

# **Capítulo 1**

---

## **Introducción a la Teoría de Sistemas**

## Capítulo 1

# Introducción a la Teoría de Sistemas

Los objetivos de este capítulo son:

- Conocer todos los conceptos relacionados a la Teoría de Sistemas.
- Reconocer la importancia de la Teoría General de Sistemas dentro del desarrollo de la Ingeniería de Sistemas.
- Aplicar estos conceptos en ejemplos simples.

### 1.1 Introducción a los Sistemas

Uno de los conceptos más importantes de hoy en día es el de **sistemas**. Esta palabra la utilizan muchas personas y muchas veces, no estamos claros en qué es lo que significa. Una computadora, un avión, un ser humano, un automóvil, son ejemplos de sistemas, cada uno de ellos con objetivos y metas diferentes.

Los sistemas están definidos en todas partes del universo, es decir, son *ubicuos*<sup>1</sup>. El sistema más grande es el universo y el más pequeño es el átomo. Todos los sistemas del universo tienen un nivel de organización y de jerarquía; unos se encuentran dentro de otros creando árboles de sistemas. Por ejemplo, el ser humano es un sistema y dentro de él encontramos otra serie de subsistemas: el sistema circulatorio, el sistema digestivo, el sistema respiratorio, entre otros.

Los sistemas aparecen primero en forma natural, pero con la aparición del hombre, una variedad de sistemas hechos por él comienza a existir. El ser humano vive y trabaja dentro de los sistemas. Su tecnología ha producido sistemas físicos complejos. A pesar de todos los avances, todavía la ciencia de los sistemas está en evolución. Sólo recientemente comenzamos a entender la **estructura** fundamental y las características de los sistemas naturales y de aquellos diseñados y producidos por el ser humano en un sentido científico. Puede definirse como estructura de un sistema a la relación entre sí de sus partes o entidades, donde estas relaciones pueden ser de espacio, tiempo, jerarquía y propiedades físicas / lógicas o de toma de decisiones.

Un sistema puede incluir tanto a personas como maquinarias, así como otros elementos ya sean estos físicos o abstractos. Los sistemas sociales que representan interacción entre personas incluyen la familia, empresas de negocios, economía nacional y las relaciones internacionales. Algunos de nuestros más importantes sistemas incluyen la interacción entre los elementos físicos y sociales. La tecnología moderna está rodeada por sistemas físicos, socio-económicos, organizacionales, de comunicación y muchos

---

<sup>1</sup> Están en todas partes.

otros.

Las leyes que gobiernan la forma en que los sistemas cambian, crecen y fluctúan tratan de explicar a través de la matemática de ecuaciones diferenciales y transformaciones de Laplace. Tal matemática es difícil, ya que es accesible solamente a expertos matemáticos. Aun aplicando todo el esquema del conocimiento matemático a la teoría de sistemas, la Matemática resulta débil al ser confrontada con preguntas importantes sobre los sistemas, ya que ésta es inadecuada para tratar con la realidad de muchos de los problemas del mundo. Por tales motivos, surge un nuevo enfoque matemático *discreto* que permite entender más fácilmente los conceptos básicos de los sistemas. La tarea principal de este libro es presentar este nuevo enfoque discreto y dinámico para analizar y diseñar sistemas.

Otros ejemplos de sistemas son:

- Un reloj que marca la hora.
- Una podadora es un conjunto de partes que forman un sistema para cortar el césped.
- Un gobernador de gasolina y un motor al que éste es acoplado forman un sistema para proporcionar potencia a una velocidad constante que debe mantener el motor.

## 1.2 Definición de Sistemas

El término "sistema" proviene de la palabra griega "systema", que significa *un todo organizado*. Algunas de las variadas formas sencillas de definir un sistema son:

1. Combinación de elementos o partes que forman un ente complejo o una unidad buscando un objetivo.
2. Conjunto de componentes y eventos relacionados que interactúan unos con otros para ejecutar una tarea.

Se puede apreciar que en estas definiciones los aspectos primordiales son conjuntos de elementos, relaciones, comunicación y objetivo común. Luego de este breve estudio sobre el significado de la palabra **sistemas**, aceptaremos como la definición más completa la siguiente:

**"Una colección de entidades<sup>1</sup> (hombres, máquinas, facilidades, energía, materiales, órdenes, dinero, información, etc.) debidamente estructuradas, integradas y coordinadas para alcanzar una meta común y unidas a través de una red de comunicación".**

A continuación, se mencionan algunos ejemplos:

- Sistemas fluviales (ríos con sus afluentes).
- Sistemas de transporte (urbano y de ferrocarril).
- Principios o doctrinas en un campo particular del pensamiento.
- Sistema capitalista o socialista.
- Una compañía de negocios.
- Sistemas de producción.
- Sistemas de mercadeo.
- Sistemas de numeración o medición.



**Sistema de Transporte**

### 1.3 Componentes de un Sistema

Los sistemas están compuestos de los siguientes componentes o elementos importantes:

<b>Entidades:</b>	Son los componentes o partes operativas únicas del sistema. Cada componente del sistema puede asumir una variedad de valores para describir el estado del sistema como conjunto por la acción de control y una o más restricciones. También se les conoce como <i>objetos</i> .
<b>Atributos:</b>	Son las propiedades, características o manifestaciones apreciables de las entidades del sistema. Un atributo puede pertenecer a una o más entidades.
<b>Relaciones:</b>	Son los enlaces o vínculos entre entidades del sistema. En otras palabras, son asociaciones de dos o más entidades.
<b>Actividades</b>	Acciones que ejecuta internamente el sistema. También se les conoce como actividades endógenas o funciones.
<b>Frontera:</b>	Límite del sistema.
<b>Medio Ambiente:</b>	Todo lo externo al sistema. Las actividades que se llevan a cabo en el medio ambiente se le conocen como actividades exógenas. En el medio ambiente pueden existir $n$ número de sistemas que se pueden comunicar con el sistema en cuestión.
<b>Estado:</b>	Es la descripción de las condiciones que prevalecen en <i>un momento dado</i> en los diferentes componentes de un sistema.
<b>Unidad de Tiempo:</b>	Se utiliza como medida del funcionamiento del sistema, se aplica globalmente y a través de toda la ejecución del sistema.
<b>Cambios:</b>	Los cambios son los pasos de un estado hacia otro estado y pueden ser: <b>Reactivos:</b> Una reacción es un evento causado determinísticamente por otro evento. <b>De respuesta:</b> Es cuando un evento puede crear una causa, la cual no es suficiente para provocar un efecto. <b>Autónomos:</b> Son eventos determinados por sí mismos, los cuales no necesitan un evento predecesor.

