



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

24
rij

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN**

**INTRODUCCION A LA
INGENIERIA DE SISTEMAS**

T E S I N A

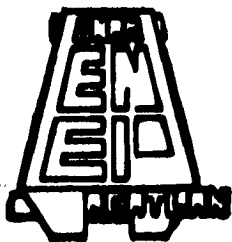
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN MATEMATICAS

APLICADAS Y COMPUTACION

P R E S E N T A

ALEXIS JORGE JIMENEZ PONCELET



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

NAUCALPAN DE JUAREZ, EDO. DE MEX.

MAYO 1996.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios, por todas las bendiciones recibidas

A mi padre, por su apoyo moral y material

A mi hermana, por su apoyo desinteresado

**A mi asesor, Ing. Rubén Romero Ruíz, por su valiosa
orientación en la realización de este trabajo.**

A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán.

ÍNDICE

Introducción	1
--------------------	---

Capítulo I: Sistemas

1.1. Que es un Sistema

1.1.1. El Concepto.	4
--------------------------	---

1.1.2. Principios que se Basan los Sistemas ..	7
--	---

1.1.3. Características de los Sistemas	8
--	---

1.2. Clasificaciones de Sistemas.	10
--	----

1.3. Teoría de los Sistemas

1.3.1. La "Teoría General de Sistemas"	16
--	----

1.3.2. El Enfoque de Sistemas.	19
-------------------------------------	----

Capítulo II: La Ingeniería de los Sistemas

2.1. Ciencia e Ingeniería	27
2.2. Ingeniería "de Sistemas"	
2.2.1. El Concepto	31
2.2.2. Contexto de la Ingeniería de Sistemas. . .	35
2.2.3. La Ingeniería de Sistemas y Otras Disciplinas	38
2.2.4. Ambiente Actual	42
2.3. Análisis de Sistemas	
2.3.1. Origen del Término.	44
2.3.2. Análisis de Sistemas e Ingeniería de Sistemas	45
2.4. Metodologías de Sistemas	48

**Capítulo III: Principios de Ingeniería de Sistemas
Basados en Computadora**

3.1. Sistemas Basados en Computadora. 55

**3.2. Ingeniería de Sistemas Basados en
Computadora**

3.2.1. Definición 60

3.3. El Proceso de Ingeniería de Sistemas

3.3.1. Identificación de Necesidad 64

3.3.2. Análisis de Factibilidad 64

3.3.3. Requerimientos Operacionales. 66

3.3.4. Definición de Mantenimiento y Soporte . . 68

3.3.5. Análisis Funcional. 73

3.3.6. Requerimientos de Asignación. 80

3.3.7.	Síntesis, Análisis y Optimización del del Diseño del Sistema.	83
3.3.8.	Prueba y Evaluación	88
3.3.9.	Producción y/o Construcción.	95
3.3.10.	Uso Operacional del Sistema y Apoyo de Soporte.	95
3.3.11.	Retiro y Deshecho del Sistema	96

Glosario.	97
--------------------------	-----------

Conclusión	104
-----------------------------	------------

Bibliografía.	106
------------------------------	------------

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el profesionalista hoy en día, es la comprensión y aplicación del concepto "sistema". El significado de esta varía de un contexto a otro, lo que en más de una ocasión produce confusión.

Esto nos explica el porque todas las expresiones en donde aparece la palabra se prestan a las mas diversas interpretaciones. Podemos encontrar decenas de libros en los que "ingeniería de sistemas", "metodologías de sistemas", etc. se usan con distinta significación. Aquí pretendemos definir todas estas expresiones de la manera mas general, tratando que nuestras definiciones no se contradigan con otras.

Nuestra intención es tan solo dar una visión introductoria a la Ingeniería de Sistemas: sus conceptos fundamentales, sus objetivos y sus aplicaciones. Deseamos que, después de leer este trabajo, el lector se halle en condiciones de empezar a estudiar con profundidad la Ingeniería en Sistemas, y que, al abrir un libro que la trate, sepa que encontrara en ese libro.

Este trabajo se divide en tres capítulos. El primero se llama "Sistemas" y en el estudiaremos el concepto "Sistema", como puede clasificarse, y explicaremos que es el enfoque de sistemas.

En el capítulo segundo explicaremos que es, a grandes rasgos, la Ingeniería de Sistemas, haciendo ver, entre otras cosas, porque es "Ingeniería" y no "Ciencia"; por otro lado hablaremos del análisis de sistemas y de las metodologías de sistemas, y que son estas para el Ingeniero de Sistemas.

En el capítulo tercero hablaremos de los "Sistemas Basados en Computadora" que hoy en día están generalizados en un grado tal que se puede afirmar que no existe sistema importante que no este controlado por computadora; daremos un vistazo al largo proceso de la Ingeniería de Sistemas.

Para concluir presentaremos el breve glosario con aquellos conceptos clave para la Ingeniería de Sistemas, que fueron mencionados pero ya no definidos.

Esperamos que este trabajo sirva para el futuro estudiante de la Universidad, y que de este modo podamos retribuirle a esta institución algo de todo lo que nos dio durante tantos años.

CAPITULO I
SISTEMAS

1.1. QUE ES UN SISTEMA

1.1.1. El Concepto

Pocos conceptos son tan usados, pero al mismo tiempo tan difíciles de definir, como el de sistema. Vivimos en un mundo en el cual se habla de sistemas educativos, sistemas de transporte, sistemas biológicos, sistemas computacionales... sin embargo, casi nunca llegamos a hablar de "sistemas" puros; la palabra "sistema" no se utiliza sin acaompañamiento de otra, a menos que sea de manera teórica. En efecto, hablamos de algo inexistente por si solo.

Pedro Voltes Bou¹ en "Teoría General de los Sistemas", nos menciona las siguientes definiciones de este concepto:

"Un sistema es una colección de objetos junto con sus interacciones mutuas" (K.M. Khallov, "The Orderliness of Biological Systems", General systems, 1967).

"Entidad que consiste en dos o mas elementos y un conjunto no vacío de relaciones entre los elementos" (Fco. Sagasti, "A Conceptual and Taxonomic Framework for the Analysis of Adaptive Behavior", General systems, XV, 1970).

¹ Voltes Bou, Pedro. "Teoría General de los Sistemas", edit. Hispano Europea, Barcelona, España, 1978, p.22, l.5

"Un sistema puede ser definido como un conjunto de entes variables (personas, objetos, costumbres, átomos o cualquier otra cosa) relacionados entre sí de suerte que en primer término, alguna variación en cualquiera de ellos sea seguido por otra variación predecible (es decir, no debida al azar) en por lo menos otro, y luego, que exista por lo menos una secuencia de variaciones que implique todos los entes" (A. Wallace, "*Culture and Personality*", 1961).

"Un sistema puede ser definido como una reunión de componentes dotados de propiedades identificables y entre los cuales se perciben relaciones" (A. McClelland, "*Systems and History in International Affairs*", General systems, III, 1958).

Estas definiciones no son mas que algunas de entre las miles que existen, pero podemos afirmar junto con O. Johanssen que "En general, podemos señalar que ante la palabra "*sistema*" todos los que la han definido están de acuerdo en que es un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos"².

Veamos los componentes básicos de esta definición:

² Johanssen, Oscar. "Introducción a la Teoría General de Sistemas", edit. Limusa, México, D. F., 1982, p.54, 1.6

1.- Un conjunto de elementos. Este es evidente. Un elemento no forma un sistema. Pero aquí la dificultad está en establecer la frontera entre uno y otro elemento, y cuando un elemento de un sistema puede ser reconocido como un sistema, y viceversa.

2.- Existencia de relaciones entre ellos. Un sistema no puede estar formado por componentes aislados. Cada uno de los elementos del sistema se relaciona con al menos uno de los demás.

3.- Carácter de totalidad del conjunto. Si un conjunto de elementos no están integrados persiguiendo una finalidad entonces no forman un sistema. Esta es la característica que hace único a cada sistema. Lo que tenga de singular debe buscarse en la finalidad que este tiene.

Esta definición (o mejor dicho, esta noción) ha tenido que soportar objeciones que pueden resumirse así: De acuerdo con esta definición cualquier cosa es un sistema. Entonces definimos todo y a la vez no definimos nada. Este razonamiento no deja de tener justificación, pues efectivamente, es prácticamente imposible pensar en algo que no pudiera ser considerado como un sistema³. Vemos entonces que esta palabra es la más genérica del lenguaje: es el común denominador de prácticamente todo lo que conocemos.

³ Un ejemplo de algo que no podría ser considerado como un sistema, sería, quizás, un electrón.

Sin embargo, el problema no está en ver si algo podría ser conceptualizado como un sistema, sino en ver si para estudiarlo será considerado como un sistema, esto es, si consideramos las propiedades que presenta como un todo, y no la suma de las propiedades de cada uno de sus elementos.

1.1.2. Principios en que se Basan los Sistemas.

Según E. Arbones, son los siguientes⁴:

a) Subsidiaridad.- Todo sistema, por sí mismo, es incompleto; necesita de la ayuda de otros sistemas para llevar a cabo sus funciones; es en virtud de estos sistemas, que forman su entorno, que este sistema actúa.

b) Interacción.- Todo sistema, además de necesitar de otros, se relaciona con estos; las acciones desarrolladas por este tienden a influir en el comportamiento de otros, trascendiendo así los efectos de estas acciones no solo en el sistema en el que se originan, sino también en aquellos con que se relaciona.

c) Determinismo.- En un sistema, todo fenómeno que actúa en, o a través de él, es resultado de causas definidas, que se conocen con precisión, y contables, que pueden verificarse.

⁴ Arbones, Eduardo. "Ingeniería de Sistemas", edit. Marcombo Boixareu, Barcelona, España, 1991, p.16, 1.13

d) **Equifinalidad.**- Todo sistema tiene un objetivo, al cual deben tender todos y cada uno de sus elementos, aún cuando las acciones que estos desarrollan sean diferentes entre sí.

1.1.3. Características de los Sistemas.

Para E. Arbones, son cuatro⁵:

a) **Estabilidad.**- Característica de permanecer funcionando eficazmente, realizando aquella función que es su objetivo, aunque las acciones de los factores sean adversos.

b) **Adaptabilidad.**- Característica de ser capaz de evolucionar dinámicamente con arreglo a su entorno; pasará por diversos estados, pero seguirá orientado hacia el objetivo que constituye su finalidad.

c) **Eficacia.**- Característica que consiste en atender el objetivo poniendo en práctica procesos que le permiten ser adaptable y equilibrado; funciona de manera adecuada, superando los contratiempos a los que eventualmente se enfrenta

d) **Sinergia.**- Característica por la cuál la capacidad de actuación del sistema a la de sus componentes sumados

⁵ Ibid, p.16, 1.26

individualmente; todo sistema posee, como un todo, atributos que no podemos encontrar en ninguno de sus componentes: los adquiere al conjuntar dichos componentes.

1.2. Clasificaciones de Sistemas

Uno de los principales problemas en el estudio de los sistemas, es el de su clasificación. No existe ninguna que este aceptada como clasificación oficial; en realidad, todo depende del criterio que uno tome. Algunas de las clasificaciones más conocidas son las siguientes:

Sistemas naturales y sistemas hechos por el hombre. Los primeros son aquellos que forman la naturaleza, como por ejemplo el átomo, los diversos sistemas que forman el organismo humano, etc; Los segundos son aquellos que son creación humana, ya sean físicos, los medios de comunicación y transporte, las fábricas, etc. o abstractos, como las ciencias, las teorías, etc

Sistemas físicos y sistemas conceptuales. Los primeros son aquellos que son tangibles, sean naturales o no; los segundos son abstractos, no físicos.

Sistemas abiertos y sistemas cerrados. Aunque hay diferencias sutiles en cuanto a la manera de definir unos y otros⁶, en general podemos afirmar que los primeros son aquellos capaces de interactuar con su medio, importando o exportando energía, material o información, transformando lo importado y exportándolo

⁶ En "Introducción a la Teoría General de Sistemas", Johanssen nos habla de varias de estas definiciones.

bajo otra forma, mientras que los segundos son incapaces de llevar a cabo esta actividad por su cuenta. Ejemplos de los primeros serían, básicamente, los seres vivos, y de los segundos, aquellos que no lo son.

Estas clasificaciones tienen interés teórico, y son más bien imprecisas, pues se limitan a dividir a los sistemas en dos grupos bien diferenciados. A continuación expondremos la clasificación de Peter Checkland, que es más detallada.

P. Checkland⁷ clasifica a los sistemas en cinco categorías excluyentes entre sí. Al igual que la clasificación anterior, le puede ayudar al Ingeniero de Sistemas para ver con que clase de sistema trabajará, y cuales son sus características. Estas categorías son:

Sistemas Naturales.- Son aquellos que forman el universo, desde los sistemas subatómicos hasta los galácticos. Son resultado de fuerzas y procesos que caracterizan a este universo. Una distinción de estos sistemas es que no pueden dejar de ser lo que son, no esta en nuestras manos, al menos por el momento, alterarlos. Son sistemas irreductibles, en el sentido de que se pueden hacer afirmaciones con significado con respecto a ellos como todo, e incluso si podemos describir sus componentes con precisión. Por ejemplo, el dióxido de carbono no es reducible a

⁷ Checkland, Peter. "Pensamiento de Sistemas, Práctica de Sistemas", edit. Limusa, México, D. F., 1993, P.30, 1.9

carbono y oxígeno, ya que el compuesto mencionado sigue siendo un todo de nivel superior. El estudio de estos sistemas es un observador externo, al cual sólo corresponde entenderlo y aprovecharlo. Ejemplos de estos sistemas son el átomo, los animales, las plantas, el hombre entendido como ser viviente, los minerales, el sistema solar, etc.

Sistemas Diseñados.- Son aquellos que son producto de la imaginación humana. Se subdividen en dos:

a) **Sistemas Físicos Diseñados.** Son aquellos que el hombre ha diseñado, literalmente, y que son tangibles. En esto último son como los sistemas naturales, pero los sistemas físicos diseñados pueden existir en muchas formas diferentes que pueden cambiar con la voluntad del diseñador, según sus necesidades. Si existen es porque se ha identificado la necesidad de ellos, y se ha decidido crearlos. Ejemplos de estos sistemas son, básicamente, todos los artefactos y mecanismos creados por el hombre: computadora, aparatos electrodomésticos, muebles, edificaciones, herramientas, medios de comunicación y transporte, etc.

b) **Sistemas Abstractos Diseñados.** El hombre no sólo diseña cosas físicas, sino también abstractas. Representan el producto puro de la mente humana. Son abstractos, pues no son físicamente palpables, pero indudablemente podemos trabajar con ellos. También podemos capturarlos en sistemas físicos diseñados,

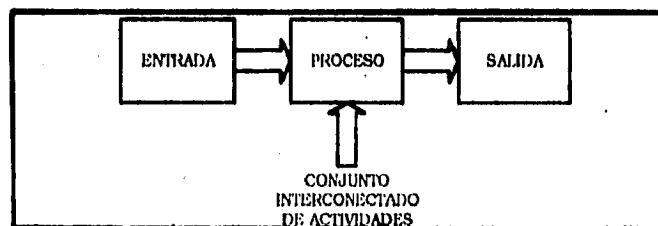
como libros o cintas, con lo cual son transmisibles. Al igual que los sistemas físicos diseñados han sido diseñados obedeciendo a una necesidad, aunque se trate de una necesidad no siempre tangible: muy bien puede ser una necesidad de conocimiento o de expresión. Ejemplos de estos sistemas son la Lógica, las Matemáticas, la Filosofía, la Música y la Programática o Software.

