. X_1 para dos valores constantes de X_2 cualesquiera, se obtienen dos líneas rectas paralelas (Figura 4.5). Cuando el término B_{12} tiene un valor distinto de cero el modelo es *interactivo*. En ese caso un gráfico de Y vs. X_1 para dos valores constantes de X_2 produce dos líneas rectas no paralelas (Figura 4.6).

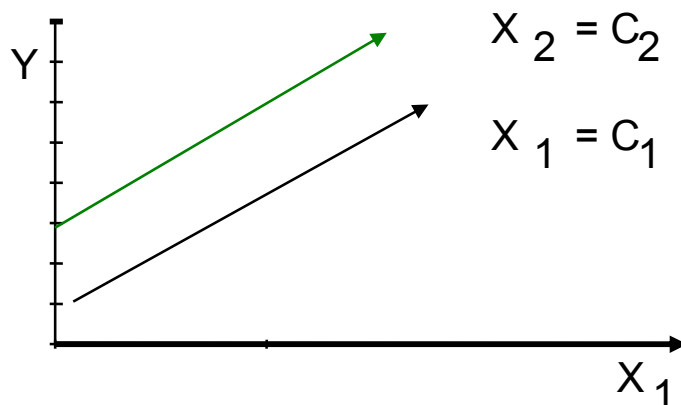


Figura 4.5 Modelo de Segundo Orden (Aditivo)

Cuando la relación existente entre la respuesta y un factor es de forma curva, entonces debe añadirse un término *cuadrático* o de *curvatura*. En ese caso el modelo completo de segundo orden sería:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{22} X_2^2$$

(4.9)

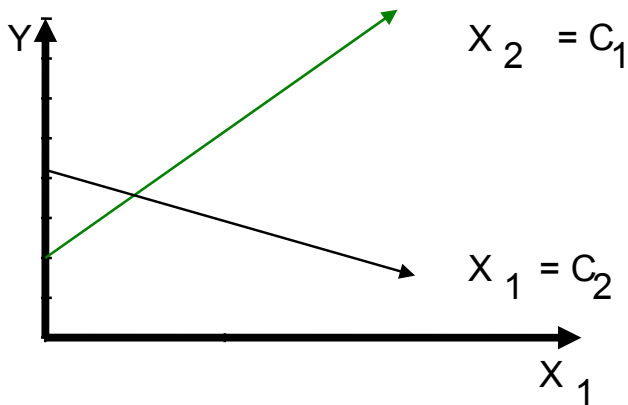


Figura 4.6. Modelo de segundo orden (interactivo)

Este tipo de modelos puede brindar una excelente descripción de la respuesta dentro de la región de experimentación y puede usar para propósitos de interpolación o para encontrar un óptimo interno grosero, si éste existe. En la figura 4.7 se presenta un gráfico de Y vs. X₁ para valores constantes de X₂. Otra forma útil de presentar esta relación es mediante un *mapeo de los contornos de la superficie respuesta* Y sobre el espacio factorial definido por los valores de X₁ y de X₂ (Figura 4.8). Este gráfico indica una respuesta máxima cerca del centro del

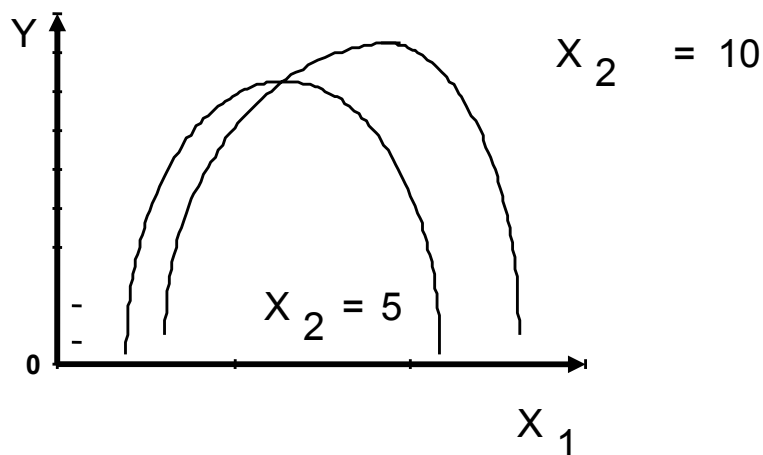


Figura 4.7. Modelo completo de segundo orden.

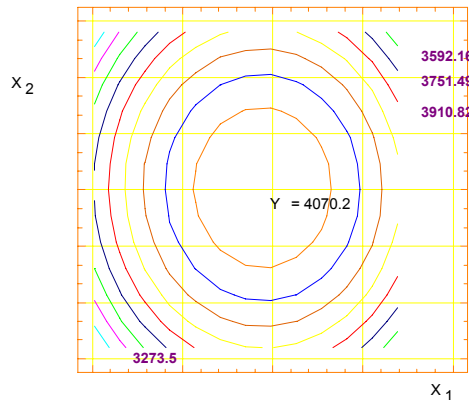


Figura 4.8 Grafico de contornos de Y vs. X₁ y X₂.

espacio factorial. Sin embargo, es importante enfatizar que este tipo de *modelos empíricos de segundo orden*, son muy poco confiables para predicciones fuera del rango de experimentación en que han sido ajustados.

Para el caso general de n factores, el *modelo empírico general de segundo orden* será:

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_{ij} X_i X_j \quad [(n+1)(n+2)/2] \quad (4.10)$$

el cual tiene parámetros a ser estimado. Puesto que este número de parámetros puede llegar a ser muy grande rápidamente cuando se incrementa n, generalmente se asume un modelo más sencillo (por ejemplo un modelo de primer orden) al inicio de la investigación, cuando el número de factores considerados es muy elevado y cuando el número de factores se va reduciendo, el modelo se puede ampliar a uno de segundo orden, parcial o total o incluso a un modelo teórico (determinístico).

4.7.3 Selección del nivel de los factores.

Otro elemento importante a considerar es la selección del *nivel de los factores*, ya que un Diseño Experimental consiste precisamente en un conjunto de corridas experimentales, cada una de ellas definidas como una combinación de los niveles de los factores. La elección de estos niveles es influenciada considerablemente

por el tipo de modelo matemático en consideración. Por consiguiente un Diseño Experimental se determina por el número y tipo de los factores en unión con el tipo de modelo a emplear.

Para el caso más simple, de un factor único y un modelo de primer orden, sólo son necesarios dos niveles del factor para estimar los parámetros B_1 y B_0 . En esta discusión esos dos valores se pueden codificar como *alto* y *bajo* o (+1) y (-1) o simplemente (+) y (-). El cambio en la respuesta entre esos dos niveles se denomina el *efecto principal del factor* (Figura 4.9). Como el error aleatorio puede fácilmente oscurecer el efecto principal si los niveles se toman muy cercanos, el efecto principal puede ser estimado de manera más precisa si los factores se ajustan a niveles suficientemente separados.

Si se considera un modelo de segundo orden, se necesita un tercer nivel del factor para estimar el parámetro de curvatura B_{11} . Ese tercer nivel normalmente se sitúa a medio camino entre los niveles extremos del factor y se denomina como punto central y se codifica como *medio* o (0). El efecto de curvatura se define entonces como la diferencia entre la respuesta experimental del punto central y la respuesta esperada de un modelo de primer orden que se ajuste a los puntos extremos (Figura 4.10).

En la práctica es difícil que se necesiten más de tres o cuatro niveles para un factor, excepto en los casos en que se trata de seleccionar el mejor modelo teórico a emplear y pueden ser necesarios entonces más niveles de los factores para poder seleccionar entre muchos modelos candidatos (27).

Para más de un factor, cada corrida experimental se define como una combinación de niveles de factores. Por ejemplo, en el caso de dos factores, el efecto de interacción debe ser estimado de forma adicional a los dos efectos principales y para ello el mínimo número de corridas debe ser cuatro, puesto que se deben estimar las dos pendientes de la relación Y vs. X_1 y comparar esas pendientes a

dos valores de X_2 para chequear si hay o no interacción. Si el efecto de interacción es cero, las líneas son paralelas, como ocurre en la Figura 4.5.

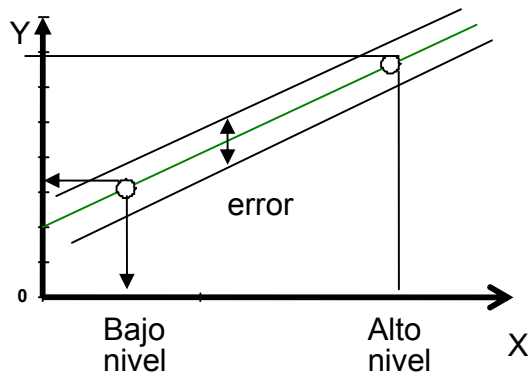


Figura 4.9 Estimado del efecto de primer orden.

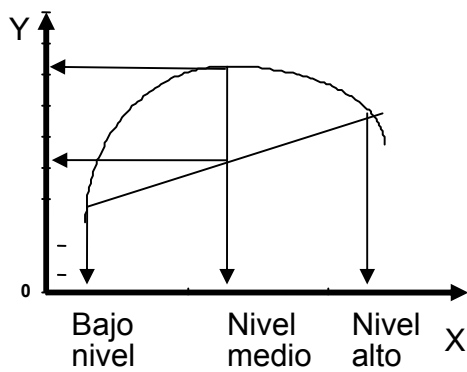


Figura 4.10 Estimado del efecto de curvatura.

Las cuatro corridas mencionadas anteriormente se conocen como un *Diseño Factorial 2^2* y es un miembro de la clase de diseños conocida como *Factoriales 2^n* , o sea n factores por corrida, cada uno de los cuales se evalúa a dos niveles y se tienen en cuenta todas las combinaciones posibles entre dichos niveles y factores. Las combinaciones de niveles factoriales en los diseños 2^2 y 2^3 se presentan en las figuras 4.11 y 4.12, representadas como las esquinas de un cuadrado y un cubo respectivamente.

El efecto de curvatura se puede estimar en este tipo de diseño, añadiendo un tercer nivel de cada factor en diversas combinaciones de los factores restantes. Sin embargo, en las etapas iniciales de investigación es más económico analizar la curvatura global del sistema y eso puede ser hecho mediante la adición de una combinación de todos los factores en el punto central, localizado en el centroide del diseño y en el caso de los diseños 2^2 y 2^3 la corrida en el punto central se localiza en los centros del cuadrado y del cubo respectivamente, como se muestra en la Figura 4.12.

Si la corrida en el punto central detecta un efecto de curvatura global apreciable, se deberán realizar entonces corridas adicionales para obtener estimados separados del efecto de curvatura para cada factor. Esas corridas adicionales se conocen como *puntos axiales o de estrella* y cuando se combinan con los diseños

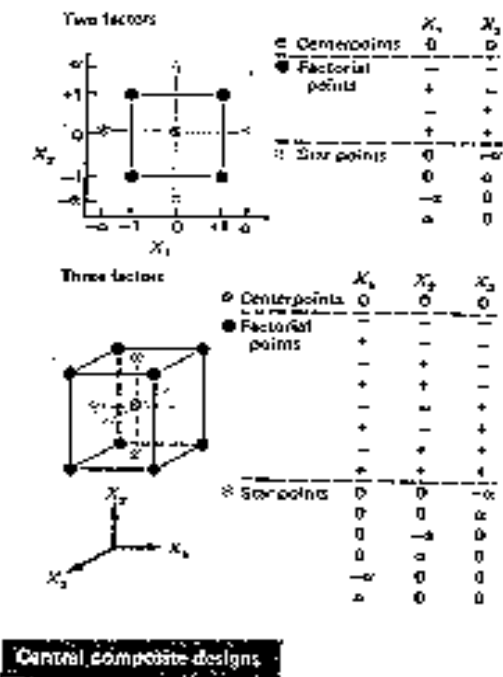


Figura 4.11 Combinaciones de los niveles factoriales en los diseños 2^2 y 2^3 (27).

2^n más el punto central, constituyen los denominados *Diseños Compuestos Centrales* (Figura 4.12). En esos casos los puntos de estrella o axiales están localizados a una distancia del punto central, la cual varía desde 1 hasta $2^{n/4}$, donde n es el número de factores.

Una de las mayores desventajas de los Diseños Factoriales 2^n es el gran número de corridas que se necesita cuando n se incrementa. Para resolver este problema, se utilizan determinadas fracciones o subconjuntos de los *Diseños Factoriales Completos*. Esos *Diseños Factoriales Fraccionarios*, se utilizan principalmente durante la etapa de *Tamizado de las Variables*, y pueden ser posteriormente expandidos a fracciones mayores o incluso al diseño completo, cuando el número de variables se ha reducido convenientemente.

También se emplea un variante de los Diseños Factoriales Fraccionarios conocida como *Diseños Saturados*, en los cuales se pueden tratar (n-1) factores con n experimentos, o una variante de los mismos conocida como *Diseños Plackett-*

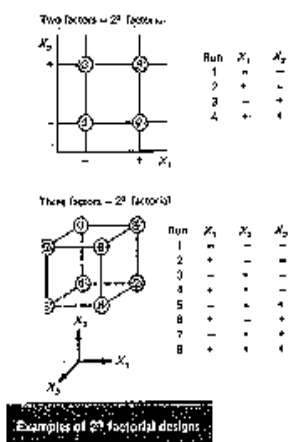


Figura 4.12 Ubicación de puntos de réplica en el centro del diseño (27).

Burman, en los cuales se tratan un número algo menor, o sea (n-2) o (n-4) factores, para dejar de 2 a 4 columnas no asignadas para evaluar grupos de interacciones (Murphy, 1977; López, 1988). Este tipo de diseño es muy útil y muy empleado en la etapa del Tamizado de Variables. Algo más recientemente se han comenzado a aplicar las *Técnicas de Diseño Robusto* de **Taguchi**, también para

un gran número de variables, las cuales a su vez toman como punto de partida diversos tipos de Diseños Ortogonales.

4.7.4 Tamaño del Diseño Experimental.

La precisión de un estimado de efecto principal, interacción o curvatura depende del número de datos que se utilice en dicho estimado, en unión a la magnitud del error de la respuesta ε . En un diseño 2^n , se emplean todas las corridas para

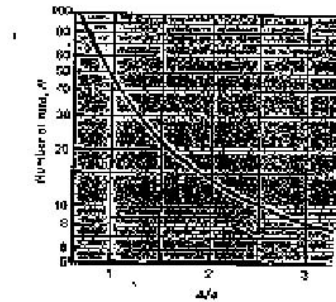


Figura 4.13 Número de experimentos necesarios para un error de la respuesta dado (27).

estimar los efectos principales y la interacción y por ello el experimentador debe de fijar el número total de corridas N requeridas para alcanzar la precisión deseada.

Para hacer esto, el experimentador determina el mínimo cambio de la respuesta que resulta de interés técnico en la investigación en particular que se está llevando a cabo, el que se denota por el símbolo Δ . El experimento debe ser capaz de brindar esa respuesta, si existe, de manera tal que la misma pueda ser declarada estadísticamente significativa con un alto grado de probabilidad. Para esto se toma como base la relación Δ/ε , desarrollada por estadísticos y mostrada en la Figura 4.13.

Del análisis de la figura se comprueba que si se quiere detectar un efecto igual al doble del error de la respuesta ($\Delta/\varepsilon = 2$), se requieren alrededor de 14 corridas, la que se reduce a sólo 7 si el efecto a detectar es 4 veces el error y se eleva a 50, si

por ejemplo, la respuesta a detectar está en el mismo orden de magnitud del error de la respuesta.

Si N es mucho más grande que el valor en el diseño que se ha escogido, basado en el modelo matemático adoptado, se hace necesario repetir, o *replicar*, el diseño entero una o más veces. El primer propósito de esa replicación es suministrar suficiente precisión para los estimados, pero un propósito secundario útil es suministrar un estimado más preciso del error de la respuesta (σ), el cual puede emplearse para determinar el tamaño requerido para los diseños sucesivos.

4.7.5 Orden de la experimentación.

Para prevenir las tendencias sistemáticas de variables no controladas o desconocidas, durante la ejecución del diseño, es prudente realizar de forma aleatoria las distintas corridas. Esto se puede hacer utilizando cualquier proceso de generación de números aleatorios o mediante el empleo de boletas numeradas en una caja, las que se van extrayendo al azar y definen el orden del experimento. También hay que considerar que las unidades experimentales no siempre son homogéneas y que pueden diferir producto de alguna variable no controlada conocida. Esta situación requiere que las unidades experimentales sean segregadas en bloques de unidades experimentales homogéneas. Cada bloque puede ser considerado como un nivel de una *variable extraña o de bloque*. Ejemplos de *variables de bloque* son las templas de materiales, el tipo de equipamiento, la estacionalidad, etc.

El tamaño del bloque es el mínimo número de experimentos disponible en un bloque. Si el tamaño del bloque es igual o mayor que la mitad de las corridas en un Diseño Factorial, Completo o Fraccionario, el factor de bloqueo puede incluirse simplemente como otro factor en el diseño.

4.7.6 Registro de los datos.

Un elemento importante a considerar es el proceso de codificación y descodificación del nivel de los factores. Para el desarrollo del Diseño es conveniente, con vistas a asegurar la ortogonalidad del mismo, utilizar los niveles codificados de los factores (-1, 0, +1 y \square , según el caso) y posteriormente se necesita transformar esos niveles en los valores reales. Para ello se emplean las siguientes ecuaciones:

$$X_i = \frac{V_i - V_n}{M} \quad (4.11)$$

donde X_i es el valor codificado de la variable i , V_i es el valor real de la variable. A su vez V_n es el valor promedio de la variable en el intervalo, o sea :

$$V_n = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} \quad (4.12)$$

y M es el *módulo* o *recorrido* de la variable que se calcula por:

$$M = \frac{V_{max} - V_{min}}{2} \quad (4.13)$$

4.7.7 Selección del Diseño Estadístico de Experimentos a aplicar.

Para llegar a este punto es necesario tener en cuenta los elementos estadísticos del Diseño de Experimentos que se han señalado anteriormente. Además se deben tener disponibles las siguientes informaciones:

1. Relación de las respuestas a ser estudiadas, junto con el estimado de cada error de respuesta ε .
2. Relación de los n factores a ser estudiados, junto con los rangos (niveles alto y bajo) de cada factor cuantitativo y lista de los niveles para cada factor cualitativo.
3. Planteamiento del problema a ser investigado junto con la selección del modelo matemático adecuado.