En la figura 1.1 se presentan los elementos de un sistema. Existen otros elementos que se deben considerar, pero se presentaron sólo los más importantes.

### 1.4 Propiedades de los Sistemas

Los sistemas poseen una serie de propiedades que rigen su estructura y comportamiento. A continuación, se presentan cuatro de las más importantes:

1. Las propiedades y comportamientos de cada componente del conjunto tienen un efecto vital sobre las propiedades y comportamiento del conjunto como un todo.
2. Las propiedades y comportamientos de cada componente dependen de las propiedades y comportamientos de por lo menos un componente del conjunto.

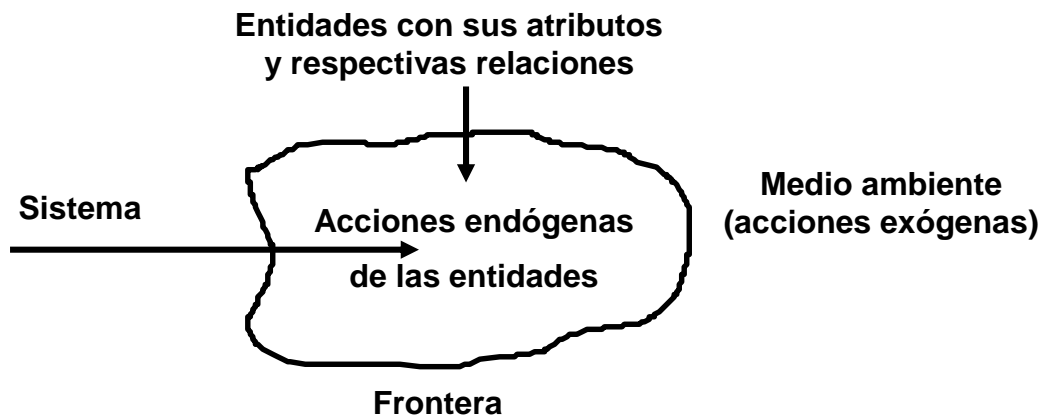


Figura 1.1: Elementos de un Sistema

3. Cada posible subconjunto de componentes tiene las dos propiedades anteriores; los componentes no pueden dividirse en subconjuntos independientes.
4. Las propiedades dadas aseguran que un conjunto de componentes, comprenden un sistema siempre que tengan algunas características o comportamiento patrón que no puede ser mostrado por cualquier subconjunto.

### 1.5 Algunas Clasificaciones de los Sistemas

Los sistemas se pueden clasificar tomando en cuenta:

- **Tamaño:** Poseen una cantidad pequeña, considerable o excesiva de componentes.
- **Complejidad:** Diversidad que va desde fácil de entender hasta los de un nivel muy variado.
- **Nivel de automatización:** Manual, semiautomático y automático.

- **Nivel de Entendimiento<sup>2</sup>:**

- **Determinístico:** Comprendemos totalmente el comportamiento del sistema.
- **Estocástico:** No determinístico, no comprendemos perfectamente el sistema, es decir, que el comportamiento del sistema puede variar con base a ciertos rangos de probabilidad.
- **Discretos:** Un sistema discreto abarca una o más variables que son conocidas sólo en instantes separados o puntuales en el tiempo.
- **Continuos:** El valor del sistema, está representado mediante variables las cuales son función de un tiempo continuo y que determinan los cambios en su comportamiento.

A continuación, se presentan algunas de las clasificaciones más comunes:

### 1.5.1 Sistemas Naturales versus Sistemas Hechos por el Hombre

Los sistemas naturales son aquellos cuya existencia se da a través de procesos naturales y su descripción es la tarea del astrónomo, físico, biólogo, psicólogo o sociólogo, entre otros. Los sistemas naturales son muy abundantes en la naturaleza y cada organismo viviente es un sistema natural único y propio. **Ejemplos:** Organismo humano, sistema solar, flora, fauna, cuenca hidrográfica, sistema fluvial, fotosíntesis, entre otros.



Los sistemas hechos por el hombre son aquellos que han sido desarrollados por seres humanos, resultado de una gran variedad de habilidades; se formaron cuando los hombres se reunieron por primera vez en grupos para vivir y cazar juntos. **Ejemplos:** Caminos, carretas, hospitales, fábricas, sistemas de contabilidad, automóvil, computadora y muchos otros sistemas.



**Sistemas hechos por el hombre**

### 1.5.2 Sistemas Estáticos versus Sistemas Dinámicos



Un sistema estático es aquel que posee una estructura sin movilidad (casi sin) o actividad interna. **Ejemplos:** Una estatua, una silla, una pared, una mesa, etc.

Un sistema dinámico combina componentes estructurales con actividad.

**Ejemplos:** Automóvil, trasbordador espacial, avión, una ciudad con todos sus elementos, sistema de drenaje, sistema circulatorio, el planeta tierra.

Otra forma más avanzada de ver esta clasificación es desde el punto de vista de

<sup>2</sup> Puede existir una categorización intermedia.

aprendizaje del sistema. Esto quiere decir que un sistema estático no aprende de sus acciones pasadas y un sistema dinámico aprende de sus acciones pasadas (realimentación) y reacciona con base a lo que aprende<sup>3</sup>. La diferencia básica entre un sistema estático y un sistema dinámico es que el segundo utiliza las actividades pasadas para planificar o mejorar las actividades del futuro, es decir, que se realimenta. La filosofía de los sistemas dinámicos cree que el comportamiento a través del tiempo de una organización es causado principalmente por la estructura de dicha organización (aspectos físicos y aspectos intangibles). La tendencia humana es analizar y diseñar los sistemas en forma estática y debido a ello los sistemas tienden a no ajustarse a los cambios a través del tiempo y tienden a desaparecer, ya que no han aprendido del pasado, y es por ello que el análisis debe ser enfocado en función de sistemas dinámicos.

Esta clasificación es el núcleo de este nuevo enfoque y el motivo principal de este libro. En las secciones 1.7.2 y 1.7.3 se presenta este enfoque con un poco más de detalle.

### 1.5.3 Sistemas Adaptables versus Sistemas No Adaptables

Un sistema adaptable reacciona al medio ambiente, en forma tal, que pueda auto ajustarse o auto modificarse de acuerdo con las reacciones impredecibles del medio ambiente, para poder cumplir con su(s) metas(s).