Sistemas Sociales.- Se les podría definir como los agrupamientos de seres humanos conscientes de que son miembros de la agrupación. Su naturaleza no esta bien definida, pues se les podría llegar a ver como sistemas abstractos diseñados. Sin embargo, si bien es cierto que las agrupaciones tienen origen en una creación humana, no todo aquello que forma es abstracto: los humanos, los sistemas físicos involucrados, etc. Se les puede ver como una intersección de varios sistemas, pero que forman un sistema por sí solos. Ejemplos de estos sistemas son todas las agrupaciones humanas, como pueden ser las naciones, las empresas, los partidos políticos, e incluso los pequeños, como las pandillas, el matrimonio y los clubes.

Sistemas de Actividad Humana.- Se les puede describir como un conjunto de actividades interactuantes. No son tangibles, en el sentido en el que lo son los sistemas físicos diseñados, y los sistemas naturales. Pero evidentemente si lo son en el sentido de que podemos observar innumerables grupos de actividades humanas que persiguen un objetivo, como son los

hombre-maquina. A menudo, estas actividades forman un entidad, y este hecho lo enfatiza la existencia de otros sistemas. Como ejemplo, los ferrocarriles pueden verse como un sistema de actividad humana, pero las actividades que lo hacen tal están asociadas con un sistema físico diseñado (vías de tren, estaciones, depósitos de máquinas, etc.). También se relacionan con los sistemas diseñados en el hecho de que ambos pueden llegar a ser algo diferente a lo que son ahora. Brian Wilson⁸ nos dice "El concepto relacionado con un modelo de un sistema de actividad humana es aquel que es un proceso de transformación. Esto significa que el conjunto de actividades contenidas en el modelo representan ese conjunto interconectado de acciones necesarias para transformar algunas entradas en algunas salidas".

Podemos representar a este "proceso" así:



Un ejemplo sería el proceso de manufactura de algún producto, digamos una computadora; la entrada serían las materias primas (cobre, carbón, etc.), la salida sería la computadora, y el proceso abarcaría las actividades de diseño, ensamblaje, etc.

⁸ Wilson, Brian. "Sistemas: Conceptos, Metodologías y Aplicaciones", edit. Limusa, México, D. F., 1993, p.46, 1.9

Sistemas Trascendentales.- Checkland considera una quinta clasificación para los sistemas, un apartado en donde se encuentren aquellos que escapan al conocimiento humano. El los llama "*trascendentales*", precisamente porque están más allá del conocimiento. Esta última clasificación de sistemas ya está fuera del alcance del Ingeniero de Sistemas. Ejemplos de estos serían el conocimiento del infinito y la existencia de Dios.

1.3. Teoría de los Sistemas.

1.3.1. La "Teoría General de Sistemas"

No está dentro de las posibilidades de esta obra el hacer un recuento de la evolución del concepto "*sistema*" a través de los siglos. Es cierto que como noción es tan antiguo como la filosofía occidental⁹, pero para efectos del presente trabajo, nos limitaremos a hablar de la "*teoría general de sistemas*" y del "*enfoque de sistemas*", que son los cuerpos teóricos de los que se vale la Ingeniería de Sistemas.

La Teoría General de Sistemas, como concepto, nació de manera oral, en los años treinta, y de manera escrita, en varias publicaciones posteriores a la segunda guerra mundial. Los tratadistas de sistemas están de acuerdo en que el primero en utilizar el término fue el biólogo alemán Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972). He aquí unos párrafos donde se sintetiza la motivación que tuvo para utilizar dicha expresión:

"Así, existen modelos principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o a sus subclases, sin importar su particular género, la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o "*fuerzas*" que imperen entre ellos. Parece legítimo pedir una teoría

⁹ Basta recordar el principio aristotélico " El todo es más que la suma de sus partes ".

no ya de sistemas de clase más o menos especial, sino de principios universales aplicables a los sistemas en general.

De aquí que adelantemos una nueva disciplina llamada **Teoría General de los Sistemas**. Su tema es la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los "*sistemas*" en general.

El sentido de esta disciplina puede ser circunscrito como sigue.

La Física se ocupa de sistemas de diferentes niveles de generalidad. Se dilata desde sistemas bastante especiales - como los que aplica el ingeniero a la construcción de un puente o una máquina - hasta leyes especiales de disciplinas físicas como la mecánica o la óptica, y hasta leyes de gran generalidad, como los principios de la termodinámica, aplicables a sistemas de naturaleza intrínsecamente diferente - mecánicos, calóricos, químicos o lo que sean. Nada prescribe que tengamos que desembocar en los sistemas tradicionalmente tratados por la Física. Podemos muy bien buscar principios aplicables a sistemas en general, sin importar que sean de naturaleza física, biológica o sociológica. Si planteamos esto y definimos bien el sistema, hallaremos que existen modelos, principios y leyes que se aplican a sistemas generalizados, sin importar su particular género, elemento y "*fuerzas*" participantes¹⁰.

Como puede apreciarse, la Teoría General de Sistemas pretendía explicara aquellos principios que son los fundamentos de los sistemas, en general, y convertirse en una teoría unificadora de la ciencias.

En 1954, Bertalanffy, junto con K. Boulding y A. Rapoport, fundó la "*Society for General Systems Theory*" (Sociedad para la Investigación de Sistemas Generales) con el fin de investigar y divulgar los postulados de la Teoría General de Sistemas.

Los objetivos de la Teoría General de Sistemas eran los siguientes:

1. El investigar el isomorfismo de los conceptos, leyes y modelos en varios campos, y ayudar en transferencias útiles de un campo a otro.
2. El alentar el desarrollo de modelos teóricos adecuados en áreas carentes de ellos.
3. El eliminar la duplicación de esfuerzos teóricos en diferentes campos.

¹⁰ Bertalanffy, Ludwig Von. "Teoría General de los Sistemas". Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 1976, p.32, 1.29

4. El promover la unidad de la Ciencia mediante la mejoría de la comunicación entre los especialistas¹¹.

La "*Society for General Systems Research*" publica sus logros en el "*General Systems Yearbook*" (Anuario de Sistemas Generales).

Hay que reconocer que la teoría que vislumbraron sus fundadores no ha emergido. Varios autores (Checkland, Johanssen) nos dicen que el problema con la Teoría General de Sistemas es que proporciona generalidad a cambio de carencia de contenido. El progreso de la materia de sistemas probablemente provenga del uso de ideas de sistemas dentro de áreas problemáticas específicas y no del desarrollo de una teoría encubridora.

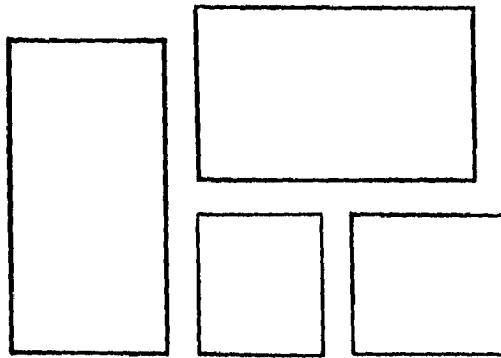
A pesar de no haber logrado el propósito de ser una teoría unificadora de las Ciencias, hay que reconocer que de la Teoría General de Sistemas surgiría una visión del mundo que es fundamental para la Ingeniería de Sistemas: El Enfoque de Sistemas.

1.3.2. El Enfoque de Sistemas.

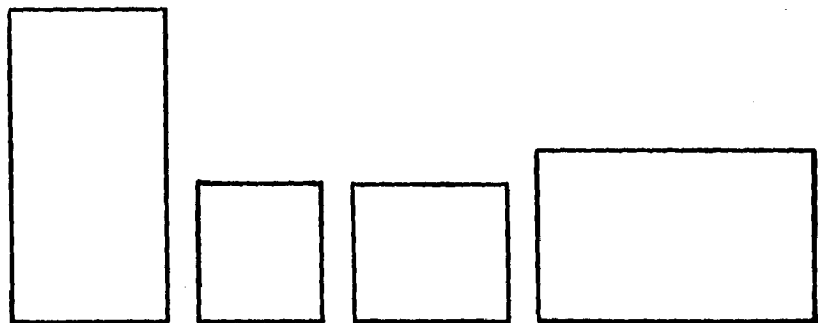
Recordemos los principios cartesianos¹² aplicados al estudio de un fenómeno:

¹¹ Checkland, op.cit., p.112, 1.22

- Dividir un fenómeno en elementos simples.

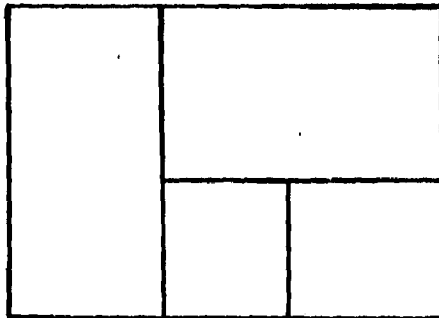


- Analizar cada elemento simple.



¹² Fue el filósofo y matemático francés René Descartes (1596-1650) el primero en usar este enfoque.

- Reunir todos los elementos simples, para recomponer el fenómeno inicial.



Aún cuando este enfoque ha permitido los grandes descubrimientos científicos en los últimos 300 años, no siempre es eficaz; sucede que no nos dice nada acerca de como hay que llevar a cabo la división de los elementos. Si no la llevamos a cabo de manera correcta, entonces el problema aumentará. Como una respuesta a la insuficiencia de este enfoque, al que normalmente se le llama "*reduccionista*", pues reduce el problema a sub-problemas, surge otro, el llamado "*enfoque de sistemas*" o "*totalista*".

Usamos dicha expresión para referirnos a una particular manera de resolver un problema usando un "*pensamiento de sistemas*", esto es, un modo de pensar en el mundo tomando como fundamento el concepto de sistema, que abarca en este caso el concepto de "*totalismo*". Entonces, utilizamos a los sistemas como paradigma en nuestros actos y pensamientos.

Podríamos decir que utilizar un Enfoque de Sistemas significa:

a) Considerar un sistema como un todo que es más que la colección de sus partes.

- Considerar cualquier sistema como parte de una jerarquía de sistemas.

- Otorgar especial atención a las interfaces e interrelaciones en la integración de partes en totalidades.

- Optimizar la totalidad en su comportamiento en un ambiente antes que en partes aisladas.

- Reconocer que un sistema tiene propiedades que no están determinadas tan solo por las propiedades de sus partes, sino también por la estructura del sistema; dichas propiedades las llamamos "*propiedades emergentes*".

b) Consignar el hecho de que los sistemas complejos son "*multifacéticos*".

- Tomar un número de visiones complementarias o diferentes en el sistema estudiado.

- Reconocer que el sistema está compuesto por diferentes elementos.

c) Seguir un proceso integrado, flexible y controlado.

- Considerar y evaluar alternativas.

- Emplear procesos dirigidos a un objetivo.

- Considerar redes de efecto en vez de cadenas lineales de causa y acción.

- Usar retroalimentación e interacción en el proceso completo de trabajo.

- Integrar procedimientos y procesos en el proceso global de trabajo.

d) Resolver problemas en los mayores niveles de abstracción posibles.

- Emplear abstracción como una técnica para manejar complejidad.

- Trabajar en el nivel conceptual tanto como sea posible.

Hay que aclarar que el Enfoque de Sistemas no es una disciplina científica o filosófica, ni tampoco un método, técnica o conjunto de técnicas, sino un enfoque para implementar una metodología en varias disciplinas.

¿Cuándo usar un Enfoque de Sistemas y cuando uno reduccionista? Al planear, diseñar y desarrollar un sistema, es muy común el descomponerlo en sub-sistemas. Frecuentemente encontramos sistemas que serían inmanejables si los viéramos en su totalidad debido a su tamaño y complejidad. Pero asumimos que tal división no deformará el sistema en cuestión, ni tampoco decrecerá su efectividad.

El Enfoque de Sistemas no excluye dicha descomposición. Sin embargo, éste parte de que la descomposición de un sistema puede transformar las propiedades del sistema, y aquí el enfoque reduccionista se separa del de sistemas, pues el primero no considera las propiedades que el sistema posee como totalidad, sino tan solo las de sus partes. Desglosa el sistema, considera los sub-sistemas y tan solo estudia estas últimas características; jamás llega a estudiar las de todo el sistema, como lo hace el Enfoque de Sistemas.

Entonces, en el caso de que las propiedades emergentes del sistema deban ser consideradas, hay que usar el Enfoque de Sistemas.

CAPITULO II

LA INGENIERÍA DE LOS

SISTEMAS

2.1. Ciencia e Ingeniería

Dos palabras sumamente usadas en el lenguaje son, sin duda, "*Ciencia*" e "*Ingeniería*". Muchas veces incluso llegamos a usarlas como sinónimos. Pero para efectos de un trabajo que trata sobre la Ingeniería de Sistemas, deben quedar bien claras la diferencia entre una y otra. Sin embargo, debe comprenderse que este texto no puede extenderse sobre el concepto "*Ciencia*" por motivos de extensión y alcance. La intención, más bien, es establecer la diferencia entre los objetivos de esta y la Ingeniería.

La Ciencia es el conocimiento cierto de alguna cosa; la intención fundamental de la actividad científica es establecer conocimiento fundamento acerca del Universo, ya sea material o intelectual, y el lugar del ser humano en él; para esta, lo más importante es el avance en el conocimiento.

En cambio, la Ingeniería, a un nivel noción, puede verse como el esfuerzo humano tendiente a cambiar su ambiente para así hacerlo más adecuado a las necesidades y deseos del hombre. Pero, ¿Como se pretende conseguir esto? mediante la aplicación del conocimiento científico. Entonces, en la Ingeniería el conocimiento no ocupa un lugar prominente, sino el logro de un propósito concreto. Si la Ingeniería surgió, fue para resolver problemas que involucraran la satisfacción de necesidades y deseos reales. La

Ingeniería se apoya en la Ciencia como fuente para desarrollar sus principios, técnicas y métodos. Todos estos elementos se aplicarán de manera sistemática en la creación de "algo" material, y aquí estriba otra distinción crucial entre Ciencia e Ingeniería: esta última se interesa por crear, por conseguir un producto útil. Pero dicho producto debe verse bajo un enfoque especial. Bernhard Thomé nos dice que "el resultado de un proceso ingenieril siempre es un sistema"¹³.

En el proceso ingenieril no todos los involucrados son ingenieros: muchos actores intervienen en este. Unos son ingenieros, otros son administradores, otros obreros. La labor del administrador será decidir en la estipulación de recursos (tiempo, dinero, personal, tecnología); la labor del ingeniero es "crear modelos del sistema que al final será producirlo físicamente (el sistema producto.)"¹⁴

El ingeniero desarrolla una variedad de modelos con diversos grados de refinamiento, modela diferentes facetas o visiones del sistema producto (facetas funcionales, estructurales, etc.), y captura diversas formas de información (requerimientos, diseño, información de realización). Toda esta tarea deberá estar dentro de

¹³ Thomé, Bernhard. "Systems Engineering. Principles & Practice of Computer-based Systems Engineering", John Wiley & Sons Limited, Baffins Lane, West Sussex, Gran Bretaña, 1993, p.16, 1.14

¹⁴ Ibid, P.16, 1.30

los límites fijados por el administrador y el programa de actividades.