4. Mínimo número de corridas necesario para obtener la precisión requerida en los estimados del efecto de los factores.
5. Chequeo de la homogeneidad de las unidades experimentales y selección del esquema de bloques en el caso de que fuese necesario.

Todos esos aspectos tienen que ser definidos en la etapa inicial de *familiarización*, con lo cual se está en condiciones de pasar a las etapas siguientes o sea al *tamizado de variables* y la *optimización*. En el caso de la *optimización* resulta conveniente analizar una primera etapa de *optimización gruesa* y una *etapa final de optimización*.

4.7.8 Tamizado Inicial de Variables.

El método a aplicar depende del número inicial de variables a considerar y del número mínimo de experimentos requeridos para obtener la precisión requerida. Los *Planes Factoriales Completos* se emplean hasta un máximo de 4 variables; para 3 o más variables y hasta aproximadamente 15 se pueden emplear los *Planes Factoriales Fraccionarios* y desde 5, hasta un número que puede llegar a 100, se tienen disponibles los Diseños Saturados y los diseños de *Plackett - Burman*.

Con ese tipo de diseños se pueden estimar los efectos principales y el efecto global de curvatura y, en ciertos casos, grupos de interacciones. Después, en dependencia de los resultados experimentales, estos diseños se pueden aumentar para expandir el rango de los factores existentes y para estimar parámetros de modelos de orden mayor al segundo, en la etapa de optimización. De esa forma, las investigaciones pueden desarrollarse en etapas, y los objetivos experimentales pueden cambiar de acuerdo con los resultados de las etapas anteriores.

Durante esta etapa de tamizado de variables, el énfasis primario se hace en la identificación de los factores más importantes y como tarea secundaria se tiene la detección grosera de los efectos de segundo orden (curvatura e interacción), así

como obtener mejores estimados del error de la respuesta para su uso en las etapas posteriores de la experimentación y estos objetivos se reflejan en el tipo de modelo seleccionado, el cual es siempre de primer orden, con la adición de los efectos de interacción y curvatura, los cuales se miden de forma indirecta, ya que no son considerados en el modelo.

Resulta evidente que la determinación de la manera de combinar los factores y niveles y la selección entre ellas de la variante más adecuada para cumplir con los objetivos de una investigación, no resulta fácil de determinar cuando el número de factores es mayor de tres, pero para facilitar esa tarea, así como la posterior evaluación de los resultados obtenidos, se cuenta con paquetes de programas estadísticos generales como el **STATGRAPHIC** o específicos como el **DesignExpert** que determinan de forma automática un grupo de combinaciones de factores y niveles necesarios, entre las cuales puede el investigador seleccionar la que mejor se adapta a sus necesidades. (Por la importancia del uso de estos software, en el curso se incluye una clase práctica donde se introducen las principales características del **DesignExpert (16)**).

Después de escogido el diseño por este método se comienza el proceso de tamizado de las variables. La operación de selección de las variables simplemente significa realizar pruebas de significación de cada coeficiente estimado en el modelo ajustado. Si un parámetro estimado *no es significativamente diferente de cero*, esto significa que las variaciones asociadas al factor, en el intervalo seleccionado para el experimento en cuestión, produce un cambio despreciable en la respuesta y por tanto ese factor no necesita ser considerado en la optimización posterior y puede por lo tanto ser eliminado.

Ahora bien, en este punto hay que tener en cuenta que un valor muy bajo de un coeficiente dado puede obtenerse también por las siguientes causas:

1. El nivel escogido para cada factor está cercano a un máximo condicional de la respuesta.

2. La magnitud del cambio para ese factor ha sido escogido desproporcionadamente pequeño.

La primera de esas causas será precisamente el criterio a utilizar en la búsqueda del óptimo en los pasos de aproximación iniciales, como se verá más adelante y la segunda muestra una vez más la *importancia decisiva que tiene realizar desde el inicio una adecuada selección de la magnitud del cambio a efectuar en cada factor*, o sea sus *niveles*.

4.7.9 Fase de optimización inicial.

Antes de llegar a esta etapa, el número de factores debe de haberse reducido a un máximo de tres o cuatro y preferentemente no más de tres. En ésta los Diseños Experimentales se construyen alrededor de los Diseños Factoriales Completos o Fraccionarios con un punto central único, aunque en muchos casos los propios diseños empleados en el Tamizado de Variables pueden ser también empleados para la etapa de optimización gruesa y pueden ser reanalizados en términos de los factores sobrevivientes al tamizado.

En esta etapa se utiliza el método del *camino del ascenso más rápido*, para lograr un acercamiento hacia el óptimo, mediante un modelo de primer orden, hasta alcanzar las cercanías de dicho óptimo y pasar entonces a la etapa de *Optimización Final* (26).

4.7.10 Fase de Optimización final.

Esta fase requiere un modelo cuadrático completo para predecir con precisión el punto de óptima respuesta:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + \dots + B_n X_n + B_{11} X_1^2 + \dots + B_{nn} X_n^2 + B_{12} X_1 X_2 + \dots + B_{mn} X_m X_n \quad (4.14)$$

donde $m = n-1$ y todos los términos del modelo deben ser estimados.

El tipo de diseño empleado en esta etapa es el Diseño Compuesto Central, el cual es básicamente un Factorial 2^n aumentado con los puntos centrales y los puntos estrella. Además se pueden emplear también los diseños $3n$ y el diseño tipo Box y Behnken (26, 27), estando estas tres opciones disponibles, por ejemplo, en el

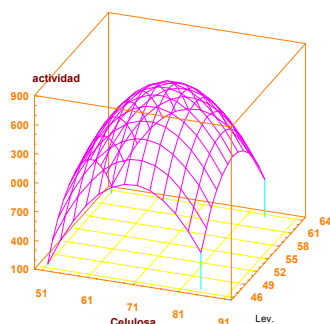


Figura 4.14 Obtención de la superficie respuesta en Statgraphics.

paquete de programas **Statgraphics**. Para el análisis final del óptimo, resulta útil obtener el gráfico de la Superficie Respuesta (**Fig. 4.14**), así como el Gráfico de los Contornos, los cuáles se obtienen también disponibles en el **Statgraphics** y en el **DesignExpert**.

4.8. Planificación de las Actividades










Las **actividades** son las acciones o tareas que se deben realizar con el fin de producir los resultados y por lo tanto, contribuir al logro de los objetivos propuestos. En cada actividad deben citarse, por los menos de forma general, las técnicas, y equipos que se proponen utilizar y el lugar donde se piensa realizar. El cronograma de actividades se puede representar mediante diagramas de Gantt o de Pert. Para la confección del cronograma puede auxiliarse de programas de computación como el **Microsoft Project (23)**.

El cronograma trabajo o calendario de actividades es un instrumento que permite prever, controlar y relacionar las actividades que tiene que realizar el investigador en concordancia con el tiempo que dispone. En la tabla se muestra un ejemplo hipotético de un cronograma de trabajo.

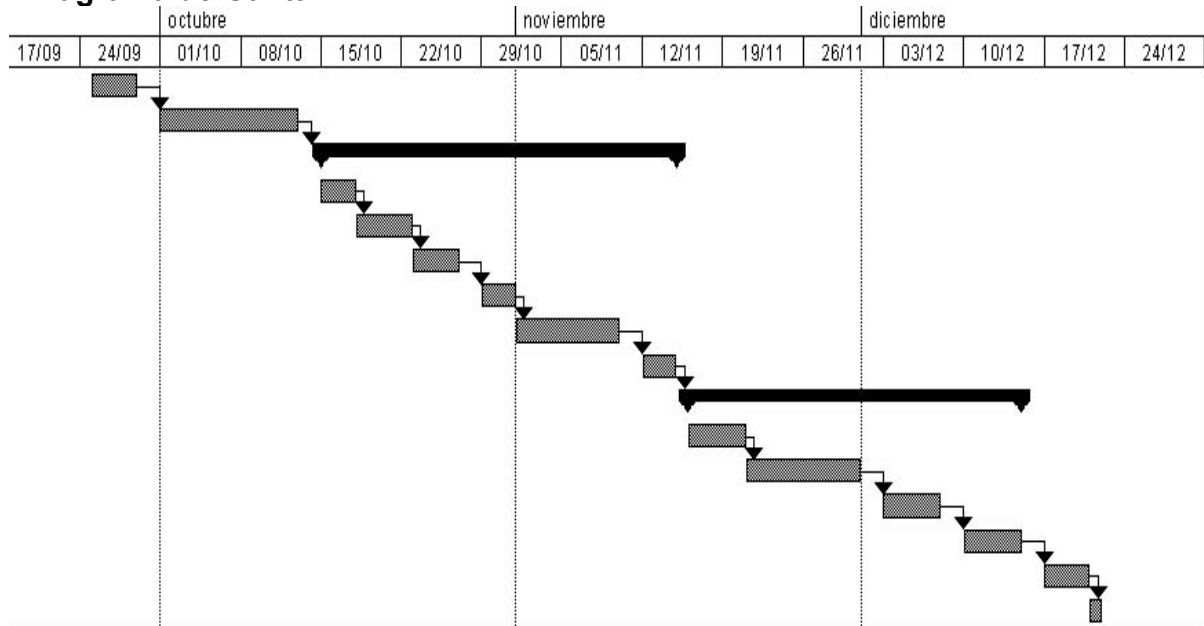
La relación actividades – tiempo del proceso de investigación debe ser coherente y sistemática. Por lo tanto el cronograma de trabajo no debe ser tomado como una camisa de fuerza a la que usted tenga que someterse de forma inexorable, pero tampoco debe quedar sólo en el papel por cumplir un requisito, haciendo caso omiso de lo que allí se prevé.

Su confección debe responder la siguiente pregunta: **¿Cuánto tiempo va a emplear en hacer el estudio propuesto.** Para la confección y presentación de estos cronogramas resulta una práctica común emplear el software **Microsoft Project**, por lo cual en esta asignatura se incluye una clase Práctica para familiarizar al estudiante con el uso de dicho software. A manera de ejemplo, a continuación se muestra el **Calendario de Actividades o Cronograma de Trabajo** de un Proyecto y su **Diagrama de Gannt**, obtenidos ambos con el **Microsoft Project**.

Calendario de actividades de un proyecto.

		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pr
1		Travel to Gießen and accomodat	4 días	mar 25/09/01	vie 28/09/01	
2		Bibliographic Research Stage	10 días	lun 01/10/01	vie 12/10/01	1
3		Developing Research Stage	23 días	lun 15/10/01	mié 14/11/01	2
4		Processing information obtair	3 días	lun 15/10/01	mié 17/10/01	
5		Planning experimental runs	3 días	jue 18/10/01	lun 22/10/01	4
6		Processing data obtained	4 días	mar 23/10/01	vie 26/10/01	5
7		Selection control hardware	3 días	lun 29/10/01	mié 31/10/01	6
8		Develop mathematical model	7 días	jue 01/11/01	vie 09/11/01	7
9		Desing computer aided contr	3 días	lun 12/11/01	mié 14/11/01	8
10		Implementation of Results	21 días	vie 16/11/01	vie 14/12/01	9
11		Installation of the control equ	3 días	vie 16/11/01	mar 20/11/01	
12		Installation of control process	8 días	mié 21/11/01	vie 30/11/01	11
13		Implementation of Process C	5 días	lun 03/12/01	vie 07/12/01	12
14		Evaluation of obtained results	5 días	lun 10/12/01	vie 14/12/01	13
15		Final Report	4 días	lun 17/12/01	jue 20/12/01	14
16		Travel Giessen-Havana	1 día	vie 21/12/01	vie 21/12/01	15

. Diagrama de Gantt



Anexo:

Clase práctica Tema 4 (En laboratorio de Computación):

Ejercicios con el software Microsoft Project (Planificación de la investigación)

Ejercicios con el software DesignExpert (Diseño Estadístico de Experimentos)

TEMA 5. EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Objetivos:

- ✓ Conocer las etapas en que se divide el proceso de Investigación y Desarrollo
- ✓ Introducir el concepto de escalado y presentar de forma adecuada sus fundamentos
- ✓ Introducir el concepto de ingeniería concurrente
- ✓ Introducir el concepto de Ingeniería de Procesos Asistida por Computadora
- ✓ Introducir el uso de los simuladores comerciales de procesos

Introducción:

En este capítulo se tratará específicamente la ejecución de las **Investigaciones Tecnológicas**, y en especial las de **Investigación Desarrollo**, aunque casi todos los conceptos resultan válidos también para la **Innovación Tecnológica**, ya que siempre se ha tenido en cuenta que el objetivo final de la investigación es llegar a una escala comercial de producción (9). Además se hará un énfasis especial en los problemas relacionados con el **cambio de escala (escalado, scale-up)**, por la importancia que tienen estos problemas en este tipo de investigaciones y por las complicaciones que se presentan durante el proceso de **I+D** cuando no se tiene en cuenta este vital aspecto (12).

5.1 Problemas que surgen relacionados con el cambio de escala.

En el escenario de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías está presente siempre la problemática de cómo convertir en una estructura económica de producción los conocimientos logrados en el laboratorio, concatenándolos con otros conocimientos ya establecidos, para poder llegar de esa forma a una escala comercial de producción.

En este proceso de cambio de escala surgen problemas que en muchas ocasiones son ignorados completa o parcialmente y esa ha sido la causa de no pocos fracasos. Estos problemas pueden ser agrupados en dos tipos fundamentales: los que se relacionan exclusivamente con la necesidad de manejar

grandes volúmenes de material y aquellos en que la naturaleza misma del problema se ve afectada por el tamaño de la escala de operación.

En el primer caso se tienen los problemas relacionados con los sistemas de enfriamiento, calentamiento y tratamiento de residuales, los cuales se llevan a cabo con relativa facilidad a nivel de laboratorio y requieren generalmente de equipos costosos y complejos cuando se realizan en la escala industrial. También son de este tipo de problemas los relacionados con la necesidad de utilizar diferentes materiales al pasar a una escala mayor, como ocurre al emplear reactivos químicos comerciales en lugar de los de grado analítico o la utilización de recipientes metálicos en lugar de los de vidrio, lo que puede introducir problemas de contaminación.

Los problemas del segundo tipo surgen cuando los distintos parámetros del proceso se ven afectados de manera diferente por el tamaño de la unidad. Un ejemplo sencillo puede ser el efecto que sobre la superficie específica de un recipiente tiene el cambio de escala. Una serie de recipientes de proporciones geoméricamente similares, pero de diferentes volúmenes, tienen un volumen que es proporcional al cubo del diámetro del recipiente, pero la superficie de la pared es proporcional al cuadrado del diámetro del recipiente, de manera que la superficie específica, que afecta a la transferencia de calor en las camisas refrigerantes, es proporcional al inverso del diámetro del recipiente.

Los microorganismos proporcionan otro ejemplo muy espectacular de este principio, ya que una de las características de su eficiencia como sistemas reaccionantes microscópicos es su gran superficie con respecto a su volumen. Una bacteria tiene un volumen de aproximadamente $5 \times 10^{-19} \text{ m}^3$ y una superficie de alrededor de 6×10^{-12} , por lo que la superficie específica es de alrededor de 3×10^6 , mientras que un m^3 de agua se puede encerrar en un tanque con una superficie de 6 m^2 , lo que hace una superficie específica de 6, o sea un millón de veces menor que la de las bacterias.

En los procesos químicos se tiene que durante la **Investigación Desarrollo** de un nuevo producto, uno de los problemas que requiere una atención más estrecha y que en ocasiones llega a ser problemático, es el escalado del reactor. Es aceptado prácticamente por todos que el diseño de un reactor químico a escala comercial, el cual es el corazón de una planta química, no puede llevarse a cabo con un enfoque solamente teórico, por lo cual resulta imprescindible contar con datos de las reacciones involucradas obtenidos a nivel de laboratorio, banco o planta piloto.

Aunque básicamente la velocidad de una reacción química resulta independiente del tamaño y estructura de un reactor (Tabla 5-1), la misma es influenciada por los procesos físicos, por ejemplo la transferencia de masa y calor, las cuales son controladas por el tamaño y estructura del reactor (12).

Tabla 5-1. Influencia del tamaño en un número de mecanismos claves en los procesos químicos, tomado de (12).

Mecanismo	Variables importantes	Influencia del tamaño
Cinética Química	T, C, P	Ninguna
Termodinámica	T, C, P	Ninguna
Transferencia de calor	Velocidades locales, P, C	Indirecto
Transf. de masa en una fase fluida	T, C, Turbulencia	Indirecto
Transferencia de masa entre fases	Velocidades relativas de fases, C, T	Indirecto
Convección forzada	Rapidez de flujo, Geometría	Importante
Convección natural	P, C, T, Geometría	Determinante

Por esa causa la reacción química se afecta por el tipo de reactor y el efecto del incremento de escala resulta normalmente impredecible de forma cuantitativa, lo que resulta más complejo aún cuando en la reacción participan diferentes

fases, a causa de que los fenómenos no son todos afectados en la misma forma por las dimensiones de una planta (Tabla 5-2).

Tabla 5.2. Efecto de las dimensiones geométricas en lo fenómenos principales que ocurren en un reactor con fases múltiples (12).