Además de ajustarse a los cambios ambientales, también lo hace ante errores moderados del proyecto de ingeniería o incertidumbres y compensa la eventual falla de componentes menores del sistema, aumentando, por tanto, la confiabilidad de todo el sistema. **Ejemplos:** El hombre, las plantas, los animales, el camaleón (todos hasta cierto punto, esto quiere decir, dentro de un rango).



En un sistema no adaptable un cambio significativo en el ambiente no permite que el sistema se ajuste a él y lo puede llevar a que, a corto o largo plazo, no sobreviva. **Ejemplos:** Peces fuera del agua, edificio no diseñado a prueba de terremotos, un reloj que ha sido golpeado severamente y deja de funcionar.

### 1.5.4 Sistemas Manuales versus Sistemas Automáticos

En un sistema manual, las acciones requieren de la intervención humana.

**Ejemplos:** Orfebrería, agricultura primitiva, organizaciones de negocios, partidos políticos, etc.

<sup>3</sup> Esto crea una diferencia entre *dinámica simple* y *dinámica compleja*. Ver sección 1.7

En realidad, no existen sistemas automáticos porque la mayoría de los sistemas son semiautomáticos, donde la máquina lleva a cabo acciones que son controladas por el hombre. Indiscutiblemente que, a través del tiempo, las máquinas ejecutarán más tareas que el hombre.

**Ejemplos:** El operador y la consola de la computadora, brazo mecánico, microfilmación, ensamblaje de automóviles, el perro Aibo de la Sony que reconoce al amo y aprende de la interacción con su dueño, entre otros.



### 1.5.5 Sistemas Abiertos versus Sistemas Cerrados

Un sistema abierto es aquel que se comunica con su medio ambiente o entorno a través de su frontera. Esto quiere decir que las actividades exógenas (externas al sistema) actúan sobre las actividades endógenas (internas) del sistema y viceversa, lo que significa que el sistema cuenta con un mecanismo de acoplamiento con su entorno.

**Ejemplos:** Un ciudadano dentro de la sociedad, alimento perdurable sin envoltura, termostato del acondicionador de aire.

Un sistema cerrado no se comunica con su medio ambiente, o sea que la frontera del sistema impide que las actividades endógenas interactúen con las actividades exógenas.

**Ejemplos:** Un reloj de pulsera, alimento perdurable debidamente sellado.

### 1.5.6 Sistemas Físicos y Conceptuales

Los sistemas físicos son aquellos gobernados por componentes reales que ocupan un espacio. Por otra parte, los sistemas conceptuales conforman una organización de ideas, un conjunto de especificaciones y planes, una serie de conceptos abstractos.

**Ejemplos:** Una persona constituye un sistema físico, las leyes que rigen un país, un sistema conceptual, o sea, la forma como se guardan los datos dentro de un disco magnético de una computadora.

## 1.6 Sistemas de Ciclo Abierto y de Ciclo Cerrado<sup>4</sup>

Los sistemas también pueden clasificarse como sistemas de "**ciclo abierto**" o sistemas de "**ciclo cerrado**" (también conocido como de **realimentación o sistema dinámico**)<sup>5</sup>.

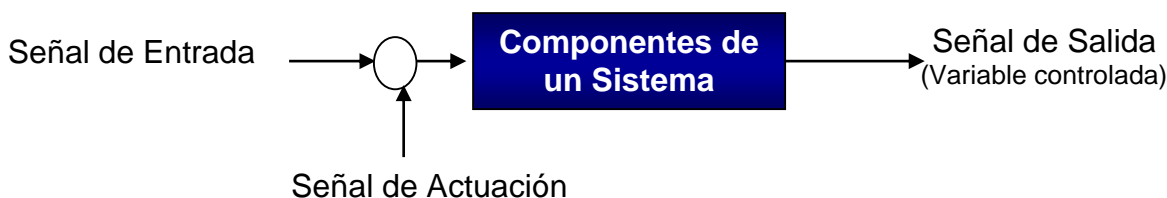
Un sistema de ciclo abierto está caracterizado por salidas que responden a entradas, pero donde las salidas están aisladas y no tienen influencia en las entradas. Por lo tanto,

<sup>4</sup> Nótese que existe una diferencia entre *sistemas abiertos* y *sistemas de ciclo abierto*.

<sup>5</sup> Debido a la importancia de esta clasificación, se ha colocado como un punto aparte en este capítulo.

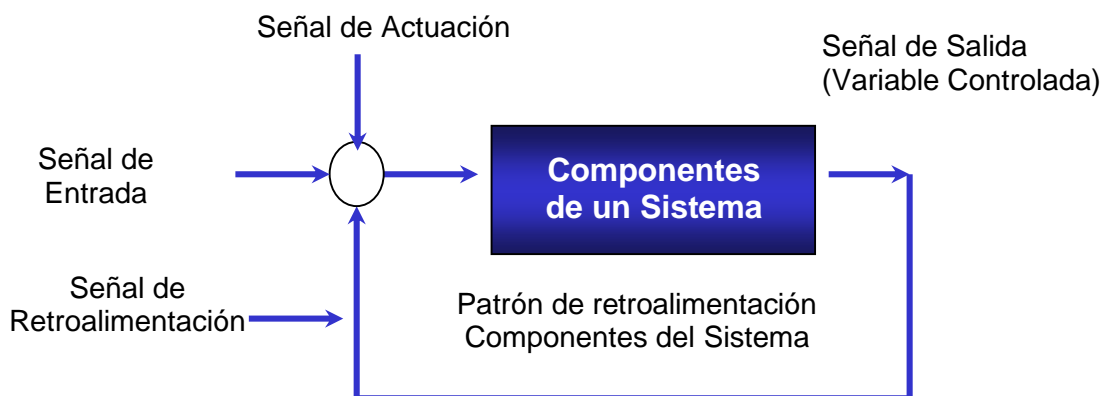


el sistema no está al tanto de su rendimiento. En un sistema de ciclo abierto, la acción pasada no controla la acción futura. Un sistema de ciclo abierto no observa y reacciona a su rendimiento. Un automóvil es un sistema de ciclo abierto ya que no se controla a sí mismo, no sabe dónde estuvo en el pasado ni a dónde irá en el futuro. Un reloj, controlado por sí mismo, no advierte su propia inexactitud ni se ajusta por sí sólo, por eso es un sistema de ciclo abierto.