Entonces, es responsabilidad del ingeniero el nivel de calidad especificado del sistema producto.

Deseamos hacer notar las siguientes características de la Ingeniería:

- Está orientada hacia un objetivo: satisfacer una necesidad o deseo humano.

- Está centrada en el ser humano: deriva sus objetivos de este, y por lo tanto tiene que considerar el medio en que éste se desenvuelve.

- Es sistemática: se basa en principios, técnicas y métodos, y utiliza procesos.

- Es creativa: transforma el medio humano con la creación de sistemas.

(En lo sucesivo, por "*sistema*" deberá entenderse "*sistema producto*", en la acepción que aquí se le da).

Podemos resumir todos estos rasgos en la definición de Ingeniería que nos da Bernhard Thomé:

"La Ingeniería es la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificado a estructuras, máquinas, productos o procesos. Está concebida como respuesta a los deseos y necesidades humanas, y usa conocimientos, principios, técnicas y métodos derivados tanto de la Ciencia como de la experiencia"¹⁵.

¹⁵ **ibid. p.17. 1.14**

2.2. Ingeniería "de Sistemas"

2.2.1. El Concepto

Entre los tratadistas de sistemas, existe el concepto "*problemas de sistemas*"¹⁶ para designar aquellos problemas para los cuales una solución eficiente y efectiva requiere la adopción del enfoque de sistemas. Características de dichos problemas son:

- Su solución requiere que el sistema entero (con todo y ambiente) se considere

- Involucran propiedades emergentes

- Involucran interacciones de muchos componentes

- Involucran sistemas no-homogéneos

Si consideramos que el sistema cabal es lo que cumple los deseos y/o requerimientos del consumidor del sistema, entonces puede verse a todo proyecto ingenieril como un "*problema de sistemas*". Se requiere entonces de una actividad que sea capaz de enfocar dicho problema: una "*Ingeniería de los Sistemas*", una disciplina que aplique el enfoque de sistemas a la Ingeniería; de

¹⁶ Klir, George J. "Facets of System Science", Plenum Press, Nueva York, 1991, p.71, 1.19

estas maneras podemos entender, básicamente, a la Ingeniería de Sistemas¹⁷.

E. Arbones nos dice que "En general, la Ingeniería de Sistemas es entonces una forma de resolver problemas. La solución es un modelo del sistema, una serie de especificaciones para diseñar e implementar el sistema".¹⁸

Existen numerosas definiciones de la Ingeniería de Sistemas. Algunas son muy técnicas, otras no tanto. Benjamín Blanchard, en su obra "*Administración de Ingeniería de Sistemas*" nos cita la definición del Departamento de Defensa de los Estados Unidos:

"La aplicación de los esfuerzos científicos e ingenieriles a fin de: 1) transformar una necesidad operacional en una descripción de parámetros de desempeño del sistema y una configuración del sistema a través del uso de un proceso iterativo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación; 2) Integrar parámetros técnicos relacionados y asegurar la compatibilidad de todas las interfaces físicas, funcionales y de programa a fin de optimizar la definición total del sistema y el diseño; y 3) Integrar los factores de confiabilidad, mantenibilidad, seguridad, supervivencia humanos y otros factores en el esfuerzo total de la

¹⁷ Thomé, op.cit., p.17, 1.21

¹⁸ Arbones, Eduardo. "Ingeniería de Sistemas", Marcombo Boixareu editores, Barcelona, España, 1991, p.9, 1.7

Ingeniería para cumplir con los objetivos de costos, planes y desempeño técnico ¹⁹

El por su parte nos menciona su definición. Define a la Ingeniería de Sistemas como:

"La aplicación efectiva de esfuerzos científicos e ingenieriles de transformar una necesidad operacional en una configuración de un sistema definido mediante el proceso iterativo de arriba-abajo en la definición de requerimientos, análisis funcional, síntesis, optimización, diseño, prueba y evaluación"²⁰

Además, nos habla de ciertas "*áreas designadas de énfasis*" que deben considerarse:

1. Requerimiento de un enfoque arriba-abajo, visualizando el sistema como un conjunto. Nos dice que no siempre ha estado presente el entendimiento de como esos componentes efectivamente trabajan juntos.

2. Requerimiento de una orientación al ciclo de vida, tratando todas las fases que incluyen el diseño, producción, construcción, distribución, operación, apoyo de mantenimiento y soporte, retiro y deshecho del sistema. El énfasis no debe centrarse principalmente

¹⁹ Blanchard, Benjamín. "Administración de Ingeniería de Sistemas". Limusa, México, D. F., 1993, p.31, 1.33

²⁰ *ibid*, p.31, 1.24

en las actividades de diseño, sino en todas las que forman el ciclo de vida (del que hablaremos más tarde).

3. Necesidad de realizar la identificación inicial de los requerimientos del sistema. Dichos requerimientos deben relacionarse con metas de diseño específicas, el desarrollo de criterios de diseño apropiados y el intento de análisis a continuación para asegurar la efectividad de la toma de decisiones en el proceso del diseño. Blanchard nos dice que, al inicio de la labor de la Ingeniería de Sistemas, el esfuerzo inicial de análisis requerido al inicio de un proyecto era mínimo, pero que esto implicaba que se requirieran mayores esfuerzos de diseño individual más adelante en el ciclo de vida del sistema.

4. Requerimiento de un esfuerzo interdisciplinario (o enfoque de equipo) durante el diseño del sistema y el proceso de desarrollo para asegurar el cumplimiento efectivo de todos los objetivos de diseño. Esto exige que haya, de las diversas disciplinas de diseño, un entendimiento completo, particularmente para proyectos grandes.

Como se podrá ver, ambas definiciones tienen varios rasgos en común: están de acuerdo en que la Ingeniería de Sistemas se apoya como toda Ingeniería, en la Ciencia, y que intenta transformar una necesidad operacional mediante un proceso de análisis y diseño de un sistema.

Algo diferente es la definición de B. Thomé, más acorde con lo visto hasta el momento:

"La Ingeniería de Sistemas consiste en la aplicación del enfoque de sistemas a la Ingeniería de los Sistemas. Su dominio es la Ingeniería de soluciones a problemas de sistemas independientemente del empleo de cierta tecnología para realizar funciones y propiedades de sistemas.

Una característica de la Ingeniería de Sistemas es que tiene que predecir el comportamiento del sistema y diseñar la estructura del sistema de tal forma que el comportamiento emergente pueda ser controlado dentro de límites deseables".²¹

Como podrá verse, las definiciones de Ingeniería de Sistemas varían de un autor a otro. En lo que respecta a nuestro trabajo, no intentaremos dar una definición formal: precisamente, el objetivo de este trabajo es explicar que es la Ingeniería de Sistemas.

2.2.2. Contexto de la Ingeniería de Sistemas

La figura 1 está basada en la gráfica que nos proporciona B. Thomé en su obra "*Systems Engineering*" para ilustrarnos el contexto de la Ingeniería de Sistemas.

²¹ Thomé, op.cit., p.23, 1.5

El autor nos dice que las principales fuerzas que guían a la Ingeniería de Sistemas son el cliente y el usuario. Por "cliente" debe entenderse una empresa (la palabra puede significar una organización de miles de personas o incluso un solo individuo que trabaja por su cuenta) que tiene un problema, que espera sea resuelto por un sistema a desarrollarse, o bien ve un mercado para un producto o servicio, y en el proceso de desarrollo requerirá la ayuda del Ingeniero de Sistemas. Por otro lado, existe un número significativo de usuarios potenciales para el sistema que se creará.

El cliente comisionará una empresa de Ingeniería de Sistemas, además de una empresa que se dedique a resolver problemas del tipo que el cliente tiene. Dicha empresa normalmente cuenta con especialistas en áreas no ingenieriles como Administración o Economía, por ejemplo. Otra empresa comisionada es aquella especializada en alguna disciplina ingenieril específica (Ingeniería mecánica, Eléctrica, etc.) Cada una de estas empresas tendrá su propio proceso que la llevará a algún resultado. En el caso de la empresa de resolución de problemas, serán soluciones a problemas; Para la empresa de alguna disciplina ingenieril específica, serán componentes del sistema, mismos que han pasado por un proceso ingenieril; para la empresa de Ingeniería de Sistemas, será un proceso de Ingeniería de Sistemas, que llevará a una integración de los subsistemas entregados por los ingenieros de disciplinas de disciplinas específicas en un sistema

que es diseñado y producido para soportar la solución del problema que la empresa de resolución de problema ha encontrado.

Hay que aclarar que estas tres "empresas" muy bien pueden ser una sola. Aquí lo importante es hacer ver que la Ingeniería de Sistemas tiene procesos auxiliares.

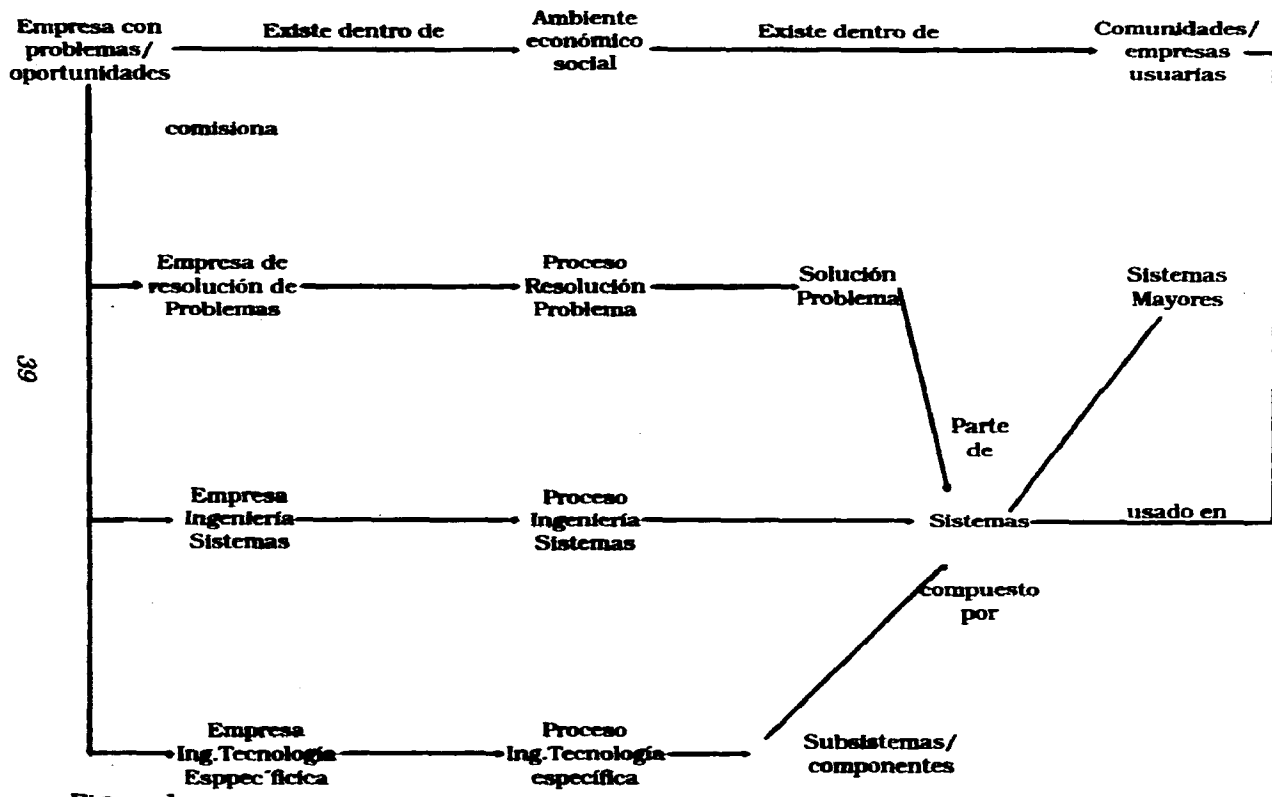
Ninguno de estos tres procesos existe independientemente. Más aún, es labor de la Ingeniería de Sistemas el interrelacionarlos. Tenemos el ejemplo de un sistema de una aerolínea comercial, que nos menciona B. Blanchard.²² En este proyecto, los ingenieros aeronáuticos determinan los requerimientos de desempeño de un avión y diseñan la estructura total del avión; los ingenieros eléctricos diseñan el sistema de distribución de energía del avión y los requerimientos base de energía; los ingenieros electrónicos son responsables de subsistemas como el radar, las comunicaciones y el registro y manejo de datos; los ingenieros mecánicos, de las estructuras mecánicas; los metalurgistas, de la selección y aplicación de materiales para la estructura del avión; los ingenieros industriales se involucran en la producción del avión mismo, etc. El Ingeniero de Sistemas se ocupa del desarrollo global del avión como un sistema y asegura la integración adecuada de los numerosos subsistemas.

²² Blanchard, op.cit., p.102, 1.4

Una objeción que podría hacerse con respecto a la Ingeniería de Sistemas es que no se trata de ninguna especialidad, que es una disciplina tan general que no es confiable para tratar todo tipo de sistemas. Pero hay que tomar en cuenta que, la Ingeniería de Sistemas, como cualquier otra disciplina, se subdivide. De este modo, encontramos que existen la Ingeniería de Sistemas Computacionales (tan basta que para su estudio existe incluso una carrera profesional), la Ingeniería de Sistemas de Información, la Ingeniería de Sistemas de Comunicaciones, etc. cada una de las cuales se especializa en cada sistema que se ocupa. Sin embargo, existen lineamientos que son comunes a toda la Ingeniería de Sistemas. De estos hablaremos en este trabajo.

2.2.3. La Ingeniería de Sistemas y otras Disciplinas.

Aquí es conveniente hablar de la relación que existe entre la Ingeniería de Sistemas, la Investigación de Operaciones y la Computación.