DIMENSIONES GEOMÉTRICAS			
MECANISMO	Volumen ($\sim DL^2$)	razón L/D	Sup. lateral /volumen($\sim D^{-1}$)
Reacción química	Fuerte, práctic. determinante	Débil e indirecto	Sin influencia directa
Transf. de masa	No determinante. Indirecto	Fuerte	Sin influencia directa
Transf. de calor	Débil e indirecto	Fuerte	Fuerte y directo

5.2 Modelos y prototipos

Para cumplir con el objetivo del escalado, o sea obtener un procedimiento industrial exitoso, se necesita aplicar un conjunto de técnicas, metodologías y procedimientos que permitan transferir a la escala industrial, los datos obtenidos en los experimentos a escala reducida. Lo ideal sería que este estudio se pudiera realizar de manera teórica, sin necesidad de experimentos, aplicando las leyes generales de la física y la química y resolviendo las ecuaciones, por lo común diferenciales, que describen por completo los procesos.

En la práctica esto sólo es posible en muy contados casos, ya que si bien en muchas ocasiones se conocen las ecuaciones diferenciales que describen los procesos de interés, en la mayoría de ellas no es posible realizar su integración y por ello no queda otra vía que recurrir a la investigación experimental, es decir a los ensayos y pruebas. A su vez, en la mayoría de los casos resulta difícil y costoso, cuando no imposible, experimentar directamente con los procesos de interés y no queda otra alternativa que recurrir al empleo de

modelos que permitan reproducir, en los laboratorios, los procesos que se quieren estudiar.

El empleo de los modelos hace necesario la aplicación de la Teoría de los Modelos y para ello es fundamental tener en cuenta que en la misma se utilizan un grupo de términos que o bien no son utilizados normalmente o lo que es peor aún, se utilizan con un sentido diferente al que se les da en esta Teoría. De todos esos conceptos, los primarios resultan los de modelo y prototipo, los cuales se definen de la forma siguiente (12, 18):

"Un modelo es un dispositivo o medio que está concebido de tal manera que puede ser usado para predecir el rendimiento de un prototipo. El prototipo, a su vez, es el sistema físico a escala completa, que va a ser modelado.

El prototipo no tiene necesariamente que existir materialmente antes que su modelo. Lo determinante en el trabajo con modelos y prototipos es la relación que existe entre el comportamiento de las unidades de pequeña y gran escala, con independencia de cual de ellas exista primero en el tiempo.

Lo que sí resulta indispensable, cuando se concibe el modelo de un prototipo aún inexistente, es que esa concepción se haga teniendo en mente el tipo y forma de la unidad a gran escala que se pretende obtener, para lo cual se utilizará la información obtenida antes de comenzar las etapas de escalado. Esta consideración hace que en la mayoría de los casos el escalado de un producto o proceso desde el nivel de laboratorio hasta el nivel industrial (*scale-up*), sea realmente precedido por el proceso de escalado desde el equipo industrial supuesto hasta el laboratorio (*scale-down*), lo que demuestra que estos dos procesos no son más que etapas de un único e integral proceso de escalado.

Un procedimiento de escalado satisfactorio puede requerir un enfoque empírico paso a paso, en el cual el tamaño del reactor se va incrementando

paulatinamente, para poder conocer en detalle el efecto del cambio de escala en la velocidad y rendimiento de la reacción. Este procedimiento es largo y costoso y por ello se han desarrollado un número de métodos semi empíricos alternativos para aliviar esta situación.

Para la realización del proceso de escalado se utilizan fundamentalmente los métodos basados en el Principio de Semejanza, la modelación matemática y el uso de modelos a gran escala (mockups), aunque en muchas ocasiones los mejores resultados se logran con el uso combinado de los mismos. El Principio de Semejanza se aplica a los sistemas en los cuales se emplean modelos homólogos, o sea aquellos modelos que sólo se diferencian del prototipo en el tamaño o escala. La modelación matemática se aplica tanto a modelos homólogos como a los analógicos, ya sea como método único de escalado en los casos en que existe suficiente información para ello, o en unión con el Principio de Semejanza, en la mayoría de los casos. No obstante, todos esos métodos requieren de los datos cinéticos y termodinámicos básicos, los cuales deben de obtenerse de la literatura si están disponibles o de la experimentación.

5.3. Etapas a considerar en los trabajos de Investigación y Desarrollo.

El proceso de **Investigación y Desarrollo** puede considerarse dividido en 5 etapas, niveles o escalas:

- . *Laboratorio*
- . *Banco*
- . *Piloto*
- . *Semi-industrial*
- . *Industrial*

Esta división es convencional y por ello, como veremos más adelante, no son muy precisos los límites entre una escala y otra, ni tienen que considerarse

siempre necesariamente todas las escalas, siendo bastante común, por ejemplo, obviar la escala semi-industrial. También hay casos, cuando el proceso es suficientemente conocido y sus características lo permiten, en que puede pasarse directamente de la escala de laboratorio a la escala industrial.

En su concepción más simple, el concepto de escalado se refiere al paso de una escala a otra, durante el proceso de desarrollo de un nuevo producto o tecnología. En ese caso se acostumbra a utilizar el término *escalado ascendente (scale-up)* al proceso que va desde la escala de laboratorio hasta la escala industrial y *escalado descendente (scale-down)* al proceso inverso aunque conceptualmente son un mismo y único proceso de escalado y la definición del concepto escalado es un poco más compleja que el simple *tránsito* de una escala a otra.

5.4 Definición ampliada del término "escalado".

Para comprender mejor la evolución que han tenido los conceptos relativos al uso de modelos y a las escalas, se debe partir de una de las expresiones más antiguas al respecto, escrita por Leonardo da Vinci en sus "Notas", aproximadamente en el año 1500 y citada por Johnstone y Thring :

"Dice Vitruvio que los pequeños modelos no son útiles para conocer los efectos de los grandes y yo aquí propongo probar que esa conclusión es falsa ". (El Vitruvio a que se refería da Vinci era Marco Vitruvio Polión, arquitecto romano del siglo primero de nuestra era, autor de un tratado ***De architectura***, dedicado a Augusto).

Ya a inicios de siglo, en el primer manual de Ingeniería Química que se conoce, su autor, *George E. Davis* afirmaba: ***"A small experiment made upon a few grammes of material in the laboratory will not be much use in guiding to the erection of a large scale works, but there is no doubt that an experiment based on a few kilograms will give nearly all the data required***

... ". (Un experimento pequeño, realizado en el laboratorio con pocos gramos de material no será muy útil como guía para la construcción de una planta a gran escala, pero no hay duda de que un experimento basado en unos pocos kilogramos nos dará casi todos los datos requeridos)

Y en 1916, *L. H. Baekeland*, escribe una de las frases más famosas al respecto y que mejor aclara el propósito final de los experimentos relacionados con los modelos y las plantas piloto: **"Commit your blunders on a small scale and make your profits on a large scale"**. (Cometa sus errores en una escala pequeña y obtenga sus ganancias en una escala grande).

En todas estas expresiones se habla de modelos y escalas, grandes y pequeñas y esos conceptos se unen con el de escalado. Ahora bien. **¿Qué entendemos en la actualidad por escalado?**

En la práctica existen muchas definiciones del término escalado. Una de las clásicas lo limita *al estudio de los problemas asociados a la transferencia de datos del laboratorio y la planta piloto a la producción industrial*. Una definición más reciente plantea que *el escalado hace uso de los datos del laboratorio y/o planta piloto, complementados con modelos a gran escala (mockups) y modelación matemática, para determinar las dimensiones y el tamaño de una unidad industrial*. Otra definición señala que *éste consiste en el complejo de técnicas y metodologías que se utilizan para transferir un proceso desarrollado en una escala menor, a la escala de producción*. y esta última se ajusta bastante a la concepción actual y por ello tomaremos, como definición de escalado, una variante de la anterior:

Escalado es el proceso mediante el cual se logra la exitosa puesta en marcha y la operación económica de una unidad a escala comercial basándose, al menos en parte, en resultados de investigaciones realizada a una escala más pequeña .

De esta definición de escalado quedan excluidos los casos de diseño de unidades industriales realizados con procedimientos de cálculos tradicionales, para los cuales sólo se necesitan los datos de las propiedades físico-químicas de las sustancias en proceso y las cantidades a procesar para obtener los valores de diseño requeridos.

Para que el concepto de escalado sea aplicado, es imprescindible que el diseño se realice sobre la base de investigaciones que se tengan que realizar con ese fin específico, a una escala inferior a la industrial, pero no se requiere que se transite por todas las etapas convencionales en que se dividen los procesos de **I+D**.

El proceso completo, desde la escala de laboratorio hasta la comercial, pasando por trabajos de banco, planta piloto y escala semi-industrial, es largo y costoso y debe ser reducido en todo lo posible, con el fin de acortar el tiempo que media entre la concepción de un producto y su introducción en el mercado.

No existe duda alguna que es técnicamente posible transferir casi cualquier proceso desarrollado a nivel de laboratorio, directamente a la producción industrial a gran escala, si se dispone de suficiente tiempo y dinero, de forma que los diseñadores consideren factores de seguridad suficientemente amplios y que se esté dispuesto a un largo período de puesta en marcha, que permita adiestrar al personal y descubrir las diferentes causas de interrupciones y problemas de operación y afrontar los riesgos inevitables en la operación de nuevos procesos no suficientemente estudiados.

Tampoco existe duda que los datos obtenidos en plantas de pequeña escala, correctamente diseñadas y operadas, son mucho más seguros para el diseño que los obtenidos directamente del laboratorio, con lo cual se pueden reducir considerablemente los factores de seguridad en el diseño y reducir

apreciablemente el período y los riesgos de la puesta en marcha de las unidades comerciales, pero para obtener dichos datos se requiere a su vez de tiempo y empleo de recursos materiales y humanos.

Por todo lo anterior, en todos los casos resulta imprescindible el análisis detallado de las características del proceso que se pretende desarrollar y del nivel de conocimientos que se tiene sobre el mismo, para poder decidir las etapas que hay que acometer y planificarlas adecuadamente, de forma tal que se emplee el mínimo de recursos y se culmine en el menor tiempo posible.

Las técnicas de escalado se han desarrollado precisamente con el objetivo de reducir al mínimo indispensable ese tiempo de I+D y en ellas juegan un papel determinante las consideraciones técnico económicas.

Finalmente se debe considerar otro objetivo ligado al concepto de escalado y que es el estudio del comportamiento de una planta en producción existente, a partir de una unidad pequeña que reproduce, en lo fundamental, el funcionamiento de la unidad comercial. Este objetivo cae dentro de la esfera del *estudio de los procesos* pero en principio no se diferencia del objetivo relacionado con el desarrollo de nuevos procesos, siendo la única diferencia práctica el hecho de que para el estudio de los procesos se requiere, casi siempre, solamente de la etapa equivalente a la planta piloto.

5.5 Alcance de las etapas de I+D.

5.5.1 Criterios a considerar para los límites entre escalas (12).

Para la definición de los límites entre una escala y otra existe una gran diversidad de criterios y en muchos casos se ha utilizado el volumen de los equipos como el criterio fundamental, particularmente en lo relacionado con la industria Biotecnológica, aunque en ese caso en realidad lo que se trata es de un significado particular del concepto de escalado, bastante más restringido que el concepto de escalado adoptado modernamente.

En la industria Biotecnológica resulta de particular significación el incremento paulatino del volumen en el que se desarrollan los microorganismos, de forma tal de asegurar un crecimiento adecuado, con las condiciones requeridas de asepsia y en un tiempo dado. Normalmente este incremento se regula de manera tal que cada nueva etapa se realice con una carga inicial (inóculo) entre un 5 y un 10 % del volumen efectivo total del equipo en cuestión y esto se efectúa siempre, con independencia de si el proceso es uno ya establecido o un proceso en desarrollo.

Este llamado "escalado" de las producciones Biotecnológicas no tiene realmente nada que ver con el escalado que se estudia en el presente texto, pero ha sido causa de confusión y una de los motivos por los cuales se utiliza mucho el volumen de los equipos como criterio de definición entre las etapas de los procesos de I+D.

También se han utilizado como criterios las relaciones entre las dimensiones lineales de los equipos (factores de escala geométricos), a partir de consideraciones de criterios de semejanza. En ocasiones se toma como valor aproximado que los factores de escala geométricos (lineales) deben estar en el rango de 5 a 15. De esa forma una columna de 2 m de diámetro puede ser escalada por una de 250 mm, lo que representa un factor de escala de 8. No obstante, en la práctica no es raro hallar factores tan bajos como 3 o tan altos como 100.

Una columna de 250 mm normalmente puede ser considerada demasiado grande para una instalación a escala pequeña, incluso para una planta piloto, a menos que se desee procesar una cantidad muy grande de producto y por ello se debe considerar un factor de escalado mayor, por ejemplo 13 y considerar entonces una columna de 150 mm, mucho más adecuada y aún dentro del rango recomendado. Si anteriormente se realizó el trabajo en la escala de banco con una

columna de 25 mm de diámetro, los factores de escala empleados han sido 6 y 13, o sea se ha ido avanzando de un diámetro de 25 mm a 150 mm y finalmente a 2000 mm.

Por otra parte, cuando se escalan reactores la tendencia es a considerar el factor de escala por el volumen y esto lleva en ocasiones a considerar factores más elevados que el rango recomendado. Por ejemplo, si una reacción a escala de banco se ha realizado en un recipiente de 12 L y el tamaño final del reactor industrial se estima en unos 11500 L, se puede pensar que serán necesarias dos etapas intermedias, una de 100 L y otra de 1140 L, lo que daría factores de escala de 8, 12 y 10 respectivamente.

Sin embargo, se puede considerar mejor un valor intermedio de 400 L y en ese caso los factores de escala obtenidos (33 y 29) aunque superiores al rango recomendado, son también aceptables y esta opción constituye un buen compromiso, evitando tener que construir dos plantas piloto. Además si se considera la relación de escala con respecto a la dimensión lineal en lugar del volumen, lo que es realmente lo recomendado para el escalado, el cuadro cambia totalmente, ya que:

$$\left(\frac{400}{12}\right)^{\frac{1}{3}} = 3.2 \quad y \quad \left(\frac{11500}{400}\right)^{\frac{1}{3}} = 3.1$$

o sea factores de escala modestos, incluso por debajo del rango recomendado.

No obstante, en realidad el mejor criterio de definición de los límites entre las distintas escalas es la de los objetivos que se persiguen con cada una de ellas y los resultados que se esperan. Con ese criterio más amplio se pueden considerar la realización de etapas, por ejemplo de banco y piloto, con equipos de pequeño volumen, normalmente considerados de laboratorio, en los casos en que el nivel de precisión y automatización sea tan elevado y la necesidad de obtener productos de muestra tan pequeña, que se puedan cubrir entonces los objetivos señalados para esas etapas, con un considerable ahorro económico.

5.5.2 Escala de laboratorio.

El laboratorio constituye la unidad primaria de investigación en la que quedan determinadas las metodías de síntesis o procesamiento y se establecen las condiciones bajo las cuales se obtienen los mejores resultados.

El laboratorio confirma o rechaza las hipótesis obtenidas del conocimiento previo y de la literatura y se obtienen datos que contribuyen a enriquecer la información sistematizada, que constituye la base para el trabajo a escala de banco y/o planta piloto. Además se obtiene información para la realización de evaluaciones económicas preliminares y se determinan diversas propiedades físico-químicas, necesarias para los cálculos ingenieriles y la formulación y comprobación de modelos matemáticos.

Los objetivos Principales de esta etapa son la obtención, recuperación y purificación de los productos de interés, así como el análisis y caracterización de los mismos. Además, en el caso de la Síntesis Química se definen otros objetivos como:

- Conocer la influencia de las variables macroscópicas (composición, temperatura, pH, etc.) en el rendimiento u otro parámetro que caracterice la eficiencia del sistema.
- Optimización de la síntesis a ese nivel.
- Conocimiento de la cinética, incluyendo la construcción de modelos matemáticos.
- Propiedades físicas y químicas del nuevo producto.
- Influencia de los reactivos empleados en los cambios de escala.
- Caracterización de los subproductos y residuales.
- Evaluación económica preliminar.

En el caso de los procesos biotecnológicos, se tienen como objetivos:

- Selección y evaluación de cepas.

- Optimización del medio y de otras variables experimentales y de proceso.
- Información en cortos plazos de tiempo a muy bajo costo.

5.5 3 Escala de banco.

En esta etapa la investigación comienza a adquirir un carácter tecnológico y posee sus particularidades que la distinguen:

- Se orienta a la configuración de las unidades experimentales con características geométricas y operacionales similares a los equipos de planta piloto o industriales disponibles o recomendables, a diferencia de la etapa de laboratorio, donde el equipamiento utilizado difiere considerablemente del industrial.
- Conlleva un mayor nivel de instrumentación y automatización .
- El trabajo experimental se orienta hacia el completamiento y precisión de la información de laboratorio.
- Los estudios de banco constituyen un paso de gran importancia y pueden contribuir a reducir considerablemente los costos de la investigación y obviar, en algunos casos, la necesidad de los trabajos a escala piloto.

Los objetivos principales de esta etapa son:

1. Revelar la esencia de los fenómenos que ocurren en los procesos.
2. Revelar los pasos controlantes o críticos en las operaciones.
3. Verificar hipótesis de modelos matemáticos.
4. Aportar información para cálculos y diseños de ingeniería.

Además en el caso de la Síntesis Orgánica, hay otros objetivos como:

1. Realizar estudios fundamentales de ingeniería de procesos como los fenómenos de superficie, fenómenos reológicos, equilibrio de fases, separaciones complejas, estudios de materiales, etc.

2. Determinar propiedades y características físico-químicas de las sustancias como la densidad, viscosidad, tensión superficial, tamaño de partículas, porosidad, calor específico, etc.
3. Conocer la Termoquímica (calores de reacción) y Termofísica (capacidad calorífica de las mezclas, etc.).