**Figura 1.2: Sistema de Ciclo Abierto**

Otro ejemplo práctico lo constituye una lavadora de ropa doméstica. El remojo, lavado y enjuague en la lavadora se cumplen por tiempos. La máquina no mide la señal de salida, es decir, la limpieza de la ropa. El control de tráfico con señales accionadas en función de tiempos, es otro caso de control de ciclo abierto.



**Figura 1.3: Sistema de Ciclo Cerrado**

Un sistema de ciclo cerrado, el cual muchas veces es llamado sistema de realimentación<sup>6</sup>, es influenciado por su comportamiento de ciclo cerrado. Un sistema de realimentación trae resultados de una acción pasada que afectarán a las acciones futuras del sistema (véase la figura 1.3).

Por ejemplo, un control de temperatura del ambiente de una habitación: midiendo la temperatura efectiva de la habitación y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato conecta o desconecta los equipos de calefacción o refrigeración, de modo que la habitación se mantiene a una temperatura confortable,

<sup>6</sup> O retroalimentación.

independientemente de las condiciones del exterior e interior.

En el cuerpo humano también observamos que la temperatura y la presión se mantienen en valores constantes por medio de una realimentación fisiológica. De hecho, la realimentación cumple una función vital: hace al cuerpo humano relativamente insensible a perturbaciones externas, permitiéndole desenvolverse adecuadamente en un medio ambiente cambiante.

Un sistema de realimentación controla la acción basado en los resultados de acciones previas. Existen dos tipos de realimentación: la positiva y la negativa. La realimentación positiva refuerza la dirección en la cual el sistema se está moviendo.

La realimentación que pretende el ajuste, amortiguamiento y reducir las fluctuaciones alrededor del estándar deseado del comportamiento del sistema una vez que se detecta la no-consecución de las metas del sistema, se denomina realimentación negativa.

### **1.6.1 Ejemplo de un Sistema de Realimentación Negativa**

El sistema de calefacción de una casa se controla por un termostato el cual responde al calor previamente producido por el horno. El calor producido por el sistema busca como meta llegar a la temperatura deseada.

Un reloj y su dueño forman un sistema de realimentación negativo cuando el reloj se compara con el tiempo correcto como una meta, y se ajusta para eliminar errores.

### **1.6.2 Ejemplo de un Sistema de Realimentación Positiva**

Las bacterias se multiplican para producir más bacterias las cuales incrementan la rata en que las nuevas bacterias son generadas. En este sistema de realimentación positivo, la rata de generación de nuevas bacterias depende de las bacterias acumuladas con el crecimiento de bacterias.

Este tema es tratado con mayor amplitud en los capítulos 2 y 5 de este libro, ya que es el tema central de la teoría de sistemas dinámicos.

## **1.7 Clasificación de los Sistemas con base a su Complejidad**

Kenneth Boulding propuso la siguiente clasificación con base a la complejidad que exhiben los sistemas. Esta clasificación es muy importante ya que nos permite entender la jerarquía de los sistemas. El orden de los diez (10) niveles es de menor a mayor complejidad<sup>7</sup>:

### **1.7.1 Estructura Estática**

Este nivel forma la geografía básica del universo. Posee una serie de sistemas que se han mantenido iguales a través de millones de años. A la fecha este nivel todavía no se

---

<sup>7</sup> El noveno nivel lo introduce el autor.

comprende totalmente y los científicos tratan de presentar una explicación a todos sus fenómenos.

### 1.7.2 Sistemas Dinámicos Simples

Este nivel encierra una serie de disciplinas desde el enfoque de sistemas dinámicos, tal como lo definimos en la sección 1.5.2, hasta el ángulo de movilidad, acción.

### 1.7.3 Sistemas Dinámicos Complejos<sup>8</sup>

Este nivel recoge todos los sistemas desde el otro ángulo, definido en la sección 1.5.2, desde el ángulo de realimentación o sistemas de ciclo cerrado. El sistema aprende de sus acciones pasadas, es decir, que posee un mecanismo de control.

### 1.7.4 Célula

Este nivel es el primero que caracteriza la *vida* como ingrediente trascendental en la complejidad de los sistemas.



### 1.7.5 Flora

Este nivel recoge todo lo concerniente a la botánica del universo. Las células forman sociedades de células con componentes diferenciados, pero mutuamente dependientes.



### 1.7.6 Fauna

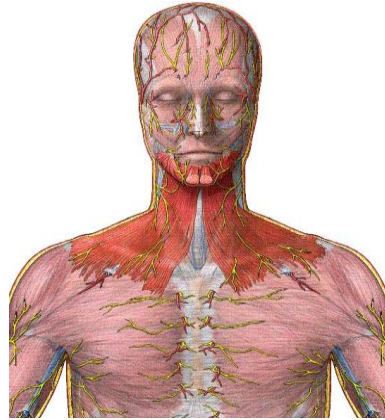
Aquí se encuentran todos los animales del planeta. Se desarrollan dispositivos de entrada, entrada-salida y salida como los sentidos. También se desarrollan sistemas nerviosos conectados a cerebros que organizan información.



### 1.7.7 Ser Humano

<sup>8</sup> En la sección 1.5.2 se menciona que los sistemas dinámicos poseen dos niveles de complejidad.

Este nivel recoge el nivel de inteligencia humana. En este nivel también incluimos toda la fauna y la flora; esto quiere decir que este nivel representa vida en todos los niveles.



### 1.7.8 Sociedad

Este nivel tiene que ver con los seres humanos como grupo. Recoge todo lo concerniente a la teoría de comunicación, comportamiento grupal, principios, ética, cultura, emociones y el conocimiento humano.



### 1.7.9 Inteligencia Artificial

Este nivel recoge todos los sistemas hechos por el hombre que poseen una semejanza con la inteligencia humana. Algunas de las disciplinas dentro de la inteligencia artificial son lenguaje natural, reconocimiento de imágenes, sistemas basados en el conocimiento, robótica, sistemas expertos etc.



### 1.7.10 Desconocido

Este nivel recoge todo lo que a la fecha se desconoce. Los niveles, tal como podemos apreciar, se rigen por una serie de principios físicos, químicos y biológicos. A partir del nivel célula, comienza a presentarse el concepto de vida y a partir del nivel de planta comienzan a surgir diferentes niveles de inteligencia.