39

Figura 1



Figura 2

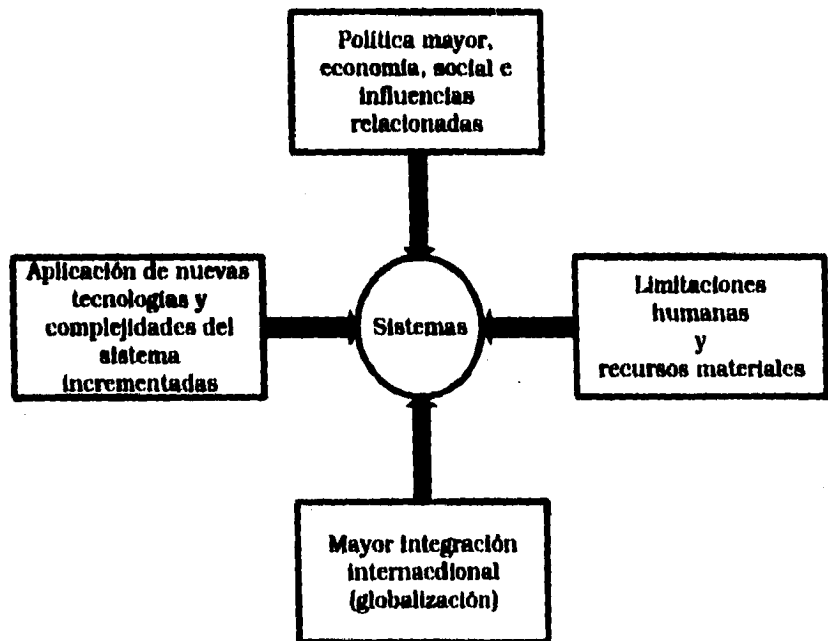
La Investigación de Operaciones se involucra con las funciones específicas de las operaciones de un sistema existente, como por ejemplo, control de inventarios, distribución de materias primas, publicidad, etc. tratando de escoger lo óptimo. En contraste, la Ingeniería de Sistemas enfatiza la planeación y el diseño de nuevos sistemas para optimizar el rendimiento de dichas operaciones, o bien para crear nuevas operaciones, funciones o servicios. Así pues, para el Ingeniero de Sistemas, los métodos de la Investigación de Operaciones no son más que herramientas.

También es frecuente confundir Ingeniería de Sistemas con Ingeniería de Software, o con Ingeniería de Sistemas Computacionales. Lo que sucede es que los Sistemas Computacionales son los más conocidos entre los sistemas a los que se aplica la Ingeniería de Sistemas, pero no son los únicos, como ya se mencionó. Por otro lado, el objeto de estudio del Ingeniero de Sistemas es el sistema entero; el software es el objeto de estudio del Ingeniero de Software.

La figura 2 nos ilustra la relación de la Ingeniería de Sistemas con otras disciplinas.

2.2.4. Ambiente Actual

En "*Administración de Ingeniería de Sistemas*" Benjamín Blanchard nos habla de las circunstancias que rodean la actividad de la Ingeniería de Sistemas. Nos dice que, actualmente, muchos de los sistemas en uso son de pobre calidad, su efectividad está por debajo de lo esperado, y resultan muy costosos. Además, al decrecer los recursos disponibles, la complejidad del sistema se incrementa. Nos representa el ambiente actual de la Ingeniería de Sistemas en la siguiente figura (figura 3).



El prevé retos relacionados con la consecuencia y creación de nuevos sistemas, y el mantenimiento de los sistemas ya existentes. El recomienda:

1.- Los sistemas deben verse en términos de su ciclo de vida completo: desde la fase de diseño hasta la de retiro. Necesitan enfocarse en su conjunto, ya que todas están interrelacionadas. En resumen, enfocarlas como un todo, como el sistema que son.

2.- El valor último de un sistema debe relacionarse directamente con el grado de satisfacción del cliente y expresado en una medida de "*efectividad de costos*".²³ El costo debe verse con base en el ciclo de vida del sistema, y la efectividad debe considerar factores como el desempeño, la disponibilidad, la dependencia, la capacidad de mantenimiento, etc. Si nos encontramos tan solo en el desempeño del sistema, nos limitaremos en extremo.

3.- El Proceso y los métodos utilizados en la consecución y creación de los sistemas debe ser tal que los sistemas puedan: a) Crearse de una manera oportuna y más expedita; b) Diseñarse y desarrollarse tan efectiva y eficientemente como sea posible, considerando la limitante de los recursos disponibles.

²³ Ibid, p.20, l.17

2.3. Análisis de Sistemas

2.3.1. Origen del Término

Durante la segunda guerra mundial,²⁴ simultáneamente al desarrollo de lo que más adelante sería la Ingeniería de Sistemas, emergió una vertiente de pensamiento conocida como "*análisis de sistemas*". La guerra obligaba al gobierno estadounidense a planificar los recursos de su país de manera tal que el costo fuera mínimo. Se necesitaba de técnicas científicas que permitieran hacer estudios que resolvieran el problema.

Al término de dicha guerra, se fundó la corporación RAND (acrónimo de Research ANd Development, investigación y desarrollo), que era una organización no lucrativa dedicada a la asesoría de grandes empresas. Puede considerarse como la primera organización que resolvía problemas utilizando el llamado análisis de sistemas. Aunque en un principio su labor estuvo enfocada fundamentalmente a proyectos empresariales - militares, su labor se extendió, rápidamente, a toda clase de actividades: construcción de manufacturas, reestructuración de empresas, control de la información, rutas de transporte, planificación de producción, etc.

²⁴ En 1942, la fuerza aérea de los E.U. solicitó a la Universidad de Harvard que encontrara un método para que, al cabo de un año, la institución armada pudiera aumentar su tamaño de 4,000 aviones y 300,000 empleados, a 80,000 aviones y 2'500,000 empleados, sin que ello costara más de 10,000 millones de dólares.

Junto con el desarrollo del Análisis de Sistemas fueron apareciendo nuevas disciplinas cuyos nombres resultaban exóticos: Investigación de operaciones, heurística, teoría de la decisión, etc. Esto provocó toda una serie de discusiones en cuanto a los objetivos y limitaciones de cada una de estas disciplinas.

Con el paso del tiempo, el Análisis de Sistemas surgió como una subestructura que pretendía integrar todos los métodos y actividades necesarios para resolver un problema, como una metodología de solución de problemas.

2.3.2. Análisis de Sistemas e Ingeniería de Sistemas

Pero dejemos a esta visión del Análisis de Sistemas para centrarnos en como se incrusta esta en la Ingeniería de Sistemas.

La Ingeniería de Sistemas, como proceso, requiere de un esfuerzo analítico continuo. Si fuéramos puristas, tendríamos que entender por dicho esfuerzo una separación del todo en sus partes, una observación de esta y sus interrelaciones, y la posterior reconstitución de las partes en el todo. O sea, una regresión al enfoque reduccionista.

Pero, como nos dice Benjamín Blanchard "Más específicamente, durante el desarrollo y diseño de sistemas hay

diferentes alternativas (o compromisos) que requieren de un intento de evaluación de alguna forma. Por ejemplo, hay escenarios operacionales del sistema alternativos, mantenimiento y conceptos de soporte alternativos, rutinas de diagnóstico alternativos, aplicaciones manuales contra aplicaciones automáticas alternativas, y así sucesivamente. El proceso de investigar estas alternativas y la evaluación de cada una en términos de un cierto criterio, constituye una alternativa analítica continua".²⁵

Para llevar a cabo esta labor eficazmente, el Ingeniero (o, para ser más precisos, el Analista) de Sistemas recurre al empleo de técnicas analíticas para incluir métodos de investigación de operaciones.

Así pues, para la Ingeniería de Sistemas, el Análisis de Sistemas es "un proceso analítico iterativo continuo, incluido como parte del proceso de la Ingeniería de Sistemas, que involucra la evaluación de los planteamientos de diseño, la realización de estudios de compromiso, etc. El análisis del sistema se realiza a través del uso apropiado de los diversos métodos de investigación de operaciones para ayudar a resolver el problema (simulación, teoría de colas, programación lineal y dinámica, redes, etc.)".²⁶

²⁵ Blanchard, op.cit., p.33, 1.27

²⁶ ibid, p.443, 1.33

Esto nos lleva a plantear la pregunta ¿Qué es un Analista de Sistemas? a lo que podríamos responder que, a grandes rasgos, es quien recopila los datos del sistema actual y desarrolla planes para nuevos sistemas que no tengan los errores del primero. Por supuesto, esta es una respuesta genérica. En el presente trabajo no abundaremos en el tema, pues lo que nos interesa es el proceso global de la Ingeniería de Sistemas.

2.4 Metodologías de Sistemas

Ya hemos hablado anteriormente de los llamados "*problemas de sistemas*" y el "*análisis de sistemas*". Para resolver los primeros, fue que surgió el segundo. Las colecciones de métodos que para ello creo, recibieron el nombre de "*metodologías de sistemas*". Estas han servido para el desarrollo de las metodologías de la Ingeniería de Sistemas, pues, aún cuando en un principio se orientaban hacia la solución de problemas de una manera abstracta, paulatinamente evolucionaron hacia la resolución de problemas concretos.

Brian Wilson²⁷ nos menciona un par de metodologías que estuvieron entre las pioneras del proceso de la Ingeniería de Sistemas. Todavía tienen interés, pues nos ayudan a comprender el enfoque totalista que se debe adoptar al enfrentar un problema de sistemas. Dichas metodologías son las que desarrollaron Arthur Hall (1962) y la corporación RAND (1968).

La de Hall fue desarrollada como resultado de su experiencia dentro de los Laboratorios Telefónicos Bell. Se compone de cinco etapas, que se resumen a continuación:

²⁷ Wilson, Brian. "Sistemas: Conceptos, Metodologías, Aplicaciones". Limusa, México, D. F., 1993, P.83, 1.27

1.- Planeación del programa (localización de un foco de atención sobre un proyecto específico o área de problema).

2.- Planeación exploratoria (Decisión de un proyecto de desarrollo específico).

3.- Planeación de desarrollo (Plan de especificación y acción para el sistema a desarrollar).

4.- Desarrollo del sistema (Las especificaciones producidas se comunican).

5.- Mejora del sistema (reacción a la información devuelta por la gerencia que puede conducir incluso al rediseño).

Las tres primeras etapas requieren iteración de los siguientes pasos:

1. Definición del problema

1.1 Definir necesidades

1.2 Investigar el ambiente

1.3 Listar las entradas y salidas del sistema y sus relaciones

1.4 Definir el límite y las restricciones del sistema

2. Elegir los objetivos

2.1 Listar los objetivos

2.2 "Optimizar el valor del sistema"

3. Síntesis del sistema

3.1 Recopilar alternativas

3.2 Listar las funciones del sistema

3.3 Delinear los subsistemas

3.4 ¡ Usar la creatividad !

4. Análisis del sistema

4.1 Decidir que analizar

4.2 Seleccionar las herramientas analíticas; analizar.

4.3 Deducir las consecuencias inciertas

4.4 Comparar el diseño del sistema con los objetivos

5. Seleccionar el sistema "óptimo"

5.1 Definir los criterios de decisión

5.2 Evaluar las consecuencias; sistemas de clasificación

5.3 Documentar las alternativas rechazadas

6. Planear la acción

6.1 Planear la acción

6.2 Promover el plan del sistema

Otra metodología de sistemas es la propuesta por Quade y Boucher, miembros de la Corporación RAND. Esta consta de cinco etapas, que se muestran a continuación:

1. Formulación (la fase conceptual)

1.1 Formular con claridad y delimitar el problema

1.2 Clasificar y seleccionar objetivos que se espera alcanzar con el sistema y actualizarlos cuando sea necesario

1.3 Seleccionar criterios para medir la realización de objetivos y actualizarlos en forma continua

1.4 Realizar hipótesis (o soluciones posibles) a la luz de la declaración del problema

2. Investigación (la fase de investigación)

2.1 Establecer hechos y recopilar datos en que se basará el análisis

2.2 Valorar el costo de la recopilación de datos

2.3 Generar modos alternativos para alcanzar objetivos

3. Valuación (la fase analítica)

- 3.1 Construir modelo (conceptual o matemático) para predecir las consecuencias de las diversas alternativas**
- 3.2 Efectuar cálculos para explorar las consecuencias del modelo**
- 3.3 Valorar alternativas comparando costos contra efectividad**
- 3.4 Examinar los resultados de 3.3 desde el punto de vista de susceptibilidad a cambios en los parámetros**

4. Interpretación (la fase decisiva)

- 4.1 Tener en cuenta los factores incuantificables e inconmensurables**
- 4.2 Tomar en cuenta la incertidumbre real opuesta a la incertidumbre estadística**
- 4.3 Presentar conclusiones, distinguiendo entre las mostradas por el análisis y las desarrolladas por los participantes**

5. Verificación (la parte científica)

- 5.1 Si es posible, probar la conclusión realizando experimentos**

Hay que recalcar que ambas metodologías son sistemáticas, es decir, siguen una serie de pasos bien definidos e invariables; otro rasgo común es el énfasis que ambas ponen en la definición del problema. Sin embargo, hay que ver que ambas tienen deficiencias. Detallan las etapas, pero no nos dicen como emprenderlas. B. Wilson²⁸ nos pone como ejemplo las etapas 4.1 y 4.2 de la metodología RAND, donde se nos dice que hay que "tener en cuenta que ..." pero no se nos dice como hacerlo; así mismo, le parece inútil el que Hall, en la etapa 3.4 de su metodología, nos exhorte a usar la creatividad.

En el siguiente capítulo hablaremos de un proceso de la Ingeniería de Sistemas mucho más completo; pero no hay que olvidar el tiempo transcurrido entre estas metodologías y las actuales.

²⁸ Ibid, p.85, 1.30

CAPÍTULO III
PRINCIPIOS DE INGENIERIA
DE SISTEMAS
BASADOS EN COMPUTADORA

3.1 Sistemas Basados en Computadora

¿Qué es un Sistema Basado en Computadora? El tan sólo escuchar "*basado en computadora*" ya nos indica que la computadora no sólo interviene de manera fundamental en la operación del sistema, sino también determina su comportamiento. Provisionalmente, podemos afirmar que es en base a este criterio si se puede decir si un sistema está basado o no en computadora.

El apoyo que tienen estos sistemas en el software hace posible desarrollar y operar sistemas de una complejidad no manejable de otra manera. Normalmente, en tales sistemas, el software es el que maneja la complejidad en la operación. Los avances en hardware (en particular, en microprocesadores) han contribuido a generalizar los sistemas mencionados.

Bernard Thomé²⁹ nos menciona los siguientes atributos de comportamiento en estos sistemas:

- **Distribuidos:** Los cálculos realizados por el sistema están distribuidos a través de nodos computacionales colaterales.

²⁹ Thomé, Bernard. "Systems Engineering. Principles & Practice of Computer-Based Systems Engineering". John Wiley & Sons Limited, Bailins Lane, West Sussex, Gran Bretaña. 1993, p.26, 1.17

- **Comunicado internamente:** El sistema contiene por lo menos un sistema interno de comunicación.

- **Heterogéneo:** El sistema tiene componentes de muy diferentes tipos, como por ejemplo, computadoras de diferente arquitectura, software escrito en diferentes lenguajes, buses que usan protocolos de comunicación diferentes, etc.

- **Encajado:** El sistema encaja dentro de otro mayor.

- **Complejo:** El diseño e implementación del sistema involucra el manejo de complejidades substanciales.

- **Multifacético:** A causa de su complejidad, el sistema no puede ser descrito adecuadamente si tomamos un solo punto de vista.

- **Seguridad crítica:** la falla del sistema afecta la propiedad y, en ocasiones, la vida humana.

- **Tiempo restringido:** Dadas las restricciones desde el inicio del sistema, hay un problema significativo en encontrar los requerimientos de tiempo de respuesta.

- **Interacción controlada:** el sistema interactúa con operadores humanos y esta parcialmente controlado por otra interacción.

- **Comunicados externamente:** El sistema está acoplado a otros sistemas por comunicación externa.

Por su parte, B. Blanchard³⁰ nos menciona las siguientes características de estos sistemas, recordándonos que, después de todo, no dejan de ser sistemas.