En el caso de los procesos biotecnológicos se consideran también los siguientes objetivos:

1. Selección del procedimiento de desarrollo de inóculos, esterilización del medio, aireación, agitación y operaciones de purificación.
2. Ajuste de variables como razón de transferencia de oxígeno, evolución de dióxido de carbono, producción de biomasa, biosíntesis de metabolitos y efectos del pH.
3. Estudio del régimen de alimentación continua o incrementada.
4. Selección de alternativas de control e instrumentación.
5. Evaluación económica preliminar y estimado de viabilidad del proceso.

Esta etapa permite un enfoque científico a relativo bajo costo.

5.5.4. Escala piloto.

Los estudios de escala piloto resultan de especial importancia para el cambio de escala en muchos procesos, pero poseen un alto costo y la decisión de su realización debe estar subordinada a un conjunto de factores entre los cuales se destacan:

- Tipo de proceso
- Nivel de información disponible
- Tamaño propuesto para la unidad industrial

La planta piloto debe montarse y operarse de manera que permita satisfacer al menos uno de los siguientes **objetivos principales**:

1. Evaluar la factibilidad de un proceso tecnológico.
2. Obtener la información para el diseño de una planta comercial.
3. Obtener cantidades de productos con fines de ensayo o promoción.

Además de estos, en el caso de la Síntesis Orgánica se tienen los siguientes objetivos específicos:

1. Obtener "know-how" del proceso.
2. Corroborar teorías sobre mecanismos de los procesos.
3. Obtener información para el tratamiento de residuales.
4. Ensayar materiales de construcción.
5. Probar métodos de análisis de procesos y control de calidad.
6. Estudiar sistemas para el control de procesos.
7. Evaluar nuevos equipos y sistemas tecnológicos.
8. Entrenar al personal.

En el caso de los procesos biotecnológicos, se tienen los siguientes objetivos específicos:

1. Confirmar los datos obtenidos a nivel de banco y verificar los criterios de escalado.
2. Seleccionar las estrategias de esterilización del medio y de concentración y purificación de productos.
3. Obtener cantidades de productos para pruebas de caracterización, toxicológicas, promoción de mercado y verificación de la viabilidad del proceso.
4. Ofrecer una información de validación a un costo relativamente alto .

5.5.5 Escala semi-industrial..

Esta es una etapa cara del proceso de escalado que puede prolongar excesivamente la introducción de una nueva tecnología en el mercado y sólo

se realiza para aquellas tecnologías de una gran complejidad y que representan un salto apreciable en el nivel de desarrollo existente.

En ocasiones, a las plantas de este tipo se le han denominado plantas demostrativas, aunque otros autores prefieren el término de plantas prototipo. Estas plantas se construyen de igual forma que una planta de escala completa, pero a una capacidad de producción menor, usualmente un décimo de la proyectada para la escala definitiva, que permite el acopio de experiencias durante su funcionamiento y sirve de modelo a las futuras plantas industriales que se construyan .

En la mayoría de las ocasiones esta etapa del escalado puede omitirse, lo que representa una considerable reducción en el periodo de desarrollo de una tecnología.

5.5.6 Escala industrial.

Normalmente esta escala no se considera una parte del proceso de investigación y desarrollo y esto constituye un error conceptual con fuertes implicaciones de índole práctica.

Realmente la industria constituye, no sólo una prueba de validación de las experiencias precedentes, sino que enriquece la información ingenieril disponible y los modelos matemáticos formulados y brinda información de gran valor para el perfeccionamiento de equipos y para la optimización del propio proceso productivo.

Además en la mayoría de los casos las instalaciones a escala de banco y/o piloto se diseñan a partir de un "**scale-down**" de la instalación industrial existente o supuesta, en base a la experiencia acumulada con la operación de otras industrias. Por todo lo anterior, la escala industrial debe ser considerada una etapa importante en el conjunto de las tareas de **I+D**.

5.6 Concepto de Ingenierización (12).

El concepto de ingenierización ha comenzado a tomar fuerza en los últimos años y a menudo se confunde total o parcialmente con el escalado de los procesos productivos. Anteriormente se concebía el trabajo de los ingenieros como una etapa posterior al logro científico, y el trabajo se organizaba de una manera *secuenciada*, donde las distintas especialidades entran según les llega su *turno*. Sin embargo esta manera de trabajar ha llevado a muchos fracasos y, en el mejor de los casos, provoca un alargamiento del período necesario para la introducción de un logro científico en la práctica social.

Esta forma anticuada de desarrollar un producto puede ser ejemplificado de la forma siguiente:

"Un químico inventa un nuevo producto químico o proceso en su laboratorio y lo estudia intensamente en una micro escala. Obtiene una gran cantidad de información con estudios de parámetros no cuantitativos y como resultado puede obtener varias patentes que incrementan su prestigio científico, así como el de la institución a la cual pertenece.

La nueva invención se lleva al departamento de desarrollo comercial, el cual trabaja para hallar un mercado adecuado para tan maravilloso producto y para ello se comienza por la realización de un análisis económico. El entusiasmo de los dirigentes y la utilización de los datos no cuantitativos obtenidos por el químico, hacen que los cálculos muestren al producto como un seguro triunfador y eso hace que el entusiasmo aumente más aún.

La presión ejercida sobre el departamento de desarrollo comercial hace que encuentren el nuevo mercado lo antes posible y con ello se confirman las optimistas predicciones del estudio económico y el proyecto se pasa al departamento de desarrollo. Hasta ese momento el trabajo se ha ido realizando en plazos de tiempo inferiores a los del cronograma de trabajo y el ambiente de optimismo hace pensar que el trabajo del ingeniero de desarrollo

no puede hacer otra cosa que confirmar los datos del químico y del departamento comercial.

Pero desgraciadamente en la inmensa mayoría de los casos esto no ocurre así. El ingeniero realiza estudios de planta piloto y siempre encuentra problemas como pueden ser: peores rendimientos y selectividades que las predichas, menores tiempos de vida de los catalizadores, problemas con componentes trazas en la materia prima, etc.

Después que encuentra un mínimo de dos o tres problemas, el ingeniero los discute con el químico y generalmente esto lo disgusta. El químico piensa que su maravillosa invención está siendo torpedeada por el ingeniero y las relaciones entre ambos comienzan a deteriorarse, lo que dificulta y alarga considerablemente el proceso de introducción del producto al mercado, si es que realmente se puede llevar el producto a vías de hecho.

Con ese método de trabajo el químico pudo alcanzar varias patentes y realizar un número adecuado de publicaciones que acrecienta su prestigio, los especialistas de desarrollo comercial probaron sus habilidades en la búsqueda de nuevos mercados, el ingeniero demostró su habilidad en el trabajo a nivel de planta piloto, pero la institución no logró resarcirse de los gastos realizados o en el mejor de los casos, tuvo una demora considerable en obtener ganancia así como una reducción apreciable en la magnitud de la

El concepto moderno de ingenierización es totalmente distinto a esa forma de trabajar:

<p>La ingenierización contempla la interacción de los ingenieros de las distintas especialidades (químicos, bioquímicos, mecánicos, eléctricos, industriales, etc.) junto con los investigadores de laboratorio (químicos, bioquímicos, biólogos, médicos, físicos, etc.), desde el inicio mismo del proceso de I+D.</p>
--

Aquí en lugar de la **Ingeniería por etapas o Secuencial** del enfoque tradicional se emplea el concepto de **Ingeniería concurrente**, lo que lleva a la utilización de equipos multidisciplinarios, prácticamente desde el inicio del proceso de escalado. Para la aplicación de la **Ingeniería concurrente** se necesitan algunos requisitos elementales, como son:

1. Tener facilidades de comunicación entre el colectivo, que en ocasiones resulta bastante numeroso.
2. Usar técnicas de trabajo en grupo y técnicas de solución de problemas.
3. Disponer de locales de trabajo adecuados y servicios de oficina y de apoyo en general.
4. Disponer de bases de datos comunes.

Además, a este enfoque de trabajo se oponen muchos procedimientos establecidos y actitudes, entre las que se destacan:

1. Departamentalización estructural
2. Sistema de estimulación diseñado para el individuo y no para el colectivo.
3. Dirigentes apegados a dar soluciones simples a problemas complejos.

No obstante estas dificultades la Ingeniería concurrente y en general la Ingenierización, ha demostrado su utilidad práctica y esta forma de trabajar integrado en grupos multidisciplinarios ha sido adoptada a nivel mundial, especialmente a partir de la década del 90.

En esta concepción (Figura 5.1), se parte de que en la generalidad de los casos, el surgimiento de un nuevo producto o tecnología es consecuencia de una demanda social que impone la necesidad de una respuesta tecnológica y de una demanda de mercado que estimula una respuesta de la que se esperan varias ventajas económicas o de otra índole, por lo cual la iniciativa para el desarrollo surge

generalmente de instituciones o empresas motivadas por la interacción del factor social y del mercado.

Este proceso constituye realmente una etapa exploratoria y culmina con el planteamiento del problema a resolver por la **I+D**: la necesidad de un nuevo producto o tecnología. Después de planteado el problema viene una etapa preparatoria, en la cual se precisa mejor la tarea y se toman como antecedentes todo el conocimiento anterior aportado por la bibliografía. La investigación bibliográfica reporta una información que debe ser cuidadosamente analizada y ordenada, de forma que pueda ser adecuadamente utilizada en cada etapa de la investigación.

A partir de esa etapa preliminar, que puede incluir un trabajo inicial de laboratorio, comienzan las etapas fundamentales del proceso de desarrollo del nuevo producto o tecnología: las etapas de Ingenierización, en las cuales trabaja un colectivo multidisciplinario y donde las tareas de ingeniería de proceso se realizan en paralelo al trabajo de las distintas escalas (Figura 5.1).

Del trabajo conjunto de investigación e ingeniería, surgen las variantes iniciales del diseño de planta, que sirven en cada caso para diseñar y seleccionar adecuadamente el equipo que se usará en la escala siguiente, pudiéndose decidir incluso la eliminación de algunas de las etapas, si el nivel de información así lo aconseja.

Se llega de esa forma a la etapa final de diseño y proyectos de Ingeniería, donde se realiza toda la documentación final del proyecto, la que debe estar compuesta de:

- Diagrama de flujo y Balances de materiales y energía del proceso en su conjunto ("*Flowsheeting* del proceso").

- Definición primaria de las especificaciones de equipos y otros elementos del sistema tecnológico.
- Diseño de ingeniería de procesos y automática de equipamiento.
- Diseño de la planta, como un sistema integral, incluyendo los servicios con la calidad requerida, protección del medio y del personal y las buenas prácticas de producción.
- Proyecto Ejecutivo de los equipos y otros elementos de fabricación nacional.
- Documentación técnica de puesta en marcha y operación.

En esta etapa final participa un gran volumen de ingenieros y técnicos los cuales, en su mayor parte, han tenido que estar vinculados al desarrollo de las etapas anteriores del proceso de **I+D**, si se han cumplido adecuadamente los procedimientos de la ingenierización y ello conlleva a acortar los plazos de terminación mejorar la calidad considerablemente.

Otro elemento que se debe tener en cuenta en esta etapa final, es la necesidad de aplicar las modernas técnicas de computación que se han desarrollado, como es el caso de la Ingeniería de Procesos auxiliada por Computadoras (**Computer Aided Process Engineering, CAPE**) (29), mediante la cual se integra el "**flowsheeting**" del proceso al manejo de los datos y la confección de la documentación de proyectos correspondiente, de forma automatizada e integrada, lo que reduce sensiblemente el tiempo de proyección y mejora su calidad.

El empleo de la computación se debe hacer también en el resto de las etapas del escalado, siendo un elemento fundamental para el registro y evaluación de los datos obtenidos en los experimentos y en el desarrollo y evaluación de los modelos matemáticos, lo que ayuda también a reducir el número de experimentos y de etapas a realizar, con la consecuente reducción del periodo de tiempo que lleva este proceso (12).

En la actualidad se dispone de experiencias positivas con la utilización de sistemas computarizados para la recolección y procesamiento de datos (**SCADA** por sus iniciales en inglés), durante los procesos de escalado, las que deben ser tenidas en cuenta en los trabajos que se realicen, en dependencia del equipamiento de control e instrumentación y medios de computación de que se dispongan.

5.7 Utilización de la Modelación Matemática y el Diseño de Experimentos en el Proceso de Escalado (12).

El proceso completo de Escalado, desde el laboratorio hasta la industria, resulta generalmente largo y costoso, por lo cual resulta conveniente optimizar dicho proceso para llevarlo a su mínima duración y costo. Para realizar esa optimización resulta muy valioso aplicar las técnicas del Diseño Estadístico de Experimentos y la Modelación Matemática.

El aplicar el Diseño de Experimentos a escala industrial resulta difícil por las afectaciones que puede hacerle a la producción. No obstante, el Diseño Estadístico de Experimentos es una de las principales herramientas de que dispone el investigador para aumentar la eficacia de la investigación, y hoy en día se aplica ampliamente a escala de laboratorio, banco y piloto. No es necesario ser un estadístico o un matemático; la experiencia ha demostrado que los químicos e ingenieros pueden fácilmente aprender los principios fundamentales de este tipo de diseños (14).

Una simple observación experimental en un laboratorio, en una instalación a escala piloto o a nivel industrial puede costar cientos o miles de dólares, luego siendo el objetivo de la investigación obtener información, puede definirse la **eficiencia de la investigación** como *la cantidad de información útil obtenida por unidad de costo*. Por consiguiente, es extremadamente importante para una investigación utilizar métodos experimentales que le brinden la máxima cantidad de información con el menor costo y esfuerzo.

El uso del *Diseño Estadístico de Experimentos* facilita un incremento apreciable en la productividad de los investigadores, así como en la confiabilidad de los resultados obtenidos, siendo estos métodos, por su naturaleza universal, adaptables a la mayoría de los campos actuales de investigación (14, 15, 25, 26). Con el Diseño Estadístico de Experimentos se pueden reducir al mínimo imprescindible las experiencias que se deben realizar a Escala de Laboratorio y planificar adecuadamente las corridas en las escalas de banco y piloto, de forma tal de obtener la mayor cantidad posible de información en el menor intervalo de tiempo (El Diseño Estadístico de Experimentos se trató con más detalles en el Tema 4).

Con la Modelación Matemática por su parte se pueden reducir las corridas necesarias en las instalaciones de banco y piloto ya que se pueden realizar sólo las corridas necesarias para obtener la información que se requiere para poner a punto los modelos matemáticos del proceso y el resto de las investigaciones se pueden realizar mediante simulaciones en computadora, con la excepción de un mínimo de corridas experimentales que se realicen al final para corroborar los resultados de los modelos.

Con relación a la simulación matemática y la modelación se deben realizar varias precisiones conceptuales. Por ejemplo es importante definir el concepto de **sistema**, como un conjunto de elementos en el cual todos se encuentran tan estrechamente vinculados entre sí, que en relación con las condiciones circundantes se presentan como un todo único. Existen muchos tipos de sistemas, pero aquí se considerarán solamente los sistemas de los Procesos Industriales, definidos éstos como el conjunto de procesos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos y energéticos relacionados con la obtención de un producto o un grupo de productos dados.

Para el estudio de los sistemas resultan fundamentales los conceptos de **modelo** y **simulación**. Por **modelo** se define la representación (imagen) de una realidad objetiva, a una escala igual o diferente a la original y, los mismos pueden ser de diferentes tipos: analógicos, físicos, matemáticos, siendo en este caso de especial interés los modelos matemáticos. Por **simulación** se entiende el estudio de un sistema mediante uno o más modelos, y si los modelos a emplear son matemáticos, se tiene entonces una simulación matemática.

Otra definición de **simulación**, es la que plantea que *la simulación es un procedimiento para la realización de experimentos por medio de una computadora digital y con la ayuda de modelos matemáticos, con el fin de obtener información sobre el comportamiento del sistema*. En general, mediante las técnicas de simulación se pueden analizar el efecto de las interrelaciones de un sistema o proceso dado, determinar las recirculaciones (de materiales, energía o información), hacer estudios de capacidad, detectar cuellos de botella, definir las condiciones límites de operación y otras aplicaciones más.

Por ello, la realización previa de los modelos que definen el comportamiento individual de cada elemento de un sistema o proceso, permite el estudio integral de dichos procesos, mediante su simulación matemática y se llega por lo tanto al concepto de Análisis de Procesos, que es la habilidad de convertir un problema de Ingeniería en una formulación matemática, para obtener la información final del problema, mediante la aplicación de las técnicas de computación.

Teniendo en cuenta estos elementos, no se puede considerar a la **Modelación Matemática** como un fin en si mismo, sino como un paso hacia la **simulación** y a su vez la **simulación** se debe considerar como una herramienta a utilizar en el *Análisis de Procesos en general y en este caso, en los Procesos Industriales*. No obstante la modelación matemática constituye una primera etapa obligada para realizar la simulación y el análisis de procesos.

5.8 Aplicación durante la Ejecución de la Investigación de la Ingeniería de

Procesos asistida por Computadoras (CAPE) (13).

En la Ingeniería de los Procesos Químicos y Energéticos, el énfasis se hace en los procesos y por ello, para diferenciarlo del Diseño Mecánico, se ha utilizado el término CAPE (*Computer Aided Process Engineer*). El CAPE abarca otras tareas además del diseño, como son la *evaluación, optimización, solución de problemas, seguridad*, etc. Una de las herramientas más importantes del CAPE son los **Simuladores de Procesos**. Se emplean además un gran número de software generales y de propósito específico.

Los software utilizados en el CAPE se dividen en: *Software estadísticos, Software matemáticos, Simuladores numéricos orientados a ecuaciones, Simuladores numéricos con ambiente gráfico, Simuladores de procesos y Software de carácter general.*

Los estadísticos se dividen en Generales (Ej: Statgraphics) y Específicos (Ej: DesignExpert). Entre los matemáticos se tiene el MatLab; MathCAD; TK Solver; y Mathematica. Entre los Simuladores numéricos orientados a ecuaciones se tiene el Polymath y el Madonna. Entre los Simuladores numéricos con ambiente gráfico se tiene el Simulink; Ithink; Stella y el ModelMaker.