## 1.8 Ingeniería de Sistemas

La Ingeniería de Sistemas analiza, diseña, construye, examina, opera, controla y evalúa sistemas que se usan para representar y resolver problemas y procesos en áreas industriales, de desarrollo, de administración, relaciones humanas entre otros con el propósito de que sean más eficientes<sup>9</sup>. Como disciplina, recoge una serie de principios

<sup>9</sup> La Ingeniería de Sistemas cuenta hoy con el “Systems Engineering Body of Knowledge”.

científicos y de tecnologías que puedan mejorar el desempeño de los sistemas. Podríamos decir que básicamente es una ingeniería de enlace entre las demás disciplinas para permitir el adecuado enfoque de los sistemas. Se basa en un conocimiento formal de las interacciones entre las partes de un sistema. Ella considera el contenido de nuevos conocimientos, luego planea y participa en la acción de los nuevos proyectos y en el programa completo de los proyectos encaminados a las aplicaciones. Tiene en cuenta las necesidades de los consumidores y determina la forma de satisfacerlas, con la ayuda de todos los conocimientos, ya sean anteriores o recientes. Por lo tanto, la ingeniería de sistemas actúa en el espacio comprendido entre la investigación y las operaciones mercantiles. Ingeniería porque su énfasis está en las operaciones de conceptos cuantitativos o problemas concretos, mientras que la palabra “sistema” describe su tendencia a analizar problemas desde su punto global.

La Ingeniería de Sistemas es un arte porque a veces no existen procedimientos sistemáticos que determinen exactamente donde trazarse la frontera entre el sistema y su ambiente, cuáles tienen que ser los componentes del sistema, o cuál debe ser el objetivo del sistema. Es una ciencia porque posee sus propios axiomas y métodos cuantitativos, investigación de operaciones y usa técnicas y conceptos matemáticos como la estadística, probabilidad, etc.

La Ingeniería de Sistemas es una especialidad y una generalidad, pues cada vez que se resuelve un problema, se aprende algo de una nueva disciplina o profesión. Ha tenido un éxito comprobado en una gran variedad de disciplinas, sobre todo, en el análisis de sistemas a gran escala, tales como transporte, planeación urbana, administración, contabilidad, educación, computación, ingeniería espacial, etc.

La metodología de sistemas se puede conceptualizar utilizando una serie de etapas conocidas como el ciclo básico de un sistema. Las etapas representan la evolución del sistema desde su planeación inicial, hasta su implementación.

Las intercomunicaciones, la compatibilidad, el efecto del uno sobre el otro, los objetivos del todo, la relación del sistema con los usuarios, y la factibilidad económica debe recibir aún más atención que las partes, así el resultado final podrá ser exitoso.

**Ejemplo:** Un sistema telefónico no es solamente cables, amplificadores, postes de luz y aparato telefónico considerados individualmente. Estas 4 partes se encuentran interconectadas y coordinadas con el fin de brindar un servicio de comunicación al público usuario.

Algunos de los beneficios de esta ingeniería son:

- La tendencia a cuantificar. Una de las contribuciones más importantes de la Ingeniería en Sistemas de hoy en día es la tendencia a cuantificar el valor de las alternativas, componentes o soluciones del proyecto. El uso ya mencionado de modelos matemáticos en éste, obliga al analista a comparar alternativas bajo un criterio o medidas de valor común.
- La tendencia a resolver problemas a gran escala. Se da resolución a problemas

que constan de muchos componentes, frecuentemente difíciles de identificar y altamente interconectados.

- La oportunidad de analizar y diseñar tomando en cuenta todos los componentes existentes y entendiendo claramente sus interrelaciones, actividades, etc.

Cuando ha sido necesario obtener resultados numéricos en estos estudios, la computadora se convirtió en el arma principal del ingeniero en sistemas. Esto no significa que se debe utilizar la computadora en todas las aplicaciones de ingeniería de sistemas. En todos aquellos casos en los cuales el uso de la misma se haga necesario, desde un punto de vista técnico, se deberá estudiar el problema más a fondo para determinar, si el valor de los resultados numéricos justifica el costo de utilizar la computadora.

### **1.9 Objetivos de la Ingeniería de Sistemas**

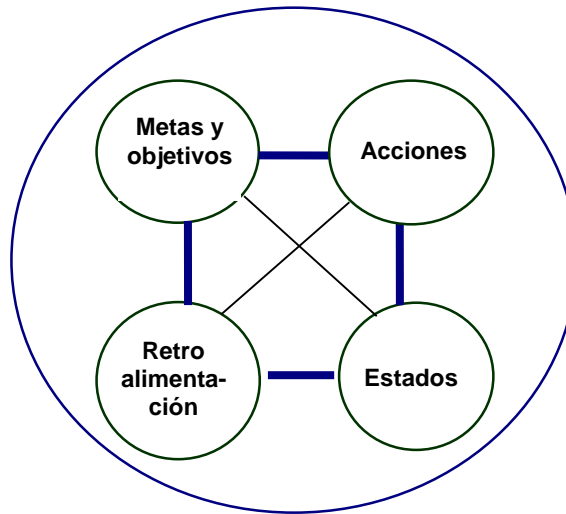
A continuación, se presentan algunos de los objetivos más importantes:

- Estudiar y comprender los sistemas para anticipar o mejorar su comportamiento.
- Proporcionar a la gerencia toda la información que sea posible y necesaria para una guía y control del programa general de desarrollo.
- Formular planes de largo alcance y objetivos, como un marco para enlazar entre sí los proyectos individuales.
- Balancear el programa general de desarrollo a fin de asegurar el progreso a lo largo de todas las líneas de demandas, y haciendo al mismo tiempo el mejor empleo del desarrollo de la mano de obra y de otros recursos.
- Desarrollar los objetivos y los planes para proyectos particulares y hacerlos consistentes con los objetivos más lejanos. Conocer las necesidades actuales de la organización.
- Prever con anticipación las necesidades futuras a fin de estar completamente preparados para el momento en que se requiera una acción.
- Tener siempre presente nuevas ideas, principios, métodos y dispositivos.
- Efectuar cada una de las operaciones del proceso de la ingeniería de sistemas en la forma más eficiente posible, reconociendo que los requisitos para los detalles, la exactitud y la rapidez dependen sólo de las fases del proceso en que se esté trabajando.
- Integrar una gran variedad de disciplinas de diseño clave al esfuerzo de la ingeniería de diseño total.
- Planificar, analizar, diseñar, evaluar sistemas hechos por el hombre para las áreas físicas, industriales, organizacionales, sociales, etc.