1. Un sistema constituye una combinación compleja de recursos en forma de seres humanos, materiales, equipo, software, datos, dinero, etc. que deben combinarse de manera efectiva, no dejando que el azar lo haga.

2. Un sistema está contenido dentro de una jerarquía, con lo que es influido por el desempeño del sistema de más alto nivel; dichos factores externos deben evaluarse. Un ejemplo lo podemos ver en una fábrica de acero, que es parte de una empresa constructora de tal aleación, que a su vez pertenece a la industria siderúrgica de un país, que esta englobada en la industria del acero a nivel internacional, etc.

³⁰ Blanchard, Benjamín. "Administración de Ingeniería de Sistemas", Limusa, México, D. F., 1991, P.29, l.10

3. Un sistema puede dividirse en subsistemas y componentes relacionados entre sí, y dichas interacciones deben ser comprendidas por el diseñador del sistema, y por el analista. A causa de estas interacciones, es imposible que se realice un diseño efectivo si nos limitamos a la simple descomposición del sistema en partes. No hay que olvidar que un sistema debe verse como un todo.

4. El sistema debe tener un propósito. Si se le diseña, es porque se ha identificado una necesidad; por lo tanto, el sistema debe ser funcional, y debe alcanzar su objetivo de manera efectiva. Esto incluye que el costo del sistema no debe rebasar el presupuesto fijado.

Todo esto se puede resumir en la definición de Sistema Basado en Computadora que nos da Bernard Thomé:

"Un sistema basado en computadora es un sistema el cual tiene como subsistema (s) de manejo de información uno o más sistemas computacionales. Por lo tanto, comprende los componentes necesarios para capturar, almacenar, procesar, transferir, desplegar y manejar información desde el interior del sistema y su entorno. El sistema basado en computadora incluye diversas entidades:

- Entidades de procesamiento y almacenamiento compuestas por hardware y software.

- Entidades de comunicación, consistentes en servicios de red, incluyendo medios de comunicación.

- Operadores humanos y servicios; tanto de interacción hombre - computadora como de comando.

- E incluso, documentación y manuales del usuario".³¹

³¹ Thomé, op.cit., p.27. 1.9

3.2. Ingeniería de Sistemas Basados en Computadora

3.2.1. Definición

B. Thomé, tras definir Ingeniería de Sistemas y Sistemas Basados en Computadora, nos proporciona la siguiente definición:

"La Ingeniería de sistemas basados en computadora es la disciplina de aplicar Ingeniería de sistemas a sistemas basados en computadora. Se involucra con el sistema entero, con el sistema computacional que está incluido entre sus subsistemas constituyentes, y por las relaciones entre los subsistemas y el sistema".³²

Deseamos hacer notar las siguientes aclaraciones:

- El Ingeniero de Sistemas Basados en Computadora realiza las mismas tareas que el Ingeniero de Sistemas.
- El Enfoque de Sistemas se emplea también en la Ingeniería de Sistemas Basados en Computadora.

³² Ibid, p.29, 1.38

- La Ingeniería de Sistemas Basados en Computadora se involucra tanto como con el sistema como con su ciclo de vida (del que hablaremos en la siguiente sección), razón por la que nada que tenga que ver con este le es ajeno.

- El Ingeniero de Sistemas Basados en Computadora verá como sistema no sólo al producto que resulta de un proceso ingenieril, sino también todo lo que hace posible su existencia: dinero, hardware, software, personal que lo opera, información, etc.

- Es responsabilidad de la Ingeniería de Sistemas Basados en Computadora el impacto que el sistema tendrá en el medio económico, social y natural circundante. Por ejemplo, la automatización de una línea de ensamble de automóviles puede generar desempleo.

- En lo sucesivo, por "Ingeniería de Sistemas" deberá entenderse "Ingeniería de Sistemas Basados en Computadora"; actualmente, todo sistema de importancia está basado en computadora.

3.3. El Proceso de Ingeniería de Sistemas.³³

También llamado ciclo de vida del sistema, está constituido por una serie de actividades que comienzan con la identificación inicial de un deseo o necesidad del cliente y se extiende hasta el diseño, desarrollo, producción, uso operacional, y al fin, retiro del sistema. El objetivo es presentar el proceso de manera panorámica, y no tratar el tema con profundidad.

Los pasos del ciclo de vida del sistema que incluiremos serán:
1) Identificación de necesidad, 2) Análisis de factibilidad, 3) Desarrollo de requerimientos operacionales, 4) Consideración del mantenimiento y soporte, 5) Análisis funcional, 6) Distribución de requerimientos de asignación, 7) Síntesis, 8) Prueba y evaluación del sistema, 9) Producción del sistema, 10) Uso operacional, 11) retiro y deshecho.

Este proceso se ilustra en la figura 4.

³³ Se seguirá el proceso propuesto por B. Blanchard. Todas las figuras de este subcapítulo están tomadas de su libro "Administración de Ingeniería de Sistemas".

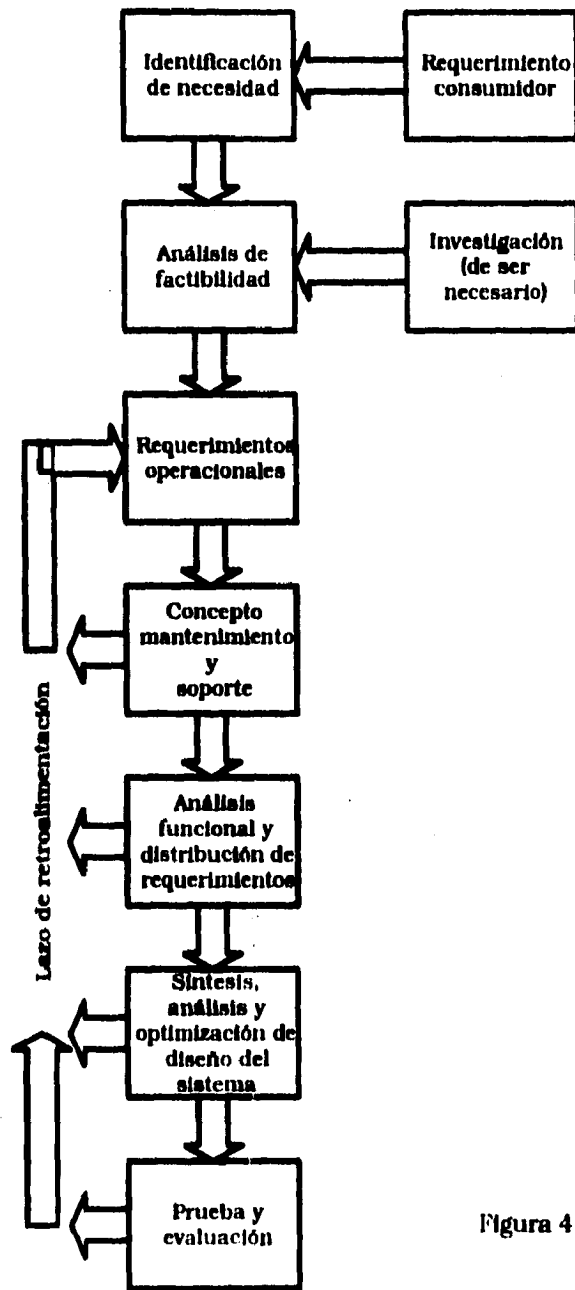


Figura 4

3.3.1. Identificación de Necesidad.

Como se dijo antes, el proceso empieza con la identificación de una necesidad (por necesidad abarcaremos también deseo) para algún (os) ítem (s). Como ejemplos, podemos mencionar que la capacidad del sistema no cumple con ciertas metas de desempeño, que es muy costoso, etc. El requerimiento de un nuevo sistema es definido junto con la prioridad que tiene el introducirlo, la fecha en que se requiere empiece a usarse por el cliente, y una estimación de los recursos necesarios para crear la capacidad del nuevo sistema. Por supuesto que al describir la necesidad se le debe presentar en términos cualitativos y cuantitativos.

3.3.2. Análisis de Factibilidad.

Después de definir la necesidad, debemos: a) Identificar diversos planteamientos posibles del diseño que puedan ejercerse para cumplir los requerimientos; b) Evaluar a los candidatos en términos de desempeño, efectividad, requerimientos logísticos y criterios de economía; c) Recomendar un enfoque preferido. De acuerdo con la disponibilidad de recursos (mano de obra, materiales, dinero) el número de posibilidades deberá reducirse a unas cuantas, las factibles.

Al considerar los diferentes enfoques de diseño, investigamos las diversas tecnologías alternativas. Si por ejemplo, diseñamos un sistema de comunicaciones, se debe preguntar si se usará tecnología de fibras ópticas o cables convencionales, o si diseñamos un automóvil, sobre si deben aplicar circuitos electrónicos integrados de alta velocidad en ciertas aplicaciones de control, o usar otro enfoque electromecánico.

Es en esta etapa en la que las aplicaciones de la tecnología son evaluadas: cuando no tengamos disponible la información que necesitamos, se puede iniciar una actividad de investigación con el objetivo de desarrollar nuevos métodos para aplicaciones específicas.

Al seleccionar y aplicar una tecnología determinada debemos estar conscientes de que esta puede afectar significativamente los requerimientos en las partes de repuesto y prueba de equipo y afectará los costos. Es decir, puede tener implicaciones de confiabilidad y mantenibilidad.

Las más de las veces, la investigación y el esfuerzo de evaluación para determinar los enfoques de diseño son técnicos, razón por la cual los que los realizan son los ingenieros de tecnologías específicas. Sin embargo, ellos no se orientan hacia el "sistema" como la entidad global que se entiende en la Ingeniería de Sistemas. Pueden no considerar el proceso de manufactura o la

capacidad de soporte, por ejemplo. De ahí la importancia de la intervención del Ingeniero de Sistemas en estas etapas.

3.3.3. Requerimientos Operacionales.

Estos requerimientos reflejan las necesidades del cliente con respecto a la utilización del sistema.

El concepto "*operacional*" incluye la siguiente información:

1.- **Distribución operacional.** Se refiere al número de sitios donde se usará el sistema, su distribución geográfica y tipo y cantidad de los componentes del sistema en cada sitio.

2.- **Perfil de la misión del sistema.** Se refiere a la identificación de la misión fundamental del sistema y sus misiones secundarias. Esto se define mediante una serie de perfiles operacionales, ilustradores de los aspectos dinámicos requeridos al realizar una misión. Ejemplo es la ruta de vuelo de un avión entre dos ciudades.

3.- **Desempeño y parámetros relacionados.** Se refiere a la definición de las funciones (características operativas básicas) del sistema. Los parámetros son el rango, la precisión, presión, tamaño, peso, etc. Es decir, parámetros de desempeño del sistema.

4.- Requerimientos de utilización. Se refiere a como se utilizarán los diversos componentes del sistema, como por ejemplo horas de operación del equipo por día, ciclos encendido - apagado por mes, porcentaje de la capacidad total utilizada, etc.

5.- Requerimientos de efectividad. Se refiere a los requerimientos que el sistema debe cumplir, especificados cuantitativamente. Incluyen efectividad de costo - sistema, disponibilidad operacional, dependencia, confiabilidad que significa el tiempo entre fallas, razón de fallas, razón de disposición, tiempo de mantenimiento, facilidad de utilización (en porcentaje), niveles de destreza del personal, costos, etc.

6.- Ciclo de vida operacional. Se refiere al tiempo que estará en uso el sistema para el cliente.

7.- Ambiente físico. Se refiere a la definición del ambiente físico en el que se espera que el sistema opere de manera efectiva. Como ejemplo tenemos la temperatura, el ruido, el clima, la topografía (montañosa o zona plana), etc. Además las consideraciones ambientales deben abarcar transportación, manejo y modos de almacenamiento. Puede darse el caso de que un sistema este sujeto a un ambiente más riguroso durante la transportación que durante su operación.

B. Blanchard nos dice que "el establecimiento de los requerimientos operacionales forma las bases para el diseño de sistemas",³⁴ y que antes de proseguir se necesitan hacer las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Qué funciones desempeñará el sistema?
- 2.- ¿Cuándo será requerido que el sistema desempeñe las funciones propuestas?
- 3.- ¿Dónde será utilizado el sistema?
- 4.- ¿Cómo se realizará el objetivo del sistema?

3.3.4. Definición de Mantenimiento y Soporte.

Normalmente, al tratar los requerimientos del sistema, inicialmente uno se ocupa de aquellos elementos relacionados con el desempeño de las misiones que se le asignan al sistema, tales como software operacional, equipo fundamental, personal de operación, etc.

Sin embargo, todos los aspectos del sistema deben ser considerados sobre una base integrada. Debe considerarse, pues, la capacidad de soporte del sistema, y un concepto de

³⁴ Blanchard, op.cit., p.27, 1.9

mantenimiento previo debe desarrollarse sobre como el sistema propuesto está siendo soportado en una base del ciclo de vida.

El concepto de mantenimiento incluye lo siguiente:

1.- Nivel de mantenimiento. Esto depende de las funciones y tareas de cada área donde el mantenimiento es desempeñado. Dichas funciones son la complejidad del trabajo, los requerimientos de nivel de destreza del personal, las necesidades de facilidades especiales, etc. Los niveles de mantenimiento no forman un número bien especificado. B. Blanchard, por ejemplo, los clasifica en tres: organizacional, intermedio y proveedor - almacén.³⁵

a) Mantenimiento organizacional. Este es desempeñado en el sitio operacional (oficina, vehículo, etc.). Se encarga de darlo personal involucrado en la operación y uso del equipo, y que dispone de poco tiempo disponible para dicho mantenimiento, que, por lo general, se limita a verificaciones periódicas de desempeño de equipo, inspección visual, limpieza de equipo, ajustes externos y reemplazo de componentes (a este nivel todavía no se reparan los componentes). El personal asignado a este nivel es el menos adiestrado.

b. Mantenimiento intermedio. Este es desempeñado por organizaciones y en instalaciones especializadas, que pueden ser, o

³⁵ **ibid, p.52, 1.6**

bien móviles o semimóviles, o bien fijas; el personal es más diestro y esta mejor capacitado, mejor equipado que el del nivel anterior, pues realiza un mantenimiento más detallado, que incluso puede requerir el desensamblado del equipo.

Las unidades móviles y semimóviles son asignadas para proporcionar soporte a equipo operacional distribuido. Dichas unidades pueden ser vehículos con equipo de prueba, soporte y repuestos. Proveen el mantenimiento en el sitio para que así el sistema regrese a su estado operacional completo. Claro que una unidad móvil puede soportar más de un sitio operacional, como por ejemplo el vehículo de mantenimiento que sirve en un hangar y en aviones en la pista.

Hay trabajos de mantenimiento que no se pueden desempeñar debido a limitaciones de conocimiento del personal y equipo de prueba. La reparación se realiza al nivel de módulo. El personal esta altamente preparado y posee gran equipo de prueba y soporte, además de refacciones. Dichas instalaciones se ubican en áreas específicas. El mantenimiento rápido no es una prioridad.

c) Mantenimiento del proveedor. Este se realiza en un local de reparación especializado que cuenta con diversos sistemas - equipos, que bien puede ser la planta del fabricante del equipo. Dispone de material complejo y voluminoso, grandes cantidades de repuestos, provisiones de control ambiental, etc. En este laboran

especialistas diestros en áreas clave como diagnóstico de fallas y control de calidad.