Entre los software de carácter general están principalmente las Hojas de cálculo (*Spreadsheets*) como Microsoft Excel y los software más utilizados en el CAPE son los Simuladores de proceso, los que se dividen en Simuladores para Estado estacionario, los cuales a su vez pueden ser Generales como el AspenPlus, Proll, HYSIM, Chemcad y el DesignII y Especializados como el PROSIM, TSWEET, SuperProDesigner (dinámica la parte batch), PD Plus y ChemEng.

También están los Simuladores para estado transitorio (Dinámicos) como el Speedup. Además el HYSYS tiene las dos posibilidades (estacionario y dinámico) y el Chemcad 5.0 incluye algunos módulos dinámicos que le permiten realizar también simulaciones en esas condiciones. Otro tipo de software utilizado en el

CAPE es la Dinámica de los Fluídos Computacional (CFD por sus siglas en inglés), entre los que se cuentan el Fluent; FIDAP y el PHOENIX (13).

Uso de los software disponibles.

Los software estadísticos son de utilidad general en la Ingeniería de Procesos y se pueden utilizar cualquiera de los disponibles, siendo uno de los más usados el Statgraphics. Para la solución de problemas pueden emplearse prácticamente cualquiera de los software matemáticos disponible. La selección específica depende mucho del entrenamiento que tenga el usuario. Es más fácil desarrollar un problema con un software conocido, que intentarlo con otro más eficiente pero desconocido.

Sin embargo, los software más utilizados en Ing. de Procesos son los simuladores. Los simuladores pueden dividirse, de acuerdo con sus posibilidades de uso, en Simuladores *De uso general*, válidos para casi todo tipo de procesos, los que son generalmente mucho más caros que los específicos. Como ejemplo se tienen el *AspenPlus*, *Hysys*, *ChemCAD*, *DesignII* y *Proll*.

Por su parte los Específicos son válidos para un proceso o tipo de procesos y son generalmente más baratos. Ejemplo PROSIM y el TSWEET son específicos para la industria del petróleo. Por su parte el SuperProDesigner, dirigido especialmente al sector de la Biotecnología, los Residuales, la Farmacia y la Química Fina, tiene un uso creciente en la actualidad y se basa en la programación por objetos y cuenta con módulos discontinuos dinámicos. Por otra parte, un simulador comercial de mediana complejidad es el UNIOPT, el cual ha tenido un amplio uso docente, de conjunto con otros software de la firma inglesa Chemeng.

Por el tipo de sistemas a que se aplican se dividen en Simuladores *para estado estacionario* y *Simuladores para Estado Transitorio*. **Los Simuladores para estado estacionario** son los que son los más utilizados en la práctica, y que

cuentan con una mayor experiencia de aplicación. Entre ellos los 5 más utilizados son el *AspenPlus*, *Hysys*, *Pro-II*, *DesignII* y el *Chemcad* y de ellos los dos que controlan la mayor parte del mercado son el Aspen Plus y el Hysys.

Para estado no estacionario o transitorio son los conocidos como „Simuladores dinámicos“, aunque esa denominación no es totalmente correcta, ya que un sistema estacionario es un sistema dinámico en equilibrio y los simuladores dinámicos tratan con sistemas dinámicos que no están en equilibrio o sea que cambian con el tiempo. Como ejemplo se tienen el Hysys y el SpeedUp.

Uso de los Simuladores de Procesos

Los simuladores se dividen también por la forma en que resuelven los modelos y en ese caso se tienen los que son **Modulares secuenciales, Orientados a ecuaciones y Modulares no secuenciales**

Simuladores Secuenciales Modulares:

Casi todos los grandes simuladores comerciales se originaron con este enfoque, aunque muchos de ellos han incorporado en la actualidad, en mayor o menor grado, elementos del enfoque modular no secuencial y algunos se han reelaborado con el enfoque de la programación orientada a objeto y han eliminado o reducido considerablemente la necesidad de secuencialidad, aunque si han mantenido el enfoque modular.

El concepto de simuladores modulares se basa en el desarrollo de módulos de las Operaciones Unitarias (columnas, reactores, bombas, intercambiadores, mezcladores, etc), los que se desarrollan de forma independiente por expertos, que les incorporan todo el conocimiento matemático y de ingeniería que resulte necesario. Para el usuario final, el módulo es como una „caja negra“, al que sólo hay que darle datos para obtener resultados, sin que haya que conocer la forma en que se alcanzan esos resultados.

La Ventaja de este enfoque es que puede ser utilizado por la mayoría de los ingenieros, sin que tengan que dedicarle tiempo a su desarrollo ni necesitar una elevada preparación teórica. Como desventaja se tiene que carece de la flexibilidad requerida para tratar equipos o necesidades de modelación diferentes de los que fueron concebidos en los módulos disponibles.

El concepto de secuencialidad es que para resolver los módulos se necesita conocer los datos de entrada a los mismo y esto es lo que caracteriza a los Simuladores Secuenciales Modulares.

Cuando existen reciclos en el proceso que se quiere calcular, hay entradas que no se conocen, por lo que se requiere asumir valores para esas entradas, y comprobar posteriormente si lo asumido es correcto. En caso contrario hay que asumir otro valor, hasta que se obtenga la convergencia.

Para acelerar el proceso de obtención de convergencia se utilizan diversos procedimientos (E.G: el método de Wegstein).

Simuladores Orientados a Ecuaciones

Una unidad del modelo es el conjunto de ecuaciones que describen esa unidad. Para resolver un proceso completo se combinan las ecuaciones de todos los módulos y se resuelven simultáneamente. Esto produce grandes sistemas de ecuaciones no lineales, bastante complejos de resolver, pero elimina el problema de los reciclos, por lo que resultan teóricamente más eficientes y su utilización facilita resolver los sistemas en estado no estacionario.

Ahora bien, muchos simuladores orientados a ecuaciones son simplemente resolvedores de sistemas de ecuaciones, a los cuales hay que darles como entrada todas las ecuaciones que componen el sistema (Ejemplo Polymath, PSI, Madonna, etc.). Otros simuladores de este tipo incorporan también módulos pre elaborados, de forma similar a los simuladores modulares, lo que facilita su uso, y se dedican específicamente al estado no estacionario. Ej: Speedup

Simuladores modulares no secuenciales

Tienen características de los dos tipos antes mencionados. Se basan en módulos, pero los datos se pueden dar mezclados (entradas y salidas), siempre y cuando el número de datos sea suficiente para resolver el sistema de ecuaciones resultante. Por ejemplo, si hay dos entradas y dos salidas, puede darse datos de una entrada y una salida y el simulador calcula entonces las faltantes.

Uno de los pocos simuladores comerciales que desde un principio tuvo esa característica fue el **Hysim** de Hyprotech, y por ello su continuador, el HYSYS es el único que es completamente secuencial no modular y puede trabajar tanto en forma estacionaria como dinámica. Sin embargo en la actualidad muchos de los simuladores comerciales han introducido en mayor o menor medida ciertas características no secuenciales y de simulación dinámica, como es el caso de la versión 5.0 del Chemcad que tiene un grupo de módulos dinámicos y que puede usar la mayoría de los módulos de estado estacionario para simulaciones en estado dinámico.

Características de los simuladores comerciales para estado estacionario

Todos los grandes simuladores comerciales permiten obtener un diagrama de flujos del proceso (**PDF**), sin embargo los simuladores más económicos carecen de la posibilidad de construir el PDF y esto no limita en modo alguno su pleno uso. Como ejemplo se tiene el caso del **UNIOPT**, el cual no construye el **PDF**, pero éste puede hacerse con cualquier software gráfico o simplemente a mano.

Sin embargo esto no es decisivo y en muchas ocasiones incluso en los simuladores que construyen el **PDF** se prefiere trabajar con otro tipo de interfase, como es en el caso del **Hysys** se emplea mucho el formato de hoja de trabajo (**worksheet**). También existe el caso de simuladores como el **Chemcad 5.0** que solamente se pueden trabajar en la forma gráfica, o sea construyendo el PDF y no

tienen posibilidades de acceso por hojas de trabajo ni por comandos. Otros como el Design II, tienen posibilidades gráficas y por comandos, pero no tienen entrada por hoja de cálculo como el Hysys.

En muchas Universidades se han utilizado versiones académicas de los simuladores comerciales más extendidos, principalmente **AspenPlus** y **Hysys**. En este curso se dará información sobre **Hysys**, el **Chemcad**, el **UNIOPT** y el **Super Pro Designer**, y se utilizarán fundamentalmente el **SuperProDesigner** y el **Chemcad 5.0**.

Dinámica de los Fluidos Computacional (CFD)

Esta técnica se ha utilizado para analizar el flujo y el rendimiento de equipos de procesos como reactores, tanques agitados, cama empacada, ciclones, sistemas de combustión, etc., pero hasta hace poco estaba limitada a las grandes computadoras (mainframe). En la actualidad el aumento del rendimiento de las PC ha hecho que esta técnica esté disponible para el Ingeniero de Procesos, para el análisis de equipos muy complejos

Con la CFD se resuelven problemas de mecánica de los fluidos y similares mediante la solución numérica de las ecuaciones diferenciales parciales que gobiernan dichos procesos. Para ello se divide la geometría de interés en un gran número de celdas computacionales y las ecuaciones diferenciales parciales se aproximan (discretizan) por un sistema de ecuaciones algebraicas para las variables el conjunto de locaciones discretas en el espacio y en el tiempo (las celdas computacionales). Esas locaciones discretas se denominan **rejillas** (*grid* o *mesh*)

Con CFD una sección de tubería se representa como un conjunto de celdas computacionales. Las celdas pueden ser de muchas formas (Cuadriláteras y triangulares para problemas de dos dimensiones, hexaédricas, piramidales, tetrahédricas y prismáticas para 3 dimensiones).

Esta técnica se aplica con éxito para obtener perfiles (velocidad, concentración, temp., etc.). Como ejemplo se tienen la obtención de los perfiles de velocidad en el precalcinador de una gran planta de cemento, con cuya simulación en CFD se ayudó a mejorar la eficiencia del proceso de dicha planta. También se han realizado con CFD tareas tan complejas como la modelación de un estanque de combustible en llamas, se logra con éxito con estas técnicas.

Anexo:

Clase Práctica Tema 5: (En Laboratorio de Computación):

Uso de Simuladores de Procesos (ejemplificar con SuperProDesigner y/o Chemcad 5.0)

TEMA 6. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

OBJETIVOS.

- ✓ Aprender a enunciar el concepto de prueba estadística y justificar su aplicación
- ✓ Conocer las principales pruebas estadísticas a utilizar en el procesamiento de los datos experimentales
- ✓ Poder identificar las pruebas estadísticas apropiadas para analizar los datos obtenidos, en dependencia de las hipótesis formuladas y los niveles de medición de las variables
- ✓ Conocer la forma de utilizar un software estadístico adecuado para el procesamiento automatizado de los datos

6.1 Introducción al Análisis de los Datos (15, 21).

Una vez recopilados los datos por las técnicas experimentales y /o instrumentos diseñados para este fin, los datos deben ser transferidos a una matriz a guardados en un archivo, para poder proceder a su análisis posterior. En la actualidad el procesamiento de datos se lleva a cabo por computadoras, aplicando tabuladores electrónicos y /o software estadísticos específicos. Ya nadie lo hace de forma manual, especialmente si hay un volumen de datos considerables, sobre todo teniendo en cuenta que prácticamente en todas las instituciones de educación superior, centros de investigación, empresas e instituciones se dispone de computadoras digitales y software matemáticos y estadísticos, capaces de archivar y analizar los datos.

De esta suposición se parte en este Tema y por ello el énfasis se centrará en la interpretación de los métodos de análisis cuantitativos y no en los procedimientos de cálculo.

El proceso se inicia entonces con la confección de la matriz de datos, la cual se introduce generalmente en un tabulador electrónico como el **EXCEL (24)**. El **EXCEL** tiene muchas posibilidades para el procesamiento estadístico, por lo cual con el tabulador electrónico se puede realizar el procesamiento elemental de los

datos experimentales. Sin embargo, en la mayoría de los casos resulta conveniente utilizar un software especializado en Estadística, con los que se puede obtener un procesamiento más completo.

Generalmente se parte siempre de la introducción de los datos en **EXCEL** (confección de la matriz de datos), por la facilidad de uso del mismo y por eso en muchas ocasiones se realizan diversos análisis preliminares con este tabulador. Finalmente resulta muy fácil pasar los datos del **EXCEL** al software estadístico que se vaya a utilizar, ya que todos éstos admiten los datos en un formato similar al de los tabuladores electrónicos.

Entre los software estadísticos más utilizados en las Ciencias Técnicas están el **Statgrahics (5)** y el **Statistica**. También existen otros software de calidad, desarrollados principalmente para las Ciencias Sociales, que también se han utilizado en las Ciencias Técnicas como el **SPSS** (*Statistical Package for Social Sciences*) y el **MINITAB**.

Los análisis dependen de tres factores:

- a) El nivel de medición de las variables.
- b) La manera cómo se han formulado las hipótesis
- c) El interés del investigador

6.1.2 Tipos de variables que se pueden obtener.

Los tipos de variables que se pueden obtener son: categóricas, numéricas, discretas, continuas, nominales, ordinales, a intervalos y razones.

Las **variables categóricas** son las que actúan como nombres y no como números. Ejemplo: la variable categórica género, que puede ser masculino o femenino. También se tienen entre las **variables categóricas** se cuentan las denominadas **variables nominales** y las **variables ordinales**. Las **variables**

nominales son denominaciones de las categorías. Por ejemplo se pueden asignar valores numéricos a las **variables nominales** para el análisis, pero el número no tiene significado verdadero, sino que son simples códigos. Por ejemplo asignarle a la variable categórica femenino el número 1 y a la variable masculino el número 2.

Otro ejemplo: El concepto producto pudiera medirse por las categorías que distinguen a los distintos productos existentes. La Empresa Industrial de Productos y Utensilios Domésticos (EINPUD) fabrica los siguientes productos: Cafeteras, ollas, refrigeradores, fregaderos. Con esta clasificación obviamente solamente se puede cuantificar cuantos utensilios se elaboran de cada uno de los distintos productos.

Las **variables ordinales** consisten en categorías que se pueden arreglar en orden. Por ejemplo la satisfacción ante el trabajo se puede medir en una escala entre 1 y 10. Los números que se asignan a estas variables permiten ordenar las respuestas de mayor a menor, sin que tengan ningún sentido numérico verdadero la distancia entre esos códigos numéricos. Con esta escala ya se puede utilizar, para sus análisis, relaciones de desigualdad, (mayor que, menor que, etc.). Por ejemplo: En el caso del concepto utensilio, la escala ordinal, se tendría que referir a la jerarquía interior existente. Para las cafeteras serán, de acuerdo con su capacidad, de una taza, tres tazas, seis tazas, nueve tazas y de doce tazas.

Las **variables numéricas** son datos numéricos reales, de los cuales tiene sentido, por ejemplo, calcular el valor medio. A su vez estas variables pueden ser de dos tipos principales: **discretas** y **continuas**. Las **variables discretas** son aquellas **variables numéricas** que están formadas por un número distinto y separado de categorías. Cuando una variable es discreta sólo un número finito de valores separa dos puntos. Un ejemplo típico de estas variables es el número de personas en una familia.

Las **variables continuas** son aquellas **variables numéricas** que pueden ser representadas por una lista larga y frecuentemente infinita de mediciones. La distribución de los pesos de los equipajes o de las personas es un ejemplo típico de variable continua.

Entre las **variables numéricas** se cuentan también las **variables de intervalo** y las de **razón**. Las **variables de intervalo** suministran una medición cuando la distancia entre valores es importante, sin que haya un punto cero verdadero. Cuando con las categorías diseñadas, se está en posibilidad no sólo de clasificar, ordenar y además de cuantificar las diferencia entre las categorías, se está en un nivel de medición mayor. Este nivel de medición requiere del establecimiento de algún tipo de medida, que pueda considerarse como patrón o norma. Bajo la condición de que la aplicación de este patrón se pueda llevar a cabo, tantas veces como sea necesario y que origine los mismos resultados. Los patrones utilizados suelen ser: distancia, volumen, masa, tiempo, temperatura, etc.

Las **variables de razón** son las que se utilizan cuando las proporciones o razones entre las mediciones son importantes. En este nivel, además de tenerse todas las características del nivel por intervalos, el cero es real, es absoluto, entonces se cuenta con un nivel de medición mayor. Se considera que esta última distinción es puramente académica, ya que es extremadamente difícil encontrar una escala de intervalos que no sea a la vez de razón.

6.1.3 Estadística descriptiva.

El investigador necesita en primer término describir sus datos y posteriormente efectuar análisis estadísticos para relacionar sus variables. Por ello se comienza con la **Estadística Descriptiva**. En este momento es importante recordar que la Estadística es un conjunto de técnicas diseñadas para describir, representar, inferir y resumir la información del fenómeno de estudio. Además hay que tener en cuenta que:

- ✓ La estadística, no es un conjunto de técnicas con las que uno puede probar todo aquello que uno desee.
- ✓ La estadística no es una mera colección de datos.

La Estadística Descriptiva para cada variable incluye la distribución de frecuencias, las medidas de tendencia central y las medidas de la variabilidad.

¿Qué es una distribución de frecuencia? Una distribución de frecuencias es un conjunto de puntuaciones ordenadas en sus respectivas categorías. En la distribución de frecuencias los datos son clasificados según intervalos seleccionados. Las distribuciones reciben los calificativos de absolutas, porcentuales y acumuladas.

¿Qué son las medidas de tendencia central? Las medidas de tendencia central son puntos en una distribución, los valores medios o centrales de ésta y nos ayudan a ubicarla dentro de la escala de medición. Las principales medidas de la tendencia central son la moda, mediana y media.

La moda es la categoría o puntuación que ocurre con mayor frecuencia. **La mediana** es el valor que divide a la distribución por la mitad. **La media aritmética** es la medida de tendencia central más utilizada y puede definirse como el promedio aritmético de una distribución.