### 1.10 Usos de los Sistemas Dinámicos

Un sistema dinámico es la aplicación de los principios y técnicas de los sistemas de control de realimentación a los problemas físicos, administrativos, organizacionales y socioeconómicos. Esto quiere decir que sistemas de realimentación significa lo mismo que sistemas dinámicos o que sistemas de ciclo cerrado.

Todo sistema posee unas metas y objetivos que debe cumplir. Adicionalmente, por ser dinámico, simple o complejo, ejecuta una serie de acciones y pasa de un escenario (estado) a otro dependiendo de ciertas condiciones. El módulo de realimentación y control le permite verificar sus metas y actuar con base a los resultados de la comparación entre la medición de la situación actual y la(s) meta(s) a lograr. (Véase la figura 1.4).



**Figura 1.4: Estructura Funcional de un Sistema**

Para uso administrativo, los sistemas dinámicos buscan la integración de las diferentes áreas funcionales de una organización para crear un conjunto conceptual que tenga sentido y proveer una organización al igual que bases cuantitativas para diseñar políticas organizacionales más efectivas, esto se logra por la realimentación de hechos pasados para mejorar el rendimiento futuro de la organización. Los sistemas dinámicos son el estudio de las características de información y realimentación de las actividades comerciales e industriales para mostrar como la estructura organizacional, las políticas, las acciones y decisiones, y los retrasos de tiempo interactúan para influir en el progreso de la empresa. Se trata de las interacciones de los flujos de información, dinero, órdenes, materiales, personal, equipo de una compañía comercial, de servicio, industrial o la economía nacional como un todo. Los sistemas dinámicos proveen un sencillo armazón para integrar las áreas funcionales de administración, mercadeo, producción, cuentas, investigación y desarrollo, y capital de inversión. Es un acercamiento cuantitativo y experimental para relacionar la estructura organizacional y las políticas generales para

la estabilidad y crecimiento industrial. Los sistemas dinámicos suministran una base de diseño de sistemas económicos e industriales más efectivos.

Los pasos para diseñar un sistema dinámico son:

1. Identificar el problema. Describir qué problemas tiene el sistema que requieren ser mejorados.
2. Aislar los factores que interactúan para identificar los síntomas observados.
3. Estudiar los ciclos de causa y efecto de información y realimentación que unen las decisiones a las acciones, de tal forma que la acción resultante cambie las nuevas decisiones.
4. Formular reglas, formales y aceptables, que describan como las decisiones resultan de las corrientes de información disponible.
5. Construir un modelo matemático de las reglas de decisiones, fuente de información e interacciones de los componentes del sistema.
6. Generar el comportamiento a través del tiempo del sistema descrito en el modelo (usualmente se ejecutan los cálculos por medio de computadoras).
7. Comparar todos los resultados contra todo el conocimiento pertinente disponible del sistema actual.
8. Revisar el modelo hasta que sea aceptable y sea una representación del sistema actual.
9. Experimentar con el modelo. Rediseñar dentro del modelo las relaciones organizacionales y reglas que puedan ser alteradas en el sistema actual para encontrar los cambios que mejoren el comportamiento del sistema.
10. Alterar el sistema actual en las direcciones del experimento en el modelo para mejorar el rendimiento del sistema<sup>10</sup>.

La filosofía de los sistemas dinámicos cree que el comportamiento (a través del tiempo) de una organización es causada principalmente por la estructura de la organización. La estructura no incluye solamente los aspectos físicos de un proceso de planta o producción, sino que también las normas y reglas tangibles e intangibles, que dominan la toma de decisiones de la organización. Tal estructura contiene fuentes de amplificaciones, información de realimentación similar a aquellas que se encuentran en complejos sistemas de ingeniería. Los sistemas de ingeniería y administración que contienen estas características muestran modelos de respuestas complicados para sistemas relativamente simples o de entrada variable. El análisis de un gran sistema no lineal de esta clasificación es un gran desafío aún para el ingeniero más experimentado en el sistema. El rediseño efectivo y justificable de sistema como este es aún más difícil. Las sutilezas y complejidades en el área de administración hacen estos problemas

---

<sup>10</sup> El capítulo 3 presenta estos pasos con más detalle.



mucho más difíciles.

Un segundo aspecto de la filosofía de los sistemas dinámicos es el concepto de que las organizaciones son vistas más efectivamente desde el punto de vista de sus flujos, que de sus funciones separadas. Los flujos de personas, dinero, material, órdenes y capital de equipo y la integración de flujos de información pueden ser identificados en todas las organizaciones. La orientación de la estructura de los flujos hace que el analista cree las fronteras de la organización de una forma natural. Este actúa separando los componentes próximos de la organización que provocan conflictos organizacionales y la suboptimización no reconocida. Un significativo armazón de sistemas resulta al trazar cadenas de causa y efecto a través del espacio de los flujos apropiados.

## 1.11 Temas Relacionados con los Sistemas

### 1.11.1 La Cibernética

La palabra cibernética en griego se refiere a mecanismos precisos de gobierno y control. Con Platón y Ampere, es usada siempre en su sentido político-social, pero es utilizada por primera vez en referencia a la ingeniería humana por Norbert Wiener.

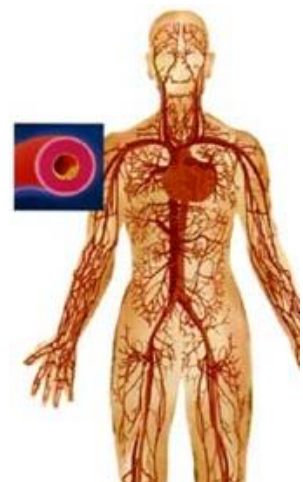
La cibernética es una disciplina íntimamente vinculada con la teoría general de sistemas, al grado en que muchos la consideran inseparable de esta, y se ocupa del estudio del mando, control, regulaciones y la gobernabilidad de los sistemas. El propósito de la cibernética es desarrollar lenguajes y técnicas que nos permitan atacar los problemas de control y comunicación en general.

La Teoría General de Sistemas y la Cibernética esencialmente estudian el mismo problema y están íntimamente ligadas, pero la distinción que podemos hacer notar es que la primera está enfocada más en la estructura y los modelos de los sistemas, mientras que la segunda está enfocada al control de las acciones de los sistemas, a cómo se comunican con otros sistemas o con sus propios elementos.