Este mantenimiento incluye reparación completa, reconstrucción y calibración de equipo. Además, proporciona una capacidad de suministro de inventario. Las facilidades del almacén son localizadas remotamente para respaldar necesidades de líneas de productos o áreas geográficas específicas.

2.- Políticas de reparación. En toda organización existen políticas que especifican el grado en el que la reparación de un componente físico del sistema será realizada. Por ejemplo, hay políticas que dictan que tal ítem fue diseñado para ser no reparable, parcialmente reparable y enteramente reparable. Dichas políticas son establecidas de antemano, para que el diseño del sistema no rebase sus límites.

3.- Responsabilidades organizacionales. La realización del mantenimiento puede ser responsabilidad del cliente, del productor, o de una tercera compañía. Puede ser que esta varíe con el uso operacional del sistema y el soporte de apoyo. Las decisiones relativas a esta responsabilidad pueden afectar el diseño del sistema, dictando políticas de reparación o contratando provisiones de garantía, por mencionar un ejemplo.

4.- Elementos de soporte logístico. Los criterios de mantenimiento deben establecerse en relación a elementos de soporte logístico, como soporte de suministros (partes de reparación y repuestos, por ejemplo), equipo de prueba y soporte, personal, transportación y manejo de equipo, datos y facilidades. Los criterios deben "cubrir las provisiones de autoprueba integrada contra los requerimientos de prueba externa, empaçado y factores de estandarización, número y niveles de adiestramiento del personal, transportación y factores de manejo y restricciones, y así sucesivamente".³⁶ La determinación final de los requerimientos de soporte logístico sucederá después del análisis de soporte logístico (LSA).

5.- Requerimientos de efectividad. Asociados a la capacidad de soporte se hallan los factores de efectividad. Ejemplos de estos los encontramos en diversas áreas: el soporte de suministros, puede ser una demanda de partes de repuesto, la probabilidad de que una parte de repuesto este disponible cuando se le necesite, etc.; para el equipo de prueba, puede ser la longitud de la cola mientras espera la prueba la prueba, o también la confiabilidad del equipo; en el transporte, los tiempos y la confiabilidad de transportación; para el personal, el nivel de adiestramiento; en el software, una medida importante puede ser el número de errores por línea de codificación, etc. Claro que estos factores deben relacionarse con los requerimientos específicos del sistema.

³⁶ Ibid, p.56, 1.18

6.- Ambiente. Este juega un importante papel en cuanto a que puede relacionarse con el mantenimiento y soporte. El clima, la topografía, la humedad, etc. pueden influir en la actividad de manejo y funciones de almacenamiento.

Podemos concluir que el concepto de mantenimiento proporciona bases para el establecimiento de los requerimientos de capacidad de soporte, del sistema; y es fundamental para desarrollar el plan de mantenimiento detallado, que debe prepararse.

3.3.5. Análisis Funcional.

Este consiste en una descripción funcional del sistema y la traducción de sus requerimientos a criterios y restricciones de diseño detallados. Aquí hay que recordar que por función debemos entender una acción específica que es necesaria para alcanzar un objetivo, como por ejemplo una operación que el sistema debe realizar para llevar a cabo una acción de mantenimiento necesaria para restaurar el sistema al uso operacional. El análisis funcional es un proceso iterativo que descompone los requerimientos del sistema con el fin de identificar los criterios y restricciones de entrada del diseño para los componentes del sistema. Aquí el

objetivo es identificar que hay que realizar, todavía no como hacerlo.

Para realizar este análisis, el Ingeniero de Sistemas se auxilia de los diagramas de flujo funcionales. Véase la figura 5.

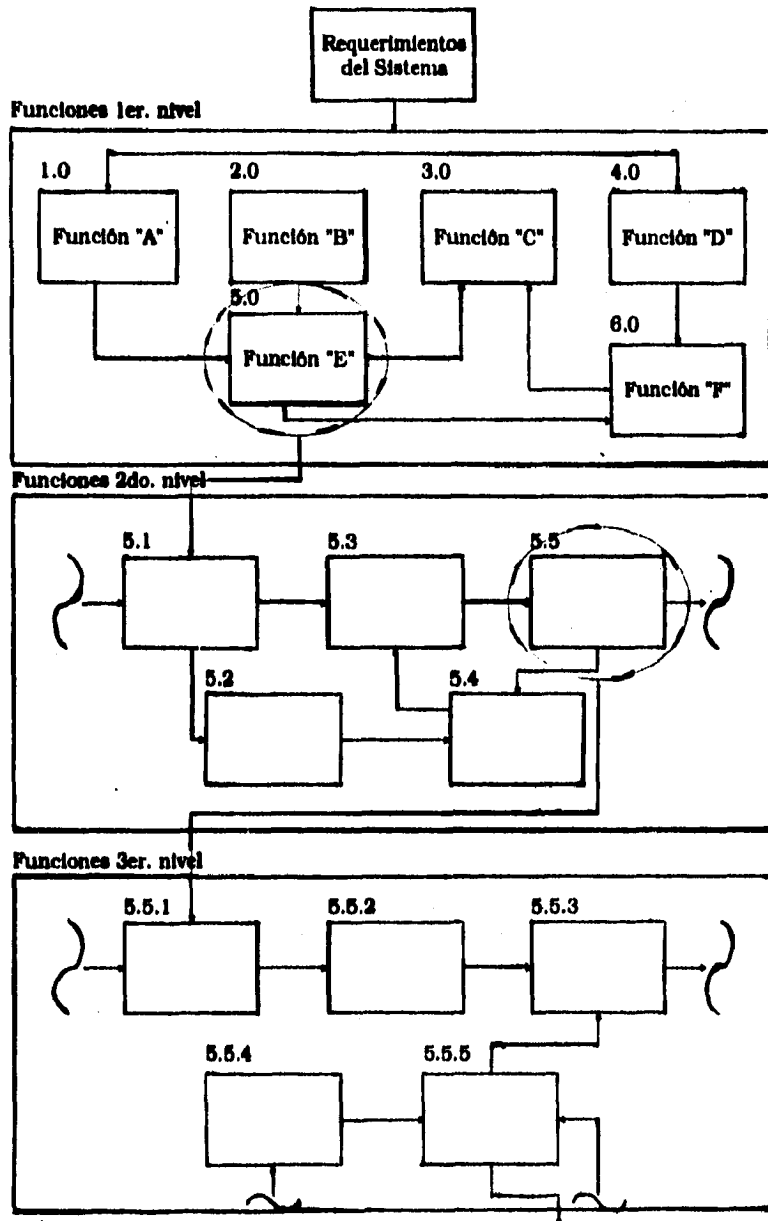


Figura 5

Con estos diagramas estructuraremos los requerimientos del sistema en términos funcionales; ilustraremos la organización básica del sistema e identificamos interfaces funcionales.

Según B. Blanchard³⁷ con el análisis funcional aseguramos:

1) Que todas las facetas del diseño, desarrollo, producción, operación y soporte del sistema estén cubiertas.

2) Que todos los elementos del sistema (equipo esencial, partes de repuesto, prueba y equipo de soporte, personal, datos, software) estén completamente reconocidos y definidos.

3) Que un medio sea proporcionado para relacionar los conceptos de empaque y requerimientos del sistema para especificar las funciones de este.

4) Que las secuencias propias de actividad y relaciones de diseño sean establecidas.

El análisis funcional proporciona el mecanismo de trazabilidad de "arriba a abajo". Un diagrama de flujo funcional de nivel más alto se desarrolla para cubrir las actividades esenciales; cada una de estas actividades puede expandirse a través del segundo nivel del diagrama de flujo funcional; y cada actividad de

³⁷ Ibid, p.60, 1.5

este nivel se expande en un flujo funcional de tercer nivel, y así sucesivamente. De este modo, uno conduce de manera descendente desde el nivel más alto del sistema hasta identificar recursos necesarios para desempeñar ciertas funciones, como equipo, mano de obra, instalaciones, etc.

Consideremos los siguientes puntos:

a) Diagramas de flujo funcionales.

Por convención se usan los siguientes símbolos:

- **Bloque funcional.** Se trata de una caja encerrada por una línea. Cuando el bloque se refiere a un flujo de otro nivel la caja está parcialmente cerrada y lleva la etiqueta "ref". Dentro de la caja está un rótulo que indica una acción definida que realiza el equipo, personal, software o cualquier entidad. Si la función es cuestionable, la línea será punteada.

- **Numeración de funciones.** Cada función debe ser numerada de manera que conserve la continuidad. Las funciones del primer nivel deben enumerarse con enteros: 1.0, 2.0, ... las de los siguientes niveles con el identificador de la actividad de primer nivel y codificadas por decimales: 1.1, 1.2, ... o bien 2.1.1, 2.1.2, ... y así sucesivamente.

- **Conexión de flujo.** Son las líneas que conectan las funciones. Tan solo indican el flujo funcional: nunca lapsos de tiempo ni actividades intermedias.

- **Direcciones de flujo.** Una flecha debe indicar la dirección del flujo. Generalmente este va de izquierda a derecha, aunque en el caso de una retroalimentación, puede ir de derecha a izquierda. La flecha va a la izquierda de cada función.

- **Compuertas de conexión.** Se trata de círculos que son usados para describir una conexión lógica. Utiliza dos: el primero es AND (y) que indica que las funciones paralelas que llegan a la compuerta deben ser realizadas antes de proseguir a la siguiente función, o aquellas rutas que salen de la compuerta AND deben ser realizadas después de las funciones precedentes; el segundo es OR (o), que significa que cualquiera de las diversas trayectorias (funciones) alternativas convergen o divergen de la compuerta: indica que las trayectorias alternativas pueden llevar o seguir una función en particular.

- **Trayectorias de continuación / no continuación de operación.** Estos son símbolos G y G empleados para indicar las trayectorias de continuación o no continuación, respectivamente. Se colocan adyacentes a las líneas que salen de una función.

- Procedimiento de numeración para cambios en los diagramas funcionales. Al adicionar funciones a los datos existentes, estas se indican colocando a la nueva función en su posición correcta, sin considerar la secuencia de la numeración. Esta nueva función se numerará usando el primer número no usado en el primer nivel apropiado para esta.

b) Funciones operacionales.

Estas funciones son las que describen las actividades que se realizan para satisfacer los requerimientos de la misión del sistema. Tomemos por ejemplo la figura 6, que nos representa una serie de flujos operacionales para un sistema. Como podrá verse, un diagrama de este tipo puede incluir una descripción de los modos de operación y utilización del sistema.

c) Funciones de Mantenimiento.

Después de identificar las funciones operacionales, se desarrollan las funciones de mantenimiento. Si verificamos el requerimiento funcional, entonces hay que tomar una decisión sobre continuar o no con la operación. Si se toma la primera, entonces pasamos a la función operacional siguiente. Claro que si encontramos un mal funcionamiento del sistema decidimos no continuar con la función. Esto proporciona un punto de inicio para desarrollar un diagrama de flujo funcional detallado de

mantenimiento. Un ejemplo de este diagrama lo encontramos en la figura 7.

3.3.6. Requerimientos de Asignación.

Al desarrollar los requerimientos operacionales y de mantenimiento, podemos definir los criterios de diseño específicos al nivel de sistema. Ya decíamos que en el análisis funcional lo importante era investigar que funciones se realizaban. Ahora veremos como se deben realizar tales funciones.

La pregunta que debemos hacer es ¿Qué requerimientos deben ser identificados para los componentes del sistema para que, al combinarse, satisfagan los requerimientos del sistema global?³⁸

³⁸ Ibid, p.69, 1.10

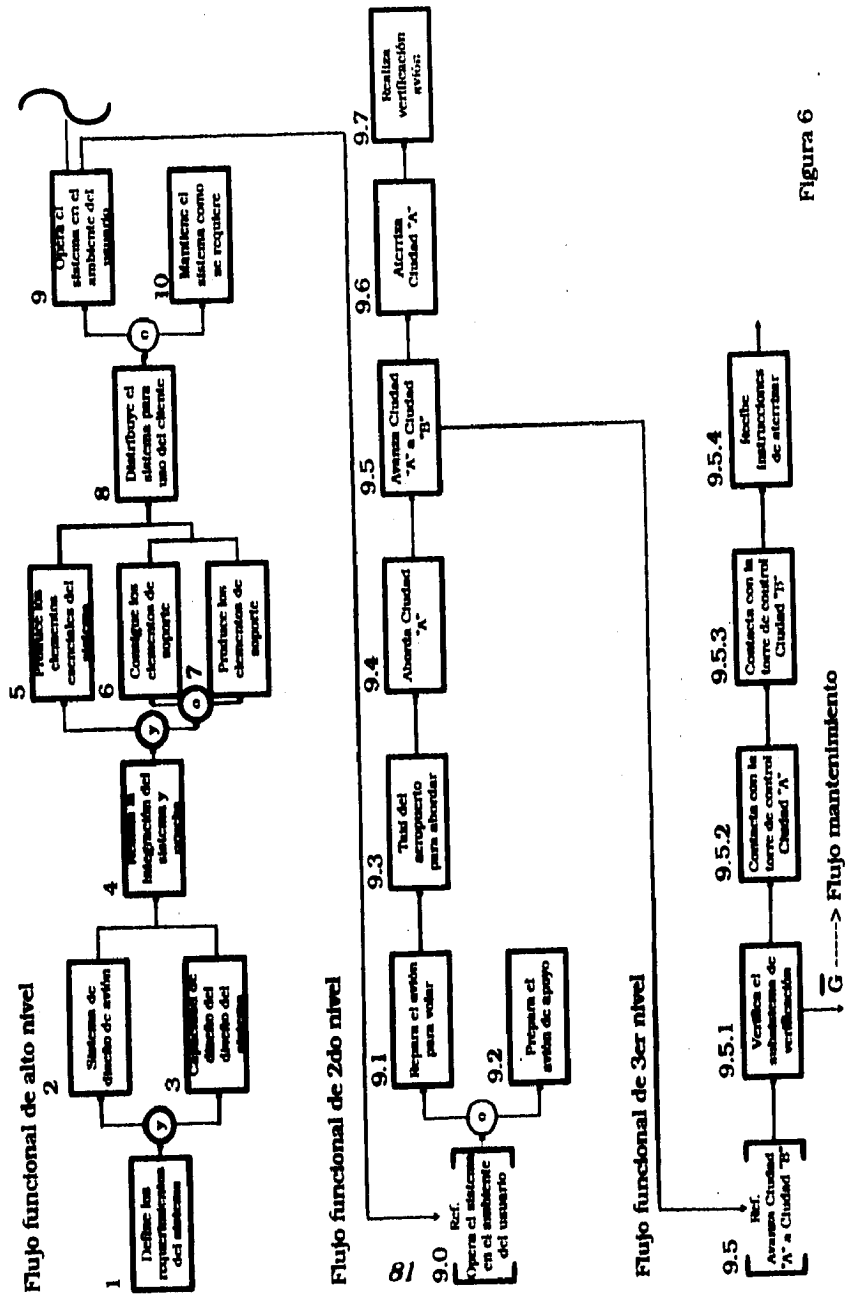


Figura 6

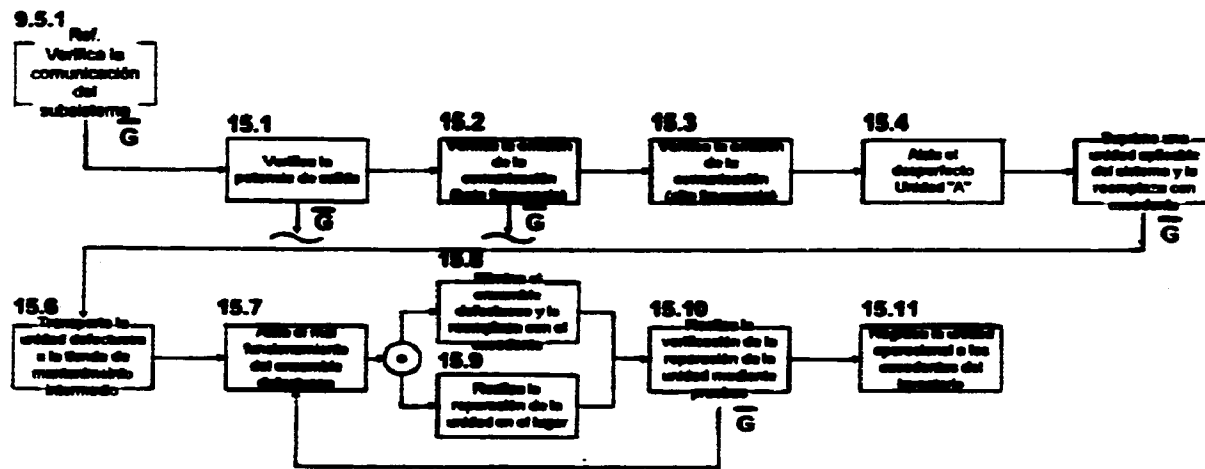


Figura 7

El enfoque recomendado para lograr esto es el de "arriba a abajo". Con este enfoque asignamos requerimientos en el nivel del sistema bajando a los diversos componentes aplicables del sistema. Estos requerimientos, especificados cualitativa y cuantitativamente son incluidos en el desarrollo, proceso y especificaciones de materiales, tal como lo indicamos en la figura 6.