¿Cuáles son las medidas de la variabilidad? Las medidas de la variabilidad indican la dispersión de los datos en la escala de medición y responden a la pregunta: ¿Dónde están diseminadas las puntuaciones o valores obtenidos?. Las medidas de la variabilidad más utilizadas son el rango, la desviación estándar y la varianza.

El rango también llamado recorrido es la diferencia entre la puntuación mayor y menor. **La desviación estándar** es el promedio de la desviación de las

puntuaciones con respecto a la media. **La varianza** es la desviación estándar elevada al cuadrado.

Intervalo de confianza. El intervalo de confianza es la construcción de un intervalo donde se localiza el parámetro. Es decir, se trata de una probabilidad definida de que un parámetro se va a ubicar en un determinado intervalo.

$$\bar{X} = \bar{X}_m \pm (t \text{ de student} * \text{desviación estándar muestral}) / n^{1/2}.$$

La t de student depende del nivel de confianza y de n.

Otras estadísticas descriptivas de utilidad son la **asimetría** y la **curtosis**. La **asimetría** es una estadística necesaria para conocer cuánto se parece nuestra distribución a una distribución teórica llamada "curva normal. Si la asimetría es cero, la curva es simétrica. Cuando es positiva quiere decir que hay más valores agrupados hacia la izquierda de la curva, o sea por debajo de la media. Cuando es negativa significa que los valores tienden a agruparse a la derecha de la curva, o sea por encima de la media.

La **curtosis** es un indicador de lo plana o *picuda* que es una curva. Cuando es cero, significa que se trata de una *curva normal*. Si es positiva, quiere decir que la curva, distribución o polígono es más *picuda* o levantada. Si es negativa quiere decir que es más plana.

Problema 6.1.

En una empresa del SIME se está realizando un estudio acerca de la resistencia a la tensión de un cierto acero y esta resistencia se ha medido en 10 piezas de prueba seleccionadas aleatoriamente, obteniéndose los valores en Mpa: 73; 74,4; 70,8; 71,2; 64,3; 68,3; 70,2; 67,3; 69,3; 71,2. Calcule el intervalo de confianza para la resistencia media de tensión, con un 95 % de confianza. (Se recomienda utilizar el Statgraphics) (5).

6.1.4 Otros tipos de estadística utilizadas

Además de la Estadística Descriptiva se utilizan la transformación a puntuaciones “z”, razones y tasas, cálculos de estadística inferencial, pruebas paramétricas, pruebas no paramétricas y análisis multivariados.

Las puntuaciones z son transformaciones que se pueden hacer a los valores o puntuaciones obtenidas, con el propósito de analizar su distancia respecto a la media, en unidades de desviación estándar. Estas puntuaciones son el método más comúnmente utilizado para estandarizar la escala de una variable medida en un nivel por intervalos.

Su fórmula es

$$Z = (X - \bar{X})/s$$

Nivel de medición nominal y ordinal. Las razones, proporciones, porcentajes y tasas permiten establecer comparaciones entre distintos grupos, sobre todo cuando son de distinto tamaño.

Proporciones. La proporción de una categoría A se obtiene dividiendo el número de casos en ella, entre el número de casos total. $A = n_1/(n_1+n_2+n_3+n_4)$

Porcentajes. El porcentaje de cada categoría puede obtenerse multiplicando las proporciones por 100. La palabra porcentaje significa por cien.

Razones. Una razón es la relación entre dos categorías.

Tasa. Una tasa es la relación entre el número de casos, frecuencias o eventos de una categoría y el número total de observaciones, multiplicada por un múltiplo de 10, generalmente 100, 1000 o 10000.

Otro elemento importante es la **Estadística Inferencial** es para efectuar generalizaciones de la muestra a la población. Se utiliza para probar hipótesis y estimar parámetros. Asimismo, se basa en el concepto de distribución muestral.

La curva o distribución normal es un modelo teórico sumamente útil, su media es 0

(cero) y su desviación estándar es uno (1).

El **nivel de significancia** y el **intervalo de confianza** son niveles de probabilidad de cometer un error o equivocarse en la prueba de hipótesis o la estimación de parámetros. Los niveles más comunes en son los del .05 y .01.

❖ **Prueba de hipótesis.** La prueba de hipótesis es una prueba estadística para evaluar si dos o más grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias y varianza. Para esto se hace de la siguiente forma. Se toman dos muestras pequeñas independientes de volumen n_1 y n_2 . Aquí se formula la hipótesis, que los promedios de cada muestra x_1 y x_2 se diferencian o son iguales es decir, que pertenecen a una misma población (una distribución). H_0 : $x_1 = x_2$.

Problema 6.2. Se tiene un proceso tecnológico que una goma se pega con el pegamento de marca A y después se propone sustituir por otro pegamento de marca B. Hay que determinar si hay diferencia en la resistencia del encolado. Se hacen ocho determinaciones del encolado con cada pegamento. Los datos obtenidos de la resistencia del encolado en MPa son:

Marca A	Marca B
16	16
21	22
16	15
22	25
24	29
15	17
18	20
20	24

Determine si la hipótesis se rechaza o se acepta. (Se recomienda para su solución el Statgraphics for Windows) (5).

Nivel de medición por intervalos. Cuando se cuenta con información, cuyo nivel de medición es por intervalos, la primera necesidad que surge es tomar la decisión para componer el número y tamaño de las categorías, con las que se va a clasificar la información. Esta clasificación divide la estadística en **Paramétrica** y en **No Paramétrica**:

- ✓ La **Estadística Paramétrica** es un conjunto de técnicas desarrollados para niveles altos, como por ejemplo para los niveles de medición por intervalos y razón. En todas las pruebas estadísticas paramétricas las variables están medidas en un nivel por intervalos o razón.
- ✓ La **Estadística no Paramétrica** es un conjunto de técnicas diseñadas para niveles menores como nominal y ordinal. Las pruebas no paramétricas se utilizan con variables nominales u ordinales.

Los análisis o pruebas Estadísticas Paramétricas más utilizadas son:

Prueba	Tipos de hipótesis
Coeficiente de correlación de Pearson	Correlacional
Regresión lineal	Correlacional /causal
Prueba "t"	Diferencia de grupos
Contraste de la diferencia de proporciones	Diferencia de grupos
Análisis de varianza (ANOVA): unidireccional y factorial. Unidireccional con una variable independiente y factorial con dos o más variables independientes.	Diferencia de grupos /causal
Análisis de covarianza (ANCOVA)	Correlacional /causal

Los análisis o pruebas estadísticas no paramétricas más utilizadas son:

Prueba	Tipos de hipótesis
Ji cuadrada (χ^2)	Diferencias de grupos para establecer correlación
Coefficientes de correlación e independencia para tabulaciones cruzadas: Phi, C de Pearson, y de Cramer, Lambda, Gamma, Taub, D de Somers y Eta.	Correlacional
Coefficientes Spearman y Kendall.	Correlacional

➤ **Análisis multivariados.** Cuando se analizan dos o más variables es necesario a todos los niveles de medición analizar la relación entre ellas. Los análisis multivariados más utilizados son:

Prueba	Variables involucradas y niveles de medición	Tipos de hipótesis
Regresión múltiple	Una dependiente (intervalos o razón) y dos o más independientes (cualquier nivel de medición)	Correlacional /causal $x_1 \sim x_2 \text{---}^* y$ $x_k \sim$
Análisis lineal <i>path</i>	Varias, secuencia causal (cualquier nivel de medición)	Correlacional /causal
Análisis de factores	Varias (intervalo o razón)	Correlacional /causal $x_1 \text{---}^* \text{---} x_2 \text{---}^* \text{---} x_k$
Análisis multivariado de varianza (MANOVA) y correlación canónica.	Varias independientes y varias dependientes (intervalos o razón)	
Análisis discriminante	Varias independientes (intervalos o razón) y una dependiente (nominal u ordinal)	

• **Escalas nominales.** Cuando dos escalas a nivel nominal se han clasificado por comparación de una con otra y se quiere probar la hipótesis entre las variables, se hace uso de la prueba de la χ^2 (Ji- Cuadrada). A este tipo de prueba se le llama tablas de contingencia.

• **Escalas ordinales.** Cuando se cuenta con dos variables con un nivel de medición ordinal y si quiere relacionarlos, existen varias medidas como son: los

coeficientes de relación de rangos, por ejemplo el de **Spearman** y de **Kendall**.

•**Escalas de intervalos**. Cuando las variables que se quieren relacionar tienen un nivel de intervalos, existen dos técnicas importantes para su tratamiento.

❖**Análisis de correlación y de regresión**. El **análisis de correlación** nos permite medir el grado de relación entre dos o más variables. En otras palabras, cuando nuestro interés se centra en la búsqueda de cuáles variables se correlacionan con una variable determinada.

El grado de ajuste se expresa a través del coeficiente de correlación. Este grado de ajuste da una idea de la calidad del ajuste de la recta a los puntos experimentales, siendo mejor en la medida que el coeficiente de correlación tiende a 1 y peor cuando tiende a 0.

El **análisis de regresión** nos permite predecir a través de una variable independiente, otra variable denominada dependiente. Este caso se encuentra una relación funcional, que puede ser de diferentes formas: lineal, exponencial, parabólica, ect. Si es lineal, se tiene: $y = a + bx$

El desarrollo de estos procedimientos matemáticos se facilita enormemente y en muchos casos se hace posible gracias a las técnicas de computación, por lo que en la elaboración de los resultados experimentales se utilizan, programas estadísticos (Statgraphics (5), Statistica for Windows, Curve Expert y SPSS, entre otros).

Problema 6.3.

Calcule el coeficiente de correlación y establezca la ecuación estimada. Se recomienda para su solución el Statgraphics (5).

Los valores de X y Y son los siguientes:

X	Y
12,3	52,7
18,3	25,8
24,3	62,5
30,3	72,1
36,3	80,2
42,2	87,1
48,4	84,2

❖ *Regresión múltiple. Es un método para analizar el efecto de dos o más variables independientes sobre una o más dependientes. Así mismo es una extensión de la regresión lineal sólo que con un mayor número de variables independientes.*

El modelo lineal general de primer orden para K variables independientes puede escribirse como:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_kx_k$$

donde:

b_0, b_1, b_2, b_3, b_k : Parámetros desconocidos.

x: Variables pueden ser realmente diferentes o combinaciones.

Obviamente es muy engorroso manipular la anterior ecuación y se prefiere darle un tratamiento matricial y en todos los casos se hace indispensable el uso de la computación.

Problema 6.4.

La tabla siguiente muestra el resultado de 10 observaciones efectuadas sobre 3 variables. Se recomienda para su solución el Statgraphics o el *Statistica for Windows*.

Número	Y	X1	X2
1	1,5	95	77
2	1,4	76	129
3	1,2	58	169
4	1,4	95	96
5	1,2	73	145
6	1,6	96	82
7	1,4	91	100
8	1,3	75	126
9	1,4	92	99
10	1,1	54	180

- a) Encuentre la ecuación de regresión de y sobre X1 y X2.
- b) Diga si es ventajoso incluir X1 y X2 en la ecuación de regresión.

6.1.5 La representación de los datos.

La representación de datos es un aspecto importante en la investigación, debe hacerse con claridad y estética. La representación de los datos se puede realizar de las siguientes formas (Zorrilla ,1988).

- ✓ Presentación textual, que es la forma de describir en forma de texto los datos que se han recopilado.
- ✓ La representación tabular consiste en ordenar los datos numéricos con base en columnas y renglones.
- ✓ La representación gráfica consiste en dar una expresión a las cifras o datos, lo que permite tener una proporción de lo que desea expresar.

Las gráficas más utilizadas son:

- Los histogramas que son barras o rectángulos que pueden trazarse en forma vertical u horizontal.
- Los polígonos de frecuencias se construyen señalando el punto central de cada intervalo en un histograma, juntando después dichos puntos por una línea o recta.
- La gráfica circular se construye dividiendo el círculo en pedazos, a los que se llaman sectores. Cada sector es un área proporcional a las cantidades que se representan.
- El pictograma es la representación de los datos por figuras esquemáticas. Cada figura expresa un valor del total.

6.2. Análisis de los datos

El proceso del análisis no es una etapa independiente de la investigación sino concurrente con las demás. Al confeccionar un plan para la recolección de los datos, es preciso analizarlos para establecer grupos o categorías lógicas y útiles, es decir, hay que clasificarlos con vista a formar luego las tablas y sus gráficos.

Esta es una de las etapas más importantes, ya que se establecen comparaciones o relaciones de los resultados de estudio con otros obtenidos en similares condiciones, o sea compara lo encontrado en la revisión bibliográfica, así como los conocimientos, experiencia obtenida por el investigador. Estos resultados deben interpretarse a la luz de las limitaciones del trabajo realizado. Es muy importante que el investigador descubra y aclare todo el significado aplicable y útil; pero se aclara que no existen fórmulas mágicas de predicción.

En realidad esta etapa llamada análisis, debe ser considerada como un doble proceso; no solo se utiliza el análisis sino también se auxilia de la síntesis.

Ahora bien, la interpretación y el análisis - síntesis cubren la etapa que permitirá contar con las conclusiones derivadas del estudio, así como presentar recomendaciones y/ o sugerencias, que en su conjunto darán los elementos para la toma de decisiones.

Anexo:

Clase práctica tema 6 (En Laboratorio de Computación):

Uso del software estadístico ***Statgraphics for Windows (5)***

TEMA 7 . PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.

OBJETIVOS:

- Comprender el destacado papel que juega el usuario en la presentación de los resultados de las investigaciones
- Identificar los elementos que integran un Reporte de Investigación
- Conocer los tipos de reportes de Resultados de Investigación que existen
- Conocer sobre las Tesis Académicas y su relación con los Informes de Investigación
- Conocer la relación entre el Protocolo de Investigación y el Informe Final de la Investigación

* * *

Introducción

Una investigación científica, por espectaculares que sean sus resultados, no termina hasta que sus resultados se publican. De hecho, la piedra angular de la filosofía de la ciencia se basa en la premisa fundamental de que las investigaciones originales tienen que publicarse; solo así pueden verificarse los nuevos conocimientos científicos y añadirse luego a la base de datos que se llama precisamente conocimientos científicos. El investigador científico quizá sea el único, entre todos los que desempeñan una profesión, que este obligado a presentar un informe escrito de lo que hizo, porque lo hizo, como lo hizo y lo que aprendió al hacerlo. Así pues el científico no solo tiene que hacer ciencia sino también escribirla (6, 15, 21).

Por lo tanto, al término de la investigación resulta imprescindible *comunicar los resultados*. Éstos deben definirse con claridad y de acuerdo con las características del usuario o receptor. Antes de presentarlos es indispensable que el *investigador conteste las siguientes preguntas*:

1. ¿Cuál es el contexto en que habrán de presentarse los resultados?
2. ¿Quiénes son los usuarios de los resultados?
3. ¿Cuáles son las características de estos usuarios?

La manera en que se presenten los resultados, dependerá de las respuestas a

estas preguntas. Básicamente hay dos contextos en los que pueden presentarse los resultados de una investigación:

a) *Contexto académico*

b) *Contexto no académico*

En el *contexto académico* los resultados habrán de presentarse a un grupo de profesores-investigadores, alumnos de una institución de educación superior, lectores con niveles educativos elevados, miembros de una agencia de investigación e individuos con perfil similar. Este contexto es el que caracteriza a las tesis, disertaciones, artículos para publicar en revistas científicas, estudios para agencias gubernamentales, centros de reportes técnicos; y libros que reporten una o varias investigaciones. En el *contexto no académico* los resultados habrán de ser presentados con fines comerciales o al público en general (por ejemplo, lectores de un periódico o revista), a un grupo de ejecutivos con poco tiempo para dedicarle a algún asunto o a personas con menores conocimientos de investigación.

En ambos contextos se presenta un *reporte de investigación*, pero su formato, naturaleza y extensión son diferentes. El reporte de investigación es un documento donde se describe el estudio realizado (qué investigación se llevó a cabo, cómo se realizó, qué resultados y conclusiones se obtuvieron). Al redactar el informe deben observarse las indicaciones siguientes:

- Debe redactarse en tercera persona.
- Debe tener secuencia lógica y precisa de la exposición.
- La argumentación tiene que ser convincente.
- Debe lograrse brevedad y precisión en los planteado, evitando interpretaciones subjetivas y equívocas.
- Debe ser concreta la exposición de los resultados del trabajo.

Veamos a continuación los elementos de un reporte final de investigación para ambos contextos:

1. El Reporte Final de Investigación en el contexto académico.

Aunque en ocasiones, las portadas y otras partes del texto varían de acuerdo con los lineamientos establecidos por la autoridad pública o institución de educación superior correspondiente, de forma general los elementos básicos comunes a los reportes finales de investigación, dentro de un contexto académico, son:

1. Cubierta.

En ésta podrán citarse datos de la portada e información complementaria a consideración del elaborador del informe.

2. Portada.

Al igual que en Anteproyecto de Investigación, la Portada incluye el título de la investigación, el nombre del autor o autores y su afiliación institucional o el nombre de la organización que patrocina el estudio y la fecha en que se presenta el reporte. En el caso del título deberá tenerse en cuenta que el mismo debe tener el menor número posible de palabras que describan adecuadamente el contenido del documento: pero si por ello se sacrifica la claridad es preferible que sea más extenso. El propósito es ofrecer al lector la mayor cantidad de información con el mínimo de palabras posibles. Se aconseja que la máxima extensión del título debe ser alrededor de 100 letras (hasta 15 palabras), es un máximo razonable para que pueda leerse de una sola ojeada.

En la mayoría de las ocasiones el título seleccionado puede ser el mismo que el utilizado en el Protocolo de Investigación, aunque el desarrollo de la investigación puede hacer necesario modificar el nombre para hacerlo más adecuado a nuevas circunstancias que puedan haber surgido.