### 1.11.2 La Homeostasis

El concepto de homeostasis fue introducido en la fisiología en 1932 por W. Cannon, para explicar la constancia relativa de ciertas dimensiones fisiológicas. Por ejemplo, la temperatura del cuerpo de los mamíferos que se mantiene constante, frente a la temperatura cambiante del ambiente externo.

La homeostasis es la propiedad de un sistema que define su nivel de respuesta y de aceptación al contexto. Es el nivel de adaptación permanente del sistema o su tendencia a la supervivencia dinámica. Los sistemas altamente homeostáticos sufren transformaciones estructurales en igual medida que el contexto



sufre transformaciones, ambos actúan como condicionantes del nivel de evolución.

La homeostasis es posible por el uso de información proveniente del medio externo incorporada al sistema en forma de retroalimentación (feedback). El "feedback" activa el "regulador" del sistema, que, alterando la condición interna de éste, mantiene la homeostasis. Un ejemplo muy común del modo cómo funciona la homeostasis es el de un sistema de calefacción central, que mantiene a la casa en un estado estable de calor. Utiliza un termostato, que desempeña el papel de regulador y que responde al feedback referente a la temperatura del "supra sistema" exterior a la casa. Cuando la temperatura exterior descende, el termostato actúa aumentando la temperatura dentro de la casa. La homeostasis es un mecanismo auto correctivo.

### 1.11.3 La Entropía

La entropía de un sistema es el desgaste que el sistema presenta por el transcurso del tiempo o por el funcionamiento del mismo. Los sistemas altamente entrópicos tienden a desaparecer por el desgaste generado por su proceso sistémico. Los mismos deben tener rigurosos sistemas de control y mecanismos de revisión, reelaboración y cambio permanente, para evitar su desaparición a través del tiempo.

La entropía, quiere decir, la máxima probabilidad de los sistemas en su progresiva desorganización, y finalmente su homogeneización con el ambiente. Los sistemas cerrados están irremediablemente condenados a la desorganización. No obstante, hay sistemas que, al menos temporalmente, revierten esta tendencia al aumentar sus estados de organización (neguentropía, información).

### 1.11.4 La Neguentropía

Los sistemas vivos son capaces de conservar estados de organización improbables (entropía). Este fenómeno aparentemente contradictorio se explica porque los sistemas abiertos pueden importar energía extra para mantener sus estados estables de organización e incluso desarrollar niveles más altos de improbabilidad. La neguentropía, entonces, se refiere a la energía que el sistema importa del ambiente para mantener su organización y sobrevivir. Neguentropía es entonces un sistema dinámico de retroalimentación que se trata en el capítulo 3.

La entropía tiende a desordenar el sistema, sin embargo, el sistema a través de la neguentropía puede combatir y superar esa tendencia.<sup>11</sup>

### 1.11.5 La Sinergia

La palabra sinergia se deriva del latín *synergos*, que significa "trabajar en conjunto". Su

---

<sup>11</sup> Definición según la Real Academia de la Lengua Española.

aplicación en el mundo de los negocios se refiere a la habilidad de dos o más unidades o compañías para generar mayor valor trabajando en conjunto, que aquel que podrían producir trabajando en forma separada.

En pocas palabras, se logra la sinergia cuando dos o más sistemas o personas trabajan conjuntamente para crear una mejor solución de lo que ambos pudieran lograr por cuenta propia. No es tu forma o la mía, sino una forma, una más elevada.

Todo sistema es sinérgico en tanto el examen de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir su comportamiento global. La sinergia es, en consecuencia, un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema.

La sinergia no es algo que simplemente sucede. Y el fundamento para llegar hasta allá es el siguiente: Aprender a celebrar las diferencias.

Sinergia es la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

## **1.12 Páginas Web sobre la Dinámica de Sistemas**

### **Dinámica de Sistemas “Daedalus”**

URL: <http://www.daedalus.es/AreasDSHistoria-E.php>

Descripción: El sitio nos habla sobre la dinámica de sistemas, su historia, siendo pionero el Ing. Jay W. Forrester, nos define la dinámica de sistemas como el método para la construcción de modelos de simulación para modelos complejos como los que son estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología. También nos habla de sus aplicaciones, herramientas.

### **Dinámica de sistemas**

URL: <http://www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/Dinamica/dsisistemas.html>

Descripción: En este sitio nos hablan de la introducción a la dinámica industrial, construcción de los modelos de la dinámica de sistemas, los elementos de la dinámica de sistemas, las estructuras elementales de los sistemas dinámicos, además de un proyecto final en el cual muestran un ejemplo de sus aplicaciones.

### **Revista de dinámica de sistemas**

URL: [http://dinamicasistemas.utalca.cl/Revista/RDS\\_home.htm](http://dinamicasistemas.utalca.cl/Revista/RDS_home.htm)

Descripción: La Revista de Dinámica de Sistemas es una publicación científica con arbitraje por pares. Se dirige a una audiencia amplia para comunicarle los avances en

los métodos y la perspectiva de la Dinámica de Sistemas en los ámbitos de problemas sociales, técnicos, de administración y ambientales. La revista publica avances en el modelado matemático y la simulación computacional de sistemas dinámicos de retroalimentación; avances en metodologías de análisis de políticas basados en la retroalimentación de información y la causalidad circular, etc.

### **Dinámica de sistemas y control**

URL: <http://ib.cnea.gov.ar/~dsc/index.html>

Descripción: es un sitio que está dividido por capítulos que son introducción, variables de estado, soluciones de las variables de estado, grafos de enlaces, estabilidad de sistemas, etc.

### **Dynamic Systems**

URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_system)

Descripción: Descripción completa de las áreas que conforman un Sistema Dinámico

### **Fourth International Conference on Dynamic Systems and Applications**

URL: <http://atlas-conferences.com/cgi-bin/abstract/cajw-01>

Descripción: Desarrollos en los cuales se aplicó la teoría de Sistemas Dinámicos

### **Seminarios sobre Control y Dinámica de Sistemas**

URL: <http://www.cds.caltech.edu/>

Descripción: Página con itinerario de seminarios y artículos que están relacionados con la dinámica de sistemas.