3.3.7. Síntesis, Análisis y Optimización del Diseño del Sistema.

Por síntesis del sistema debe entenderse la combinación y estructuración de los componentes del sistema de tal manera que representen una configuración factible del sistema. Inicialmente, se le emplea para establecer las relaciones básicas entre los diversos componentes del sistema.

La síntesis del sistema conduce a la definición de los enfoques alternativos de diseño. Al estar dichas alternativas inicialmente estructuradas, es necesario que los parámetros técnicos de desempeño sean alineados a los componentes aplicables del sistema (un equipo, unidad, ítem de software).

Dado un número de alternativas, podemos empezar con un procedimiento de evaluación. Aquí los desglosaremos en 10 pasos, que aparecen ilustrados en la figura 8.

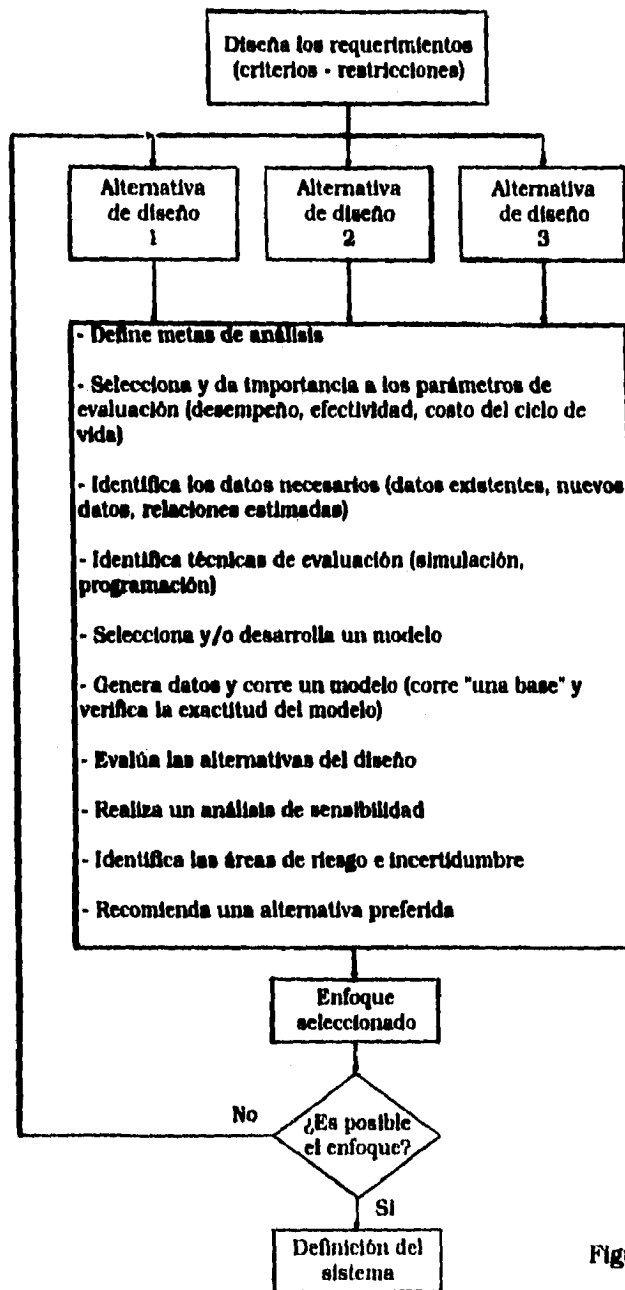


Figura 8

1. Definición de las metas de análisis. El paso inicial requiere el esclarecimiento de objetivos, la identificación de soluciones alternativas y una descripción del enfoque de análisis que es empleado.

2. Selección y peso de los parámetros de evaluación. Los criterios usados para evaluar pueden variar considerablemente dependiendo del problema y el sistema. Los parámetros importantes normalmente son efectividad de costo, desempeño y disponibilidad.

3. Identificación de las necesidades de datos. Al evaluar la configuración de un sistema, es necesario considerar los requerimientos operacionales, el concepto de mantenimiento, etc. Para satisfacer esto se requiere una diversidad de datos. Al principio, los datos disponibles son limitados, por lo que el ingeniero depende del uso de relaciones estimadas, proyecciones e intuición. Pero a medida que avanza el desarrollo del sistema, por medio del análisis los datos van siendo disponibles, y entonces se les puede usar como una entrada al estudio de evaluación.

4. Identificación de técnicas de evaluación. Al mismo tiempo que se determina el enfoque de análisis a usar, se especifican las técnicas que serán usadas para facilitar el proceso de solución del problema. Estas técnicas pueden ser la simulación

montecarlo para la predicción de eventos aleatorios río - abajo en el ciclo de vida, programación lineal para determinar requerimientos de transporte, uso de teoría de colas para determinar requerimientos de producción, etc.

5.- Selección y/o desarrollo de un modelo. A continuación mezclamos diversas técnicas analíticas en la forma de un modelo o una serie de modelos (por ejemplo, modelo de empaque del sistema, modelo de desempeño del sistema, modelo de requerimientos de personal). El modelo debe tener varias características: representar la dinámica de la configuración del sistema, destacar aquellos factores que son más relevantes para el sistema, que sea capaz de repetir los resultados, que sea simple en su estructura para así ser factible implementarlo, etc.

6. Generación de datos y aplicación de modelo. El siguiente paso es probar el modelo. Hay que ver que cumpla con los objetivos establecidos. Esta evaluación puede hacerse a través de la evaluación de una entidad conocida del sistema y la subsiguiente comparación del análisis con la experiencia histórica.

7. Evaluación de las alternativas de diseño. Cada alternativa debe evaluarse usando las técnicas y el modelo seleccionado. Los datos requeridos son recopilados de bases de datos existentes, predicciones actuales del diseño, etc. Los

resultados son entonces evaluados en términos de los requerimientos especificados inicialmente en el sistema.

8. Realización de un análisis de sensibilidad. Puede ser que haya parámetros claves del sistema de los cuales nos hallemos inseguros. Podemos preguntarnos cuanta sensibilidad tienen los resultados del análisis a las posibles variaciones de estos parámetros de entrada inciertos. Así pues, se realiza un análisis de sensibilidad para determinar las relaciones entre las decisiones del diseño y los resultados de salida.

9. Identificación de riesgo e incertidumbre. El evaluar el diseño conduce a decisiones que tiene un impacto significativo en el futuro. Por riesgo normalmente se entiende la disponibilidad de datos discretos en la forma de una distribución de probabilidad sobre un cierto parámetro. La incertidumbre implica una situación que puede ser probabilística por naturaleza, pero que no está sustentada en datos discretos.

10. Recomendación de un enfoque preferido. Al final se recomienda una de las alternativas de enfoque. Los resultados deben estar documentados y estar disponibles para todo aquel que este involucrado en el proyecto.

3.3.8. Prueba y Evaluación.

Conforme avanza el diseño del sistema, debemos tener un modo de medir y evaluar continuo. Entre más pronto sean detectados y corregidos los problemas, menores serán los costos.

La realización de un esfuerzo de evaluación, a través de pruebas de laboratorio y campo, con la involucración de una réplica física del sistema es muy costosa. En cambio, el uso de métodos analíticos, como las técnicas de simulación, economiza el trabajo relativo a la evaluación de sistemas.

a) Categorías de prueba.

B. Blanchard³⁹ nos habla de cinco categorías de prueba y evaluación, dependientes de la etapa del ciclo de vida en el que se realizan.

La primera es la categoría "*analítica*", referida a evaluaciones de diseño que pueden usarse tempranamente en el ciclo de vida del sistema, usando técnicas computarizadas como el Diseño Asistido por Computadora (CAD), la Manufactura Asistida por Computadora (CAM), y el Soporte Logístico Asistido por Computadora (CALs). Con estos es posible simular interfaces de equipo humano, planes

³⁹ *ibid*, p.80, 1.1

de empaque de equipo, secuencias de actividad / trabajos, y muchas actividades más.

La prueba "*tipo 1*" es la evaluación de los componentes del sistema en el laboratorio usando tableros de prueba y similares. Tal prueba normalmente es realizada en el laboratorio del productor.

La prueba "*tipo 2*" consiste en pruebas formales y demostraciones realizadas durante la etapa de desarrollo, cuando el equipo prototipo de pre-producción y el software están disponibles. En realidad, aquí la prueba consiste en una serie de pruebas individuales que incluyen calificación de ambiente, calificación de confiabilidad, demostración de mantenibilidad, compatibilidad del equipo de soporte, verificación de datos técnicos, prueba personal y compatibilidad de software.

La prueba "*tipo 3*" consiste en pruebas formales en lugares de pruebas de campo designadas por el personal usuario durante un periodo extenso de tiempo. Generalmente son las que se hacen antes de iniciar la producción del sistema. Esta es la primera vez que intervienen todos los elementos: equipo esencial, software, elementos de soporte. En esta prueba son empleados el personal operativo y el equipo de soporte. El sistema es evaluado en términos de desempeño, efectividad, compatibilidad entre elementos de soporte y elementos orientados a la misión del sistema, etc.

La prueba "tipo 4" es manejada durante el uso operacional del sistema. Incluye pruebas formales, realizadas para adquirir información específica con respecto a un área de operación o soporte, con el propósito de ver si la disponibilidad operacional del sistema puede ser mejorada. Se le realiza en un sitio operacional, en un ambiente realista, por el personal de mantenimiento y el usuario. Esta es la única prueba en la que realmente se conoce la capacidad del sistema.

b) Planeación de prueba.

La planeación de pruebas empieza desde la definición de requerimientos del sistema: tiene que haber una forma de evaluar el sistema posteriormente para asegurar el cumplimiento del requerimiento.

La planeación de prueba inicial se incluye ya en un plan maestro de prueba y evaluación (TEMP), publicado en la fase mencionada. Este documento incluye requerimientos de prueba y evaluación, las categorías de prueba, los requerimientos para la realización de pruebas, los recursos requeridos e información de planeación (trabajos, planes, responsabilidades organizacionales y costos).

c) Preparación para la evaluación y prueba del sistema.

Se requiere de un período de tiempo adecuado para preparar la prueba formal. Para asegurar resultados efectivos, debemos establecer condiciones adecuadas. Para facilitar un ambiente real, los siguientes factores deben considerarse:

1. Selección del ítem de prueba. El sistema probado debe incorporar los últimos cambios de ingeniería aprobados.

2. Selección del sitio de prueba. El sistema debe ser probado en un lugar que reproduzca las condiciones en las que operará en el mayor grado posible: clima ártico o zona montañosa, por mencionar casos extremos.

3. Procedimiento de prueba. Las secuencias de trabajo recomendadas deben seguirse para asegurar la operación adecuada del sistema.

4. Personal de prueba. Este puede ser, o bien aquel que operará y mantendrá el sistema durante la prueba, o bien aquel que proporciona asistencia en el manejo del programa de prueba global: ingenieros de soporte, técnicos, analistas y administradores.

5. Prueba y equipo de soporte. El mantenimiento del sistema puede requerir uso de manejo de equipo de prueba. Sólo estos ítems aprobados para operación deben usarse.

6. Apoyo de soporte. Esto incluye los repuestos, partes de reparación, consumibles e inventarios necesarios para concluir con la prueba y evaluación del sistema.

7. Instalaciones de prueba y recursos. Estas deben ser planeadas adecuadamente, pues el realizar la prueba del sistema puede requerir equipo, control ambiental, instrumentación especial y recursos tales como calor, agua, aire acondicionado y fuente de energía.

d) Desempeño y evaluación de la prueba.

Una vez que empieza la prueba y evaluación formales del sistema, empieza la recopilación y análisis de datos y la comparación de resultados con los requerimientos inicialmente especificados. Según B. Blanchard,⁴⁰ aquí surgen las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la efectividad verdadera del sistema?
2. ¿Cuál es el desempeño verdadero del sistema?
3. ¿Cuál es la efectividad verdadera de la capacidad de soporte del sistema?