3. Índice del reporte Tabla de Contenido.

En la Tabla de contenido se detallan los distintas partes de la Investigación desarrollada y la página en que se encuentran, al igual que en el Protocolo de Investigación.

4. Resumen.

Constituye el contenido esencial del reporte de investigación y usualmente incluye el planteamiento del problema, la metodología, los resultados más importantes y las principales conclusiones, todo resumido. En la redacción del resumen se deben considerar los siguientes aspectos:

- Se debe redactar en tercera persona y en voz activa.
- La primera frase del resumen se debe redactar de manera tal que haga innecesario la repetición del título.
- Se debe evitar el empleo de palabras rebuscadas
- Se debe utilizar una terminología científica y comprensible.
- Se deben escribir los datos fundamentales, evitando la repetición de los mismos.
- Se deben exponer el propósito, los métodos, los resultados y las conclusiones que se presenta en el documento.
- Se deben utilizar solamente las abreviaturas reconocidas internacionalmente.
- Se debe confeccionar en forma de bloque, o sea, no se dividirá en párrafos.
- Su extensión debe ser alrededor de 250-400 palabras (preferiblemente en una página).

En general tienen validez los mismos elementos que se aplican para la confección del Resumen del Protocolo de Investigación, aunque el contenido es diferente ya que en este caso se dispone de los resultados alcanzados y su análisis.

5. Símbolos, términos especiales y abreviaturas.

Si la cantidad total de éstos sobrepasa de 10 se recomienda presentarlos en el informe en una lista individual. Si la lista no se presenta por separado,

entonces el significado de las abreviaturas, términos y símbolos se indicarán directamente en el texto.

6. Introducción.

La finalidad de ésta debe ser suministrar suficientes antecedentes para que el lector pueda comprender y evaluar los resultados de la investigación. Incluye el planteamiento del problema (objetivos y preguntas de investigación, así como la justificación del estudio), el contexto general de la investigación (cómo y dónde se realizó), las variables y términos de la investigación y sus definiciones, así como las limitaciones de ésta. Se deben mencionar los principales resultados y expresar las conclusiones principales sugeridas de los resultados. Se pueden hacer citas bibliográficas. Debe tener una extensión de una a cinco cuartillas.

Equivale a los Antecedentes y el Estado Actual de la Temática en el Protocolo de la Investigación.

7. Desarrollo del Trabajo.

Es la parte principal del informe y se debe desarrollar por capítulos. Debe incluir los siguientes elementos:

- *Revisión bibliográfica.* Consiste en la ampliación del Marco Teórico del Protocolo de Investigación. En este Capítulo 1, se desarrollan los estudios e investigaciones antecedentes y las teorías a manejar.
- *Materiales y métodos.* Constituye el Capítulo 2 y en el mismo se describe cómo fue llevada a cabo la investigación e incluye:
 - a. Hipótesis y especificación de las variables.
 - b. Diseño utilizado (experimento o no experimento, tipo de experimentos y diseño de los mismos).
 - c. Técnicas de muestreo utilizadas.
 - d. *Instrumentos de medición aplicados (descripción precisa, confiabilidad, validez y variables medidas).*
 - e. *Procedimiento* (un resumen de cada paso en el desarrollo de la investigación).

- *Resultados.* En este Capítulo se exponen los productos del procesamiento de los datos. Normalmente se resumen los datos recolectados y el tratamiento estadístico que se practicó y *no* se incluyen conclusiones ni sugerencias y no se discuten las implicaciones de la investigación.

En el Capítulo de resultados el investigador se limita a describir éstos. Una manera útil de hacerlo es mediante tablas, gráficas, dibujos y figuras. Cada uno de estos elementos debe ir numerado (en arábigo o romano) (v.g., tabla 1, tabla 2,... tabla k; gráfica 1, gráfica 2,... gráfica k; etc.) y con el título que lo identifica.

Al elaborar tablas se debe tener en cuenta:

- El *título* debe especificar el contenido de la tabla.
- Debe tener un *encabezado* y los *sub encabezados* necesarios (v.g., columnas y renglones, diagonales, etc.).
- No debe mezclarse una cantidad poco manejable de estadísticas; por ejemplo, incluir medias, desviaciones estándar, correlaciones, razón "F", etc., en una misma tabla.
- En cada tabla se deben *espaciar los números y estadísticas incluidas* (deben ser legibles).
- De ser posible debemos *limitar cada tabla a una sola página*.
- Los formatos de las tablas deben ser consistentes dentro del reporte. Por ejemplo, no incluir en una tabla cruzada las categorías de la variable dependiente como columnas y en otra tabla colocar las categorías de la variable dependiente como renglones.
- Las *categorías de las variables deben distinguirse* claramente entre sí.

La mejor regla para elaborar una tabla es organizarla lógicamente.

A veces los resultados se presentan en el mismo orden en que fueron formuladas las hipótesis o las variables, y frecuentemente se presenta primero la estadística descriptiva y luego el resto de los análisis.

Cuando los *usuarios*, receptores o lectores son personas con conocimientos sobre estadística no es necesario explicar en qué consiste cada prueba, sólo mencionarlas y comentar sus resultados. Si el usuario carece de tales conocimientos, no tiene caso incluir las pruebas estadísticas, a menos que se expliquen con suma sencillez y se presenten los resultados más comprensibles. Asimismo las tablas se comentan brevemente, esto es, se describen.

Finalmente se debe aclarar que en ocasiones este Capítulo se une con el siguiente y se forma un Capítulo integrado con el nombre de Análisis de Resultados (ver epígrafe siguiente)

- *Discusión*. En el mismo se hace el análisis de los datos y de ese análisis se derivan conclusiones, se hacen recomendaciones para otras investigaciones, se analizan las implicaciones de la investigación y se establece cómo se respondieron las preguntas de investigación y si se cumplieron o no los objetivos. El apartado debe redactarse de tal manera que se facilite la toma de decisiones respecto a una teoría, un curso de acción o una problemática.

Como se dijo anteriormente, hay casos que el volumen de Datos no justifica un Capítulo sólo para su presentación y ese acápite se une con el de Discusión arriba mencionado en un único Capítulo de Análisis de Resultados.

- *Conclusiones parciales*: Resulta muy conveniente realizar conclusiones parciales en cada uno de los capítulos que componen el *Desarrollo o Cuerpo del Trabajo*. Estas conclusiones parciales deben presentar un grado mayor de detalle que las conclusiones generales del trabajo y son de gran ayuda para la redacción más correcta de las conclusiones y recomendaciones de la Investigación en su conjunto.

8. Conclusiones y recomendaciones.

Las conclusiones son las resoluciones tomadas al final de la tesis; contendrán una breve evaluación de los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos inicialmente previstos. El lenguaje será claro, directo, seguro y convincente. Aunque la cantidad de ellas es limitada, es aconsejable usar un término medio; ni mucha ni pocas, sólo las necesarias.

Las conclusiones también reflejarán la utilidad de su aplicación técnica, económica, social, científica, ambiental y las ventajas de su introducción en la práctica. De tener aplicación en la práctica es necesario reflejar con cifras de indicadores técnicos y económicos, las ventajas de su introducción. Además de las conclusiones se reflejarán, si el caso lo requiere, las recomendaciones para realizar posteriores investigaciones y otras acciones que se puedan desprender de los resultados obtenidos. Se debe señalar qué tipo de investigaciones o acciones se requiere, su magnitud y alcance.

9. Bibliografía.

Son las referencias utilizadas por el investigador para elaborar el marco teórico u otros propósitos y se incluyen al final del reporte, de forma ordenada. Las normas vigentes para la presentación de la bibliografía son las mismas que se presentaron en la guía para la confección del Protocolo o Proyecto de Investigación (Tema 3). Con la bibliografía debe terminar la paginación del trabajo.

10. Anexos.

Resultan útiles para describir con mayor profundidad ciertos materiales sin distraer la lectura del texto principal del reporte o evitar que dichos materiales rompan con el formato del reporte. Se organizan alfabéticamente por letras y deben tener un pie de grabado o título que enuncie lo que ilustra el mismo. Aquí aparecerán las demostraciones, fórmulas, cálculos, tablas de datos numéricos auxiliares, descripción de equipos utilizados en la realización de experimentos, mediciones y ensayos, instrucciones, descripciones algorítmicas, programas de computación, ilustraciones de carácter auxiliar,

copia del acuerdo del consejo científico y actas sobre la introducción en la práctica de los resultados de la investigación.

2. El Reporte Final de Investigación en el contexto no académico.

Un reporte no académico contiene la mayoría de los elementos de un reporte académico, o sea *Portada, Índice, Resumen, Introducción, Método, Resultados, Conclusiones y Apéndices*. La diferencia fundamental estriba en que cada elemento es tratado con mayor brevedad y se eliminan las explicaciones técnicas que no puedan ser comprendidas por los usuarios.

El marco teórico y la bibliografía suelen omitirse del reporte o se incluyen como apéndices. Desde luego, esto de ninguna manera implica que no se haya desarrollado un marco teórico, sino que algunos usuarios prefieren no confrontarse con éste en el reporte de investigación. En una investigación siempre se construye un marco teórico, sin importar el contexto en que se presenten los resultados. Hay usuarios no académicos que sí se interesan por el marco teórico y las citas bibliográficas o referencias.

3. Presentación del reporte de investigación

Algunas veces solamente se entrega el reporte publicado y se explica verbalmente pero en la mayoría de los casos la entrega del reporte se acompaña de una presentación con diversos apoyos tales como transparencias, gráficas, audiovisuales, videos y sistemas computarizados.

En la práctica actual los reportes se elaboran utilizando distintos procesadores de textos, paquetes y programas, importando gráficas y textos de un archivo a otro. Las posibilidades son prácticamente ilimitadas. Algunos de los programas más utilizados son:

- Procesadores de texto como el **Microsoft Word** (texto y dibujos) (24)
- Editores (*publishers*) como el **Microsoft Publisher** (24).

- Programas estadísticos como el **Statgraphics, Statistica y SPSS** (análisis estadístico y gráficos)
- Tabuladores electrónicos como el **Microsoft Excel** (24) (hojas de cálculos y gráficos)

Las presentaciones se realizan apoyados en programas como el **Microsoft Power Point (24)**, ya sea para la confección de diapositivas o transparencias para ser proyectadas posteriormente o para presentar directamente en la computadora, con el auxilio casi siempre de diversos medios de proyección que permiten una imagen de gran tamaño y calidad.

La realización de las presentaciones en **Power Point** se deben de basar en mismas reglas que rigen el uso del material de apoyo como las transparencias, ya que en realidad constituyen un apoyo a la presentación del trabajo y no lo sustituyen y el expositor no puede repetir simplemente lo que se muestra en las diapositivas o transparencias.

Algunas recomendaciones a tener en cuenta son:

- *Principio de la sencillez:* el trabajo que sirve de base debe estar impreso y contener toda la información necesaria, así que en los medios auxiliares (transparencias, diapositivas, etc.) sólo es necesario presentar las ideas fundamentales y las tablas y gráficos más significativos.
- *Limite cada medio visual a una idea principal.* Es preferible tener una serie de diapositivas sencillas que una sola complicada que produce confusión
- *No ponga más en el medio visual, que lo que realmente va a discutir.* De lo contrario perderá la atención de la audiencia que se sentirá frustrada tratando de leer y comprender puntos que usted no está presentando en su exposición.
- *Limite cada diapositiva al menor número posible de palabras o elementos.* Se debe tratar de que las letras sean lo suficientemente grandes y estén bien espaciadas, para que se lean bien y sean claras. Una buena guía es mantener

los valores que brinda por defecto el **Power Point** cuando se usan las plantillas de diseño.

- *Presentar los diagramas, tablas y gráficos con lo más esencial y con las menos complicaciones posibles.* Por ejemplo las tablas deben reducirse a 4 o 5 columnas y unas 6 filas como máximo.
- *Se pueden utilizar animaciones, efectos acústicos y figuras que hagan más amena la exposición,* pero sin perder de vista la seriedad y objetividad requerida. Hay que saber diferenciar los recursos que se pueden usar por ejemplo para una exposición comercial o de propaganda, de los que pueden resultar válidos en un trabajo científico.

4. Reglas generales para la elaboración del Informe Final de Investigación.

En muchas ocasiones las instituciones a las que se les deben enviar los Reportes Finales de Investigación tienen normas que rigen como deben ser elaborados, las cuales deben ser cumplidas rigurosamente. En los casos en que no estén definidas esas reglas, resulta conveniente seguir las siguientes reglas generales:

- Las páginas del informe y los materiales que componen el mismo tendrán formato carta o A4.
- El informe se procesará con un editor de texto, se imprimirá por una cara, en papel blanco a 1,5 espacios. Las fuentes más usadas son la **Times New Roman** y la *Arial*, con un tamaño de fuente preferente de 12 puntos. Se acostumbra utilizar márgenes superior e inferior de 2.5 cm y márgenes izquierdo y derecho de 3 cm.
- La calidad del texto editado en soporte magnético y los materiales componentes del mismo deben garantizar su reproducción de manera legible.
- Las magnitudes físicas se presentarán en el Sistema Internacional de Unidades (**SI**).
- Cada capítulo se iniciará en una nueva hoja.

- Las páginas del informe serán numeradas con cifras arábigas, las cuales se colocarán en la parte inferior de éstas. La portada se incluirá en la numeración general del informe, aunque no se numera.
- La introducción se incluirá en la numeración general del informe, aunque se permite no numerar la introducción y las conclusiones del informe.
- Las ilustraciones se denominarán con el término “Figura” y se numerarán consecutivamente dentro de cada capítulo, excepto las ilustraciones que se incluyen en los anexos. Las cifras constarán del número del capítulo y de su orden correspondiente, por ejemplo: “Figura 1.2” (segunda figura del primer capítulo) y se colocarán debajo de dichas ilustraciones.
- Las tablas se identificarán con la palabra Tabla, por ejemplo: “Tabla 1.2” y su identificación se situará en la parte superior izquierda
- Las ilustraciones y las tablas establecidas en hojas aparte se incluirán en la numeración general del informe.

Con relación al tamaño del reporte hay que tener en cuenta que éste puede variar dependiendo de diversos factores tales como el número de hipótesis establecidas, la cantidad de variables medidas, el instrumento de medición aplicado y otros más. Pero debe buscarse claridad, precisión y discusiones directas, así como eliminar repeticiones, argumentos innecesarios y redundancia no justificada.

En ocasiones, las instituciones académicas limitan el tamaño de las Tesis, por lo cual se debe tener la información adecuada de las limitaciones impuestas en cada caso, de manera tal que se pueda lograr la síntesis necesaria para exponer el trabajo de forma clara y precisa en el número de hojas fijado.

4. Informes preliminares y parciales y artículos científicos.

La presentación de los resultados no se limita al informe final. Según se concluyen las etapas de la investigación se deben realizar informes parciales, los cuales deben confeccionarse con el mismo rigor que el informe final, aunque el material a

presentar es de mucha menor extensión. También en ocasiones se necesitan realizar informes preliminares, los que muchas veces se presentan en reuniones de intercambios de experiencias y eventos científicos. En todos estos casos se siguen lineamientos similares a los del informe final de investigación, adaptados a la etapa del proceso en que se encuentre.

También se hace necesario presentar los resultados preliminares, parciales o definitivos en publicaciones científicas que hagan accesible los resultados a un público más amplio. Por ello la publicación es un componente de la investigación científica. Los investigadores son conocidos principalmente por sus publicaciones y en la actualidad se publican miles de documentos científicos y a partir de finales de este siglo comienza una forma muy económica de publicación con la ayuda de los sistemas computarizados y el soporte magnético.

Aquí es importante aclarar que por artículo científico se entiende un informe escrito y publicado que describe resultados originales procedentes de la investigación, que cumple con la tradición existente, prácticas editoriales y ética editorial y que se publica en una revista de reconocido prestigio. Cabe destacar que para los reportes a publicar en un artículo para una revista científica, generalmente se excluye la introducción y el resto de los elementos se desarrolla de manera muy concisa o resumida, y rara vez se incluyen apéndices.

Generalmente las revistas tienen sus propias normas relacionadas con la forma de escribir el artículo, su extensión, las citas bibliográficas y las normas de presentación de gráficos y tablas y estas normas deben ser estudiadas detalladamente antes de poder comenzar a escribir un artículo para que pueda ser publicado en una revista científica. Para abundar más sobre este complejo e interesante tema, resulta muy útil la consulta de la obra **“El Artículo Científico: ¿Rutina o Método?”** (6).

5. La Tesis como informe de investigación

Una tesis tiene la finalidad de probar que la persona es capaz de hacer investigaciones científicas o tecnológicas. Por consiguiente, una buena tesis debe ser un informe de investigación, que tiene la misma finalidad, aunque en la tesis se exige un mayor rigor académico. Una tesis debe presentar la misma estructura disciplinada que se exigiría de un informe de investigación, por lo cual las reglas planteadas para los Informes Finales y Parciales de la Investigación resultan totalmente válidas para las Tesis.

No obstante, en general hay pocas reglas para escribir una tesis (20). Si no tiene reglas que observar, además de guiarse por las recomendaciones que se brindan en este Tema, busque y examine tesis presentadas por graduados anteriores, especialmente los que alcanzaron mejores notas. Probablemente, los trucos que dieron resultados a otros podrán darle resultado a usted.

Sea cuidadoso con los subtítulos. Si hay una o varias secciones de resultados, deberá presentar los resultados suyos, no una mezcla de los propios y de los otros. Si necesita presentar resultados de otros, para mostrar cómo confirman o contradicen los suyos, debe hacerlo en la sección de discusión.

Preste atención especial a la introducción de la tesis por dos razones: En primer lugar, por su propio interés tendrá que aclarar el problema que ha abordado. El resto de la tesis deberá fluir entonces fácil y lógicamente de la introducción. En segundo lugar, como las primeras impresiones son importantes, no haga que sus lectores se pierdan desde el principio (8, 20).