### **The Math Forum Drexel**

URL: [http://mathforum.org/library/topics/dynamical\\_systems/](http://mathforum.org/library/topics/dynamical_systems/)

Descripción: Foro sobre Dynamic System

### **Universidad Politécnica de Catalunya**

URL: <http://www.upcnet.es/~jmg2/sis3.htm>

Descripción: Encontramos nombre de algún software de dinámica de sistemas, siendo página de la universidad Politécnica de Cataluña, encontramos un contenido visto en un curso.

## **Sistemas Dinámicos**

URL: <http://fractales.org/?q=node/82&PHPSESSID=f9179ea5e194983eb85f80952be876b5>

Descripción: Explicación de sistemas dinámicos y ejemplos de ciencias donde son útil los sistemas dinámicos.

URL: <http://www.monografias.com/trabajos10/suaq/suaq.shtml>

Descripción: Trata de los sistemas dinámicos con probabilística, vulnerabilidad y concepto.

URL: <http://www.albany.edu/cpr/sds/>

Descripción: En esta página Web encontramos el significado de dinámica de sistemas, cuál es su uso actualmente, y define varias palabras relacionadas a este concepto para que se le haga más fácil al usuario comprender la información ofrecida. Proporciona la metodología que se utiliza en la DS, explica de dónde surgió éste campo de estudio y establece las distintas aplicaciones que han surgido desde que se dio a conocer este concepto. Establece la relación entre pensamiento sistémico y dinámica de sistemas, y explica al usuario que es la sociedad de sistemas dinámicos.

URL: [http://dinamicasistemas.utalca.cl/din\\_sis/dinamica\\_sistemas.htm](http://dinamicasistemas.utalca.cl/din_sis/dinamica_sistemas.htm)

Descripción: Como primer punto, éste sitio cuenta los orígenes de la Dinámica de Sistemas con la aparición del libro “Dinámica Industrial” de Jay Forrester, su fundamentación en los sistemas sociales, las limitaciones humanas y cómo es que vivimos en sistemas sin darnos cuenta de ello. Además, habla sobre la simulación, herramienta de DS, el lenguaje de diagramas que creó Forrester para el modelado y los ámbitos de las aplicaciones de los sistemas dinámicos.

## **Grupo de Dinámica de Sistemas**

URL: <http://www.catunesco.upc.es/ads/ads.htm>

Descripción: La Universidad Politécnica de Catalunya ofrece cursos en Internet para estudiantes que tienen problemas para asistir a clases presenciales o para aquellos que estén interesados en asistir a la Universidad Politécnica de California.

Dentro del sitio existe información del “Curso de especialización de dinámica de sistemas”, como la definición de “Dinámica de sistemas”, aplicación de modelos de simulación, bibliotecas de modelo algunos trabajos entre otros

## Capítulo Latinoamericano “Sociedad de Dinámica de Sistemas”

URL: <http://dinamica-sistemas.mty.itesm.mx/>

Descripción: Este sitio contiene información de congresos, publicaciones, cursos que se efectúan en distintos puntos en América Latina. Además de recursos relacionados con la “Dinámica de Sistemas.”

## System Dynamics

URL: <http://www.sys-dyn.net/index.php>

Descripción: Ofrece servicios como automatización de procesos, red y servidores, base de datos y conversión de datos entre otros.

## System Dynamics Simulation

URL: <http://www.raczynski.com/pn/simball.htm>

Descripción: El sitio contiene información de una herramienta para simulación de sistemas dinámicos llamada “SimBall”

## Thinking Systemically

URL: <http://www.dpsnet.com/system/example.htm>

Descripción: Contiene un ejemplo donde aplican los 6 pasos al pensamiento sistemático, según Michael Goodman y Richard Karash

## Dinámica de Sistemas

URL: <http://www.ieg.csic.es/dinamica/WEB%20Csic/dinamic/indicew.htm>

Descripción: Muestra un diagrama en el cual te explican acerca de la interrelación de los sistemas dinámicos, ejemplo de cómo construir un modelo de sistemas.

## Cátedra de Dinámica de Sistemas

URL: <http://www.geocities.com/martin3162/musica.html>

Descripción: Explica el Desarrollo Sostenible de Empresas Innovadoras utilizando modelos de Dinámica de Sistemas. Hace hincapié en la problemática de las empresas y las características de la metodología de modelado; presenta gráficos sobre cada tema desarrollado, desde las diferentes etapas en la estructuración de los modelos hasta su comportamiento, etc.

## Proceso de construcción de un modelo en dinámica de sistemas

URL: <http://tgs7233.galeon.com/dinamica.htm>

Descripción: Esta página desarrolla y explica de una manera bastante sencilla el proceso de construcción de un modelo en dinámica de sistemas, es decir, su metodología, conceptualización, representación o formulación, análisis y evaluación.

### 1.13 Resumen

Este capítulo ha presentado las definiciones, los elementos, las clasificaciones de los sistemas. Se dice que los sistemas son combinaciones por parte reunidas para obtener un resultado o formar conjunto organizados de cosas, se relaciona un todo unitario y complejo para alcanzar varios objetivos. Estos sistemas tienen como características la objetividad y la totalidad, metas o fines en los cuales se quiere llegar y los sistemas globales que tiene naturaleza orgánica.

Adicionalmente, ha introducido la necesidad de contar con una ingeniería que aplique estos conceptos en el desarrollo de mejores sistemas. Lo más importante del capítulo es que presenta el concepto de sistemas de realimentación, también conocido como sistema de ciclo cerrado o sistema dinámico complejo.

En el siguiente capítulo se presenta todo lo concerniente al control que deben tener los sistemas para poder exhibir propiedades dinámicas complejas.

### 1.14 Ejercicios

1. Mencione 5 actividades endógenas y 5 actividades exógenas de un Sistema de Transporte Urbano.
2. Defina los términos Realimentación, Sistema, Ingeniería de Sistemas.
3. Señale cuales son las etapas para diseñar un sistema dinámico.
4. Clasifique los siguientes sistemas de acuerdo a su complejidad:
  - Un carro.
  - La sonda Mars Pathfinder.
  - El árbol Panamá.
  - Los hoyos negros en el universo.
5. Clasifique los sistemas de acuerdo así son: naturales, hechos por el hombre, estático, dinámicos, adaptables, no adaptables, manuales, semiautomáticos, automáticos, abiertos, cerrados, físicos, conceptuales, de ciclo abierto, de ciclo cerrado, de realimentación positiva y negativa:

- a. Computadora.
- b. Sistema de leyes de un país.
- c. Acondicionador de Aire.
- d. Ser humano.
- e. Un reloj.
- f. El Sol.