⁴⁰ Ibid, p.85, 1.24

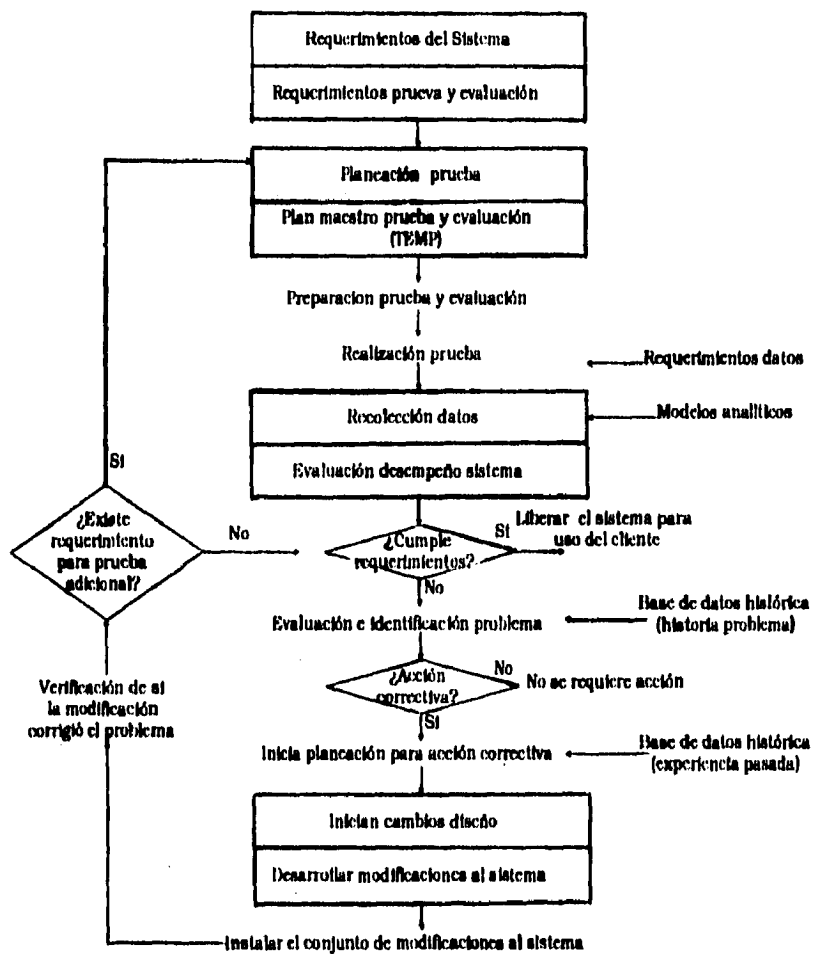


Figura 9

4. ¿El sistema cumple todos los requerimientos que son cubiertos a través de las medidas de desempeño técnico (TPMS) especificadas?

¿El sistema cumple todos los requerimientos del cliente?

El proceso asociado con esta prueba formal se ilustra en la figura 9.

El último paso en el esfuerzo de evaluación es la preparación de un reporte de prueba final.

e) **Modificaciones al sistema.**

La introducción de un cambio en cualquier componente del sistema muy probablemente afecte a los diversos componentes del sistema. Por ejemplo, un cambio de software puede afectar el hardware y datos técnicos. Entonces, cada cambio propuesto deber ser evaluado en términos de su impacto en los otros elementos del sistema antes de tomar la decisión de incorporarlo.

Si un cambio tiene que incorporarse, se deben implementar procedimientos de control como la consideración del tiempo cuando el cambio tiene que ser incorporado, el desarrollo y prueba de los conjuntos de modificaciones de cambio, la localidad geográfica

donde el conjunto de modificaciones será instalado y los requerimientos para la revisión del sistema y la verificación después de la incorporación del cambio. Por cada cambio incorporado debe desarrollarse un plan.

3.3.9. Producción y/o Construcción.

Existen retos que deben enfrentarse para asegurar que la configuración del sistema conserve sus características a medida que avanza a través de los procesos de producción o construcción. Aunque un sistema puede demostrar efectividad en la prueba formal, puede ser que las réplicas en serie de esa configuración no exhiban las mismas características. Esto puede deberse a variaciones de los diversos procesos de manufactura usados en la producción, o si la calidad de la mano de obra no se mantiene constante.

3.3.10. Uso Operacional del Sistema y Apoyo de Soporte.

Dentro de los objetivos de la Ingeniería de Sistemas no solo está la creación de un sistema con ciertas características, sino también su mantenimiento continuo: el degradamiento continuo del sistema no debería resultar de prácticas de mantenimiento y soporte inadecuados. Existen dos características que necesitan ser

mantenidas durante el ciclo de vida del sistema, con buenas prácticas de mantenimiento y soporte: 1) Segmentos esenciales orientados a la misión del sistema para la capacidad de soporte, y 2) diseño de mantenimiento y la capacidad misma de soporte del sistema. Mientras que la primera trata aquellas habilidades inherentes del sistema que son soportadas, la segunda cubre los recursos requeridos para asegurar un soporte del sistema.

3.3.11. Retiro y Deshecho del Sistema.

Existen requerimientos asociados al retiro del sistema y el deshecho adecuado de sus componentes. Los sistemas pueden llegar a ser costosos en la fase de salida del inventario, pues no todos sus componentes podrán ser reciclados.

Así pues, el programa debe contemplar en sus objetivos la fase de retiro y deshecho del sistema. Dentro de los criterios para análisis y decisiones de diseño iniciales debe contemplarse la "*capacidad de deshecho*".⁴¹

⁴¹ *Ibid*, p.89, 1.27

GLOSARIO

A continuación se ofrece un glosario de términos que, por motivos de espacio, no fueron definidos en el trabajo, pero que son importantes para el entendimiento de la Ingeniería de Sistemas.

Capacidad de producción.- Las características del diseño del sistema que se relacionan a la facilidad, exactitud y economía asociadas con la manufactura subsiguiente de los elementos del sistema en múltiples cantidades como se requiere. El objetivo es diseñar los productos que puedan ser producidos fácilmente en múltiples cantidades, usando los procesos convencionales de manufactura.

Confiabilidad.- Las características del diseño que se relacionan con la habilidad de un sistema para realizar en un período asignado de tiempo; la probabilidad de que un sistema se desempeñara de manera satisfactoria por un período dado de tiempo cuando se usa bajo condiciones específicas operantes.

Costo del ciclo de vida.- La combinación de todos los costos asociados con las actividades planeadas y/o realizadas durante el ciclo de vida del sistema. Esto incluye los costos de investigación y desarrollo, el diseño, la producción - construcción, el uso operacional, el mantenimiento y soporte y el retiro del sistema.

Desempeño.- Las características del diseño del sistema que se relacionan a estas medidas: requerimientos de entrada - salida, cantidad, capacidad, tamaño y peso, rango, exactitud, etc.; también se usa para cubrir todas las características técnicas de un sistema.

Diseño asistido por computadora (CAD).- El proceso de utilizar las capacidades computacionales y el software disponible para apoyar las actividades de diseño de la Ingeniería. El CAD tiende a ocuparse esencialmente de las gráficas tridimensionales, las distribuciones del tablero de circuitos, la realización de las diversas categorías de análisis y lo similar.

Efectividad.- Una medida del sistema en términos de sus características técnicas. Esta medida, o figura de mérito, que variará dependiendo del tipo de sistema y su misión, puede derivarse de una combinación de factores de desempeño, peso y tamaño, capacidad, confiabilidad, mantenibilidad, etc.

Efectividad de costos.- La medida de un sistema en términos de sus características técnicas y ciclo de vida. Las características técnicas pueden incluir una combinación de desempeño, capacidad, rango, calidad y los parámetros relacionados. El costo del ciclo de vida puede incluir todos los futuros costos asociados con la investigación, diseño y desarrollo, la

producción y/o construcción, distribución, etc. Estas características pueden combinarse de alguna manera para proporcionar una medida de efectividad.

Ingeniería asistida por computadora (CAE).- El proceso de utilizar las capacidades computacionales y el software para las actividades del diseño de la ingeniería. El CAE tiende a ocuparse esencialmente de los análisis de la ingeniería y la actividad de diseño en el nivel más bajo, similar a las funciones del CAD.

Logística.- El arte y ciencia de administración, ingeniería y actividades técnicas concernientes a los requerimientos, diseño y recursos de apoyo y mantenimiento para objetivos de soporte, planes y operaciones; también puede verse como la disciplina que involucra la distribución del sistema así como de apoyo de soporte.

Mantenibilidad.- Las características del diseño que se ocupan de la facilidad, exactitud, seguridad y de la economía en el desempeño de las acciones de mantenimiento. Las medidas asociadas más comúnmente con la mantenibilidad son los tiempos transcurridos de mantenimiento, los factores de frecuencia de mantenimiento, los factores de hora de labor del personal de mantenimiento y el costo de mantenimiento. Cuando se trata solamente el tiempo transcurrido de mantenimiento, la mantenibilidad puede definirse como la probabilidad de que un sistema sea mantenido o restaurado a una condición operante

satisfactoria, cuando se realiza el mantenimiento por el personal con los adiestramientos especificados, usando los procedimientos y recursos aprobados, en cada nivel designado de mantenimiento.

Manufactura asistida por computadora (CAM).- El proceso de utilizar las capacidades computacionales, el software disponible, el equipo de control numérico, la robótica y los recursos relacionados para manufactura y producción a través de medios automatizados. El CAM tiende a ocuparse de la planeación del proceso de producción, el manejo de materiales, la manufactura, el control de inventario y la administración de la producción.

Manufactura integrada por computadora (CIM).- El proceso de utilizar las capacidades computacionales y el software disponible para manufacturar productos vía medios automatizados. El CIM se usa de manera similar al CAM, salvo que el CIM tiende a enfatizar el uso de microcomputadoras y una base de datos común.

Modelo.- Es una representación o abstracción de la realidad; muestra las relaciones entre objetivos y restricciones. Cuando un problema no puede resolverse directamente debido a su magnitud, complejidad o estructura, frecuentemente se le representa con un modelo, intentando encontrarle una solución aproximada.

Un modelo no puede representar todos los aspectos de la realidad: únicamente es una aproximación a esta. Sin embargo, para ser representativo, debe retener todos los hechos significativos.

Para mostrar su eficacia, no existe otro método que probarlo repetidamente con datos aceptados.)

Existen diversos criterios para clasificar un modelo. Según el grado de abstracción se dividen en:

Físico o icónico.- Son imágenes a escala del sistema cuyo problema se quiere resolver. Por ejemplo, una planta piloto es un modelo icónico a pequeña escala de una fábrica de tamaño natural.

Gráfico o esquemático.- Son representaciones gráficas del sistema. Las gráficas de fluctuaciones de precios, los diagramas de barras, los diagramas de bloques, las redes, son ejemplos de este modelo.

Analógico.- Es aquel en el que el conjunto de propiedades se representa por medio de otro conjunto de propiedades. Por ejemplo, un mapa que representa diversos climas mediante varios colores.

Matemático.- Es aquel que representa una situación con ecuaciones matemáticas. Es fácil de manejar, el efecto de las

variables interactuantes se aprecia claramente, y es el más preciso de los modelos. En general, su proceso se completa en dos pasos:

1. Desarrollamos el modelo matemático del problema, relacionando variables, parámetros y constantes seleccionadas.

2. De acuerdo al tipo de modelo aplicamos una técnica apropiada de optimización para identificar la estrategia óptima.

Según las características de proceder, se dividen en:

Estático.- No considera el impacto de los cambios; es independiente del tiempo.

Dinámico.- Admite el impacto de los cambios; considera al tiempo como una variable.

Según el grado de certidumbre, se dividen en:

Determinista.- Asume condiciones de certidumbre completa; cada decisión o estrategia resulta en una consecuencia conocida. Por ejemplo, un modelo de programación lineal.

Probabilístico.- Corresponde a situaciones que no pueden predecir con certidumbre. Por ejemplo, un modelo de simulación.

Soporte logístico integrado (ILS).- Una función de administración que proporciona la planeación inicial, los recursos y el control que ayuda a asegurar que el cliente recibirá un sistema que no sólo cumplirá los requerimientos de desempeño, sino también uno que pueda ser soportado económicamente a lo largo de su ciclo de vida programado. Los elementos básicos del programa incluyen la programación inicial para el soporte logístico, el diseño para la capacidad de soporte y la valoración de la capacidad de soporte del sistema en esta área.

Soporte logístico asistido por computadora (CALS).- La aplicación de la tecnología computarizada del software para el espectro entero de la logística. Éste incluye el uso de métodos - herramientas computacionales en el diseño para la capacidad de soporte del sistema, en el desarrollo de los datos de análisis de soporte logístico para determinar los requerimientos de recursos logísticos en el abasto y creación de los elementos identificados del soporte (por ejemplo, partes de repuesto - reparación, equipo de prueba y soporte) y la valoración de la capacidad de soporte del sistema en el ambiente del usuario. El CALS también incluye el desarrollo automático de los manuales técnicos y procesamiento de los datos del diseño usando un formato digital de datos.

CONCLUSIÓN

Al término de nuestro trabajo sentimos que nuestra comprensión sobre la materia de los sistemas ha crecido considerablemente. Ahora vemos que un sistema no es sólo una abstracción, sino también un concepto que tiene importantísima aplicación en diversas áreas, entre estas la Ingeniería de Sistemas.

Hemos visto que el enfoque de sistemas es una forma de atacar los problemas viéndolos como un todo, lo que no siempre hacíamos; nos olvidábamos de que existen aspectos de un problema que sólo pueden verse si consideramos el problema cabal. Este enfoque es la base de la Ingeniería de Sistemas, y ha probado su utilidad en todos los problemas que esta última ha resuelto.

Otro aspecto igualmente importante que hemos visto que la Ingeniería de Sistemas no es una "*ingeniería de todo*", pues aquí ha quedado claro lo que por "*sistema*" se entiende en Ingeniería de Sistemas. Por otro lado, también se explicó que el Ingeniero de Sistemas es un especialista, como cualquier otro Ingeniero.

Esperamos haber logrado el objetivo de hacer ver que el Ingeniero de Sistemas en realidad no diseña y/o desarrolla un sistema, sino más bien diseña la configuración que este tendrá. No

hay que olvidar que en el diseño de un sistema intervienen de hecho individuos de todas las disciplinas.

Especial hincapié se hizo en el proceso de la Ingeniería de Sistemas, o ciclo de vida del sistema. Todos los pasos son igualmente importantes, y con uno solo que no se considere adecuadamente, el proceso quedará trunco, con lo que no se logrará el objetivo deseado.

Para finalizar, diremos que el futuro de la Ingeniería de Sistemas es muy promisorio: el gran avance tecnológico ha hecho que los sistemas cada vez sean más complejos, por lo que cada día serán más difíciles de manejar; estos sistemas engendrarán subsistemas, y el Ingeniero de Sistemas será cada vez más solicitado. Además, la investigación de operaciones, la ingeniería industrial, la estadística, y la computación (hardware y software) cada vez se desarrollan más, con lo que la labor del Ingeniero de Sistemas cada vez tendrá más herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

ARBONES, Eduardo

"Ingeniería de Sistemas"

Marcombo Boixareu, Barcelona, España, 1991

BERTALANFFY, Ludwig Von

"Teoría General de los Sistemas"

Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 1976

BLANCHARD, Benjamín

"Administración de Ingeniería de Sistemas"

Limusa, México, D. F., 1993

CÁRDENAS, Miguel Ángel

"La Ingeniería de Sistemas, Filosofía y Técnicas"

Limusa, México, D. F., 1974

CHECKLAND, Peter

"Pensamiento de Sistemas, Práctica de Sistemas"

Limusa, México, D. F., 1993

JOHANSEN, Oscar

"Introducción a la Teoría General de Sistemas"

Limusa, México, D. F., 1982

KLIR, George J.

"Facets of Systems Science"

Plenum Press, Nueva York, E. U., 1991

OPTNER, Stanford L.

"Análisis de Sistemas"

Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 1978

THOMÉ, Bernard.

**"Systems Engineering: Principles & Practice of Computer-based
Systems Engineering"**

Baffins Lane, West Sussex, Gran Bretaña, 1993

VOLTES BOU, Pedro.

"Teoría General de Sistemas"

Hispano Europea, Barcelona, España, 1978

WILSON, Brian.

"Sistemas: Conceptos, Metodologías, Aplicaciones"

Limusa, México, D. F., 1993