6. Diferencias entre el Protocolo de Proyecto y el informe de la Investigación.

Varias de las partes integrantes de un Informe final de Investigación pueden ser tomados del anteproyecto previa visión de los mismo a la luz de la dialéctica, esto quiere decir que por lo regular al final de la investigación estos aspectos pueden

ser enriquecidos, modificados o cambiados en dependencia de las prácticas y profundización del estudio que llevo a cabo durante la investigación.

Lo más importante a tener en cuenta fundamentalmente es que los objetivos sean respondidos acertadamente en la conclusiones y recomendaciones. A continuación se presenta la agrupación de los componentes del protocolo del proyecto y el informe de la investigación, donde se aprecia como hay partes que faltan en uno o en otro, que en algunos casos se cambia de nombre o se modifica el contenido de algunos aspectos, pero siempre el Protocolo constituye la base mediante la cual se organiza la Investigación y por tanto resulta también la base sobre la cual se estructura el Informe Final.

Tabla 6.1. Diferencias estructurales entre el Protocolo y el Informe Final

No.	Protocolo de Investigación	Informe Final de la investigación
1	-	Cubierta
2	Portada	Portada
3	Tabla de Contenido	Tabla de Contenido
4	Resumen	Resumen
5	Antecedentes	Símbolos, términos y abreviaturas
6	Estado actual de la temática	Introducción.
7	Objetivos	<i>Desarrollo del trabajo</i> (Capítulos de Revisión bibliográfica, Materiales y métodos, Resultados, Discusión)
8	Resultados esperados	Conclusiones y recomendaciones.
9	Aspectos metodológicos	Bibliografía del informe
10	Estudio técnico económico	-
11	Cronograma de la Investigación	-
12	Datos de los Investigadores	-
13	Anexos	Anexos

Anexos:

Trabajo práctico Tema 7:

Evaluación de Tesis de Maestría. Se tomarán como Base Material de Estudio, Tesis de nivel de Maestría, las cuales se analizarán críticamente y se compararán con el formato recomendado en este curso.

TEMA 8. LA PROTECCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

OBJETIVO:

- Conocer los aspectos fundamentales sobre la propiedad intelectual.
- Conocer los elementos esenciales en la evaluación de un trabajo de investigación

* * *

Una vez terminada la investigación, es de gran importancia proteger legalmente la invención como tal o el documento donde se comuniquen los resultados de la misma. Está conformada por las descripciones de inventos, los certificados de invención y las patentes son una de las fuentes documentarias más importantes; ya que permiten conocer la historia, estado actual y tendencia de desarrollo de las diferentes ramas de la ciencia y la técnica (17, 21).

8.1. Derecho de autor y propiedad intelectual

Los autores pueden obtener derechos sobre las siguientes obras: literarias, musicales, coreográficas, artísticas, mapas y dibujos técnicos, visuales y otras de derechos derivados.

La propiedad industrial es dirigida por la Oficinas de la Propiedad Industrial (OCPI), la cual pertenece a la OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Industrial). La Propiedad Industrial se responsabiliza con la protección de creaciones intelectuales tales como: Invenciones, modelos industriales y signos distintivos de la actividad empresarial.

• Las invenciones:

- Equipo. Ejemplo: Cilindro hidráulico.

- Un procedimiento. Ejemplo: Método para estañado de fundiciones grises.
- Producto. Ejemplo: Teflón.
- *Modelos industriales* (Registrado). Ejemplo: El peculiar envase de la Coca Cola.
- *Las marcas*. Ejemplo la Coca-Cola
- *Los nombres comerciales*. Ejemplo: Suchel Camacho S.A.
- *Los lemas comerciales*. Ejemplo: Ron Matusalen hoy alegre y mañana bien.
- *Los rótulos de establecimientos*. Ejemplo: Casa Mimbres
- *Emblemas empresariales*. Ejemplo: El emblema de la firma Sanyo.
- *Denominaciones de origen*. Ejemplo: La Giraldilla en el Ron Havana Club.
- *Indicaciones de procedencia*. Ejemplo: Havana en el Ron Havana Club.

La protección legal que otorga cada Estado a estas categorías, denominada “*modalidades de propiedad industrial*” consiste en la concesión de derechos exclusivos de explotación, que tienen significado y alcance distinto para cada modalidad y que se conceden previa presentación de una solicitud de registro de estos derechos ante el órgano competente en cada Estado (que en general es la Oficina de Patentes y Marcas) y posterior a un examen donde se analiza si la solicitud en la modalidad que corresponda cumple los requisitos establecidos en la legislación relevante para esa modalidad.

8.1.1. Invención.

Se puede entender como invención algo nuevo para solucionar técnicamente un problema existente. Para que una invención sea patentable se exigen tres requisitos esenciales: la novedad, la actividad inventiva (o no evidencia) y la aplicabilidad industrial. Estos requisitos son universales y se exigen en la mayoría de las legislaciones del mundo.

¿Qué se puede patentar en el campo de la ingeniería?

Los equipos, procedimientos, sustancias y productos, así como la nueva utilización de equipos, procedimientos, sustancias y productos ya conocidos. Por ejemplo: Composición de un baño para la deposición de cobre metálico por vía química. Concedida en el año 2000.

También se pueden patentar las variedades de vegetales y las razas animales. Los métodos de profilaxis, diagnóstico y curación de enfermedades, animales y plantas. Las cepas de microorganismos. Por ejemplo: Plátano Censa.

¿Qué no se puede patentar?

- Los métodos y sistemas de organización y dirección de la economía.
- Los proyectos y esquemas de los planes de construcciones.
- Los métodos y sistemas de educación, enseñanza, y estudio.
- Las ideas, los principios científicos y problemas básicos de la ciencia.
- El cambio de forma, dimensiones, proporciones o materia de un objeto a no ser que modifique esencialmente las propiedades de éste.
- El descubrimiento de materias existentes en la naturaleza.
- Las soluciones contrarias a los intereses sociales, principios de humanidad o moral socialista.

El estado protege los derechos de los autores de las invenciones por medio de:

- El Certificado de Autor de invención.
- El Certificado de Autor de invención adicional.
- El Certificado de Patente de invención.
- El Certificado de Patente de invención adicional.

El certificado de patente es aquel que otorga al propietario el derecho exclusivo sobre la invención, en un territorio dado y durante un período de tiempo determinado.

El certificado de autor es el documento de protección de las invenciones, que otorga al Estado el derecho exclusivo sobre la invención y reconoce al autor la paternidad y el derecho de ser remunerado de acuerdo con la importancia económica de la invención.

La vigencia del Certificado de Patente de invención es de 10 años a partir de la fecha de presentación de la solicitud ante la oficina y puede ser prorrogada por 5 años mas mediante el pago de la tasa correspondiente. Una vez haya expirado este termino, el modelo será de dominio público y cualquier persona podrá utilizarlo libremente.

¿Qué son los Certificados de Adición?

Es el certificado que se le otorga al titular de una invención que constituye un perfeccionamiento de otra invención principal ya registrada, y sin la cual no podrá ser utilizada dicha invención de adición.

8.1.2. Modelo de utilidad.

Los modelos de utilidad son las invenciones que, siendo nuevas e implicando una actividad inventiva, consisten en dar a un objeto: constitución, estructura y configuración de la que resulte alguna ventaja prácticamente apreciable para su uso o fabricación.

Para que un modelo de utilidad sea protegido se exigen tres requisitos esenciales: la novedad mundial, la actividad inventiva, que debe ser de un nivel inventivo menor que la de las soluciones técnicas presentadas por la patente de invención y la aplicabilidad industrial.

Como Modelo de Utilidad pueden ser objetos de protección los mecanismos, herramientas, aparatos o alguna parte de los mismos.

La vigencia del Certificado de Patente de Modelo de utilidad es de 5 años a partir de la fecha de presentación de la solicitud antes la oficina y puede ser prorrogada por 5 años mas mediante el pago de la tasa correspondiente. Una vez haya expirado este termino, el modelo será de dominio público y cualquier persona podrá utilizarlo libremente.

Por ejemplo: El norteamericano Richard Drew inventó la cinta adhesiva transparente en 1939. Por su novedad mundial, inventiva y aplicabilidad industrial se convirtió en un modelo de utilidad.

8.1.3. Modelo industrial.

Se considera como Modelo Industrial cualquier reunión de líneas y/o combinación de colores o cualquier forma externa bi o tridimensional que se incorpore a un producto industrial o de artesanía para darle una apariencia especial sin que cambie el destino o finalidad de dicho producto y que sirva de tipo o patrón para su fabricación.

Al darle una apariencia especial a un producto, se protege el aspecto externo del mismo, es decir, todo aquello que sea perceptible por medio de la vista, sin importar el efecto técnico que tenga.

Si se elabora cualquier objeto, ya sea un recipiente, silla, etc., mediante la modalidad de modelo industrial se puede proteger su forma externa sin importar su tamaño, procedimiento ni los elementos que se utilizaron para obtenerlo.

Las características de un modelo industrial son el aspecto o apariencia, visibilidad y producto utilitario.

Los estados protegen los derechos de los autores de las invenciones por medio de:

- El Certificado de Autor del Modelo Industrial.
- El Certificado de Patente del Modelo Industrial.

La vigencia del Certificado de Patente de Modelo Industrial es de 5 años a partir de la fecha de presentación de la solicitud ante la oficina y puede ser prorrogada por 5 años mas mediante el pago de la tasa correspondiente. Una vez haya expirado este termino, el modelo será de dominio público y cualquier persona podrá utilizarlo libremente.

Por ejemplo: El *Volkswagen (VW) Sedan*, fue diseñado por el alemán Ferdinand Porsche para ser una especie de carro de combate. Más de 25 millones de unidades fueron producidas en todo el mundo. Por su apariencia, visibilidad y utilidad fue registrado como un modelo industrial.

8.1.4. Signos distintivos de la actividad empresarial.

Los signos distintivos de la actividad empresarial son las marcas, nombres comerciales, lemas comerciales, rotulas de establecimiento, indicaciones geográficas que incluyen las indicaciones de procedencia y denominadores de origen.

- ❖La marca es todo signo, palabra, nombre o medio material, cualquiera que sea su clase, su forma y su color, que identifique y distinga productos o servicios de otros de su misma clase. La protección se mantiene en vigencia por 10 años, y es renovable por períodos sucesivos de 10 años. Por ejemplo: “Pepsi Cola”.
- ❖Los nombres comerciales son las denominaciones que se utilizan para que sean conocidas las diferentes empresas de productos o servicios. La protección se mantiene en vigencia por 10 años, y es renovable por períodos sucesivos de 10 años. Por ejemplo: “Cadena Comercial TRD”.
- ❖Los rótulos de establecimientos son los nombres bajo los cuales se da a conocer al público un establecimiento comercial, fabril, artesanal o de

servicio, por lo tanto puede inscribirse como tal, los nombres de personas y las denominaciones de fantasía. La protección se mantiene en vigencia por 10 años, y es renovable por períodos sucesivos de 10 años. Por ejemplo: “Servi Cupet”

- ❖ El lema comercial es toda leyenda o combinación de palabras, signos o dibujos destinados a llamar la atención del público sobre productos servicios, con el fin de popularizarlos. La protección se mantiene en vigencia por 10 años, y es renovable por períodos sucesivos de 10 años. Por ejemplo: “Espejos Lunasur es su reflejo”.
- ❖ Las indicaciones geográficas que incluyen las siguientes denominaciones:
 - ❖ Las indicaciones de procedencia es el nombre geográfico de un país, de una región o de un lugar determinado, que sirve para designar un producto o servicio característico de ellos y cuyas cualidades se deben exclusiva y esencialmente al medio geográfico, incluidos en él los factores naturales, humanos o ambos. Por ejemplo: Agencia turística “Viajes Cuba”.
 - ❖ Las indicaciones de origen son la expresión o signo utilizado en un producto o servicio que directa o indirectamente indica un país, región o lugar concreto. Por ejemplo: Hotel Jagua.
- ❖ Los emblemas empresariales son símbolos que identifican a un producto o un servicio con carácter comercial. Por ejemplo: LG.

8.2. Búsqueda de patentes y solicitud de invenciones.

8.2.1. Búsqueda de patentes.

Las patentes son la fuente mejor, más abundante y más rápida de información tecnológica. Entonces, es aconsejable cuando se inicia una investigación tecnológica hacer una búsqueda de patentes en la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI). Para iniciar los trámites de búsqueda informarse con alguna persona responsabilizada con la gestión de patentes.

8.2.2. Solicitudes de invenciones.

La solicitud de protección de una invención la puede hacer una persona natural o jurídica. Entiéndase por persona jurídica una entidad nacional (organismo, institución o una entidad extranjera).

La persona natural puede presentar la solicitud por sí misma o por medio de un agente oficial de la propiedad industrial. La persona jurídica requiere con carácter obligatorio la presencia de un representante o agente oficial de la propiedad industrial.

8.2.3. Protección internacional de la invención.

¿Desea usted proteger su invención en varios países?

Para solicitar en el extranjero el registro de una invención, el inventor puede optar por una de las siguientes vías:

- ❖ Vía nacional o comúnmente llamada Sistema Tradicional de Patentes. Es la forma tradicional de presentación de solicitudes. Se hace la petición a la oficina nacional del país escogido y se acompaña de la documentación exigida por esa oficina. Esta propiedad se realiza a través de un agente oficial de la propiedad industrial. La solicitud presentada a través de este sistema permite invocar el derecho de prioridad según el Convenio de París.
- ❖ Vía Internacional por el Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT). El PCT es un tratado Multilateral entre Estados que entró en vigor en 1978 y Cuba forma parte de este tratado desde el 16 de Julio de 1996.

El sistema PCT es un sistema de presentación internacional de solicitudes de patentes, lo cual simplifica el procedimiento de tramitación internacional de las solicitudes. En dicho sistema no se conceden patentes. La decisión de conceder patentes la toman exclusivamente a las oficinas nacionales.

Con una sola solicitud internacional que se presenta en el país de origen del solicitante, directamente en la Oficina Internacional de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), con sede en Ginebra, se logra el mismo efecto que presentando solicitudes por separado para cada uno de los países miembros del PCT donde se desea proteger.

Referencias Bibliográficas.

1. Colectivo de Autores. 1988. *Libro de Trabajo del Sociólogo*, Moscú: Editorial de Ciencias Sociales. 349 pp.
2. Baca U. 1995. *Evaluación de Proyecto*. Mexico: Mc Graw-Hill Book Inc.
3. Bernal JD. 1987. *Historia Social de la Ciencia - I/La Ciencia en la Historia*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales. 540 pp.
4. Canales FHD, Albarazo ELD, Pineda EB. 1986. *Metodología de la investigación*. México: Editorial Limusa
5. Corporation SG., 2000. Statgraphics Plus Version 5 Online Manual. Statistical Graphics Corporation
6. Crespo F. 1987. *El Artículo Científico: ¿Rutina o Método?* La Habana: Ediciones CENSA MES. 323 pp.
7. Danilevsky V. 1983. *Historia de la Técnica*. México: Editorial Cartago. 367 pp.
8. Day RA. 1996. *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*: Organización Panamericana de la Salud
9. Diaz-Balart, Fidel Castro. 2001. *Ciencia, Innovación y Futuro*. La Habana: Ediciones Especiales Instituto del Libro. 507 pp.
10. Faloh. R. 1996. *Bases de la Gestión Tecnológica en Cuba*. Presentado a IBERECYT 96, La Habana
11. Friedrich W. 1988. *Métodos de la Investigación Social Marxista Leninista*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales. 325 pp.
12. Gonzalez RA. 2000. *Principios Básicos de Escalado*. Matanzas: Centro de de Documentación e Información Científico Técnica, Universidad de Matanzas
13. González RA, Curiel L. 2001. *Procesos de Separación aplicados a la Ingeniería de Procesos*, Universidad de Matanzas, Matanzas
14. Guerra J, Sevilla E. 1987. *Métodos Estadísticos para Ingeniería de Procesos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación
15. Hernández R, Fernández C, Baptista P. 1994. *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill Book Inc.
16. Inc. SE. 2000. Design-Expert Software, Student Version 6 User Guide. Stat Ease Inc.
17. Industrial OCdIP. 1998. *Manual del Inventor*. Ciudad de la Habana
18. Johnstone RE, Thring MW. 1957. *Pilot Plants, Models, and Scale-up Methods in Chemical Engineering*. New York: McGraw Hill Book Co. 307 pp.
19. Lerch. 1977. *La Experimentación en las Ciencias Agrícolas*. La Habana: Editorial Academia
20. Lertzman K. Notes on Writing Papers and Theses. School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University
21. Martín WF, López E, Rodríguez CM, Cogollo J. 2001. Metodología de la Investigación - Folleto Docente. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos
22. Martínez E. 1994. *Ciencia, tecnología y desarrollo: interpelaciones teóricas y metodológicas*. Caracas: Editorial Nueva Sociedad
23. Microsoft. 2000. Microsoft Project. Richmond: Microsoft Co.
24. Microsoft. 2003. Microsoft Office XP. Richmond: Microsoft Co.,

25. Montgomery DC. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Mexico: Grupo Editorial Ibero América S. A.
26. Montgomery DC. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley and Sons Inc.
27. Murphy TD. 1977. Design and Analysis of Industrial Experiments. *Chemical Engineering*: 168 - 82
28. Pardinás F. 1971. *Metodología y técnicas de investigación en Ciencias Sociales*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales
29. Peters MS, Timmerhaus KD. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw-Hill Book Co.
30. ResearchSoft I. 2003. End Note Windows Trial Version 5.0. ISI ResearchSoft
31. Tamayo M. 1991. *El proceso de la investigación científica*. México: Editorial LIMUSA
32. Vining GG. 1998. *Statistical Methods for Engineers*. Los Angeles: Brooks/Cole Publishing Co.
33. Zorrilla S. 1988. *Introducción a la metodología de la investigación*. México: Ediciones Océano