

Capítulo 2

ENFOQUE DE SISTEMAS

2.1 Objetivo

Identificar soluciones de ayer que hoy constituyen problemas en el sector, evaluando su variación en el tiempo. Seleccionar aquel que tiene mayor trascendencia y elaborar su análisis aplicando el Pensamiento Sistémico y las técnicas de modelado. Elaborar la caja negra, lista de atributos, síntesis de funciones, caja blanca y matriz morfológica, aplicando el pensamiento sistémico y sus herramientas.

2.2 Introducción

La tarea principal de todo profesional es la solución de los problemas que la sociedad demanda. Estos problemas lo percibimos como anomalías en el funcionamiento de los sistemas, por lo tanto son resultado de la interacción de dos o más elementos del sistema. Para resolver un problema, es necesario identificarlo y definirlo, luego lanzar una posible solución sobre la base de un marco teórico y finalmente resolverlo; pensando en sistemas en todo el proceso.

Por ejemplo, los problemas globales que dañan la biosfera y la vida humana no pueden ser comprendidos de manera aislada o reducida. Son problemas complejos donde el todo depende de las partes y éstas están interconectadas. La reducción de los recursos naturales y el deterioro ambiental que están relacionados con el crecimiento demográfico, la voracidad de las empresas transnacionales y la agudización de la pobreza.

La solución a estos problemas, según Capra (1971), puede ser muy sencilla, “pero requieren de un cambio radical en nuestra percepción, en nuestro pensamiento, en nuestros valores”. Es decir un cambio de paradigmas tan radical como fue el paso de la teoría geocéntrica a la heliocéntrica.

La sociedad se ha dedicado a extraer los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, sin importar las necesidades de las generaciones futuras. Se producen desperdicios por dondequiera sin tener en cuenta el desequilibrio ambiental que ocasiona. Se generan emisiones nocivas que agudizan el calentamiento global. Estas acciones parecen normales, porque no creemos que influyan en la sostenibilidad del planeta. Nuestra percepción está dominada por modelos mentales adquiridos desde hace muchos años centrados en el

hombre, y es difícil creer que nuestras “pequeñas” acciones diarias puedan influir en la biosfera.

Los sistemas no existen en la realidad, somos nosotros quienes percibimos la realidad como sistema, mediante nuestro pensamiento sistémico. Según Herrscher (2003, p 41) “La condición de sistema no es una cualidad intrínseca de la cosa, sino una actitud o apreciación de cada uno.”

La ingeniería de sistemas nos brinda las herramientas necesarias para definir los sistemas y desarrollarlos. En todo sistema humano podemos identificar tres componentes: sistema de gestión, sistema productivo y sistema de soporte (figura 2.1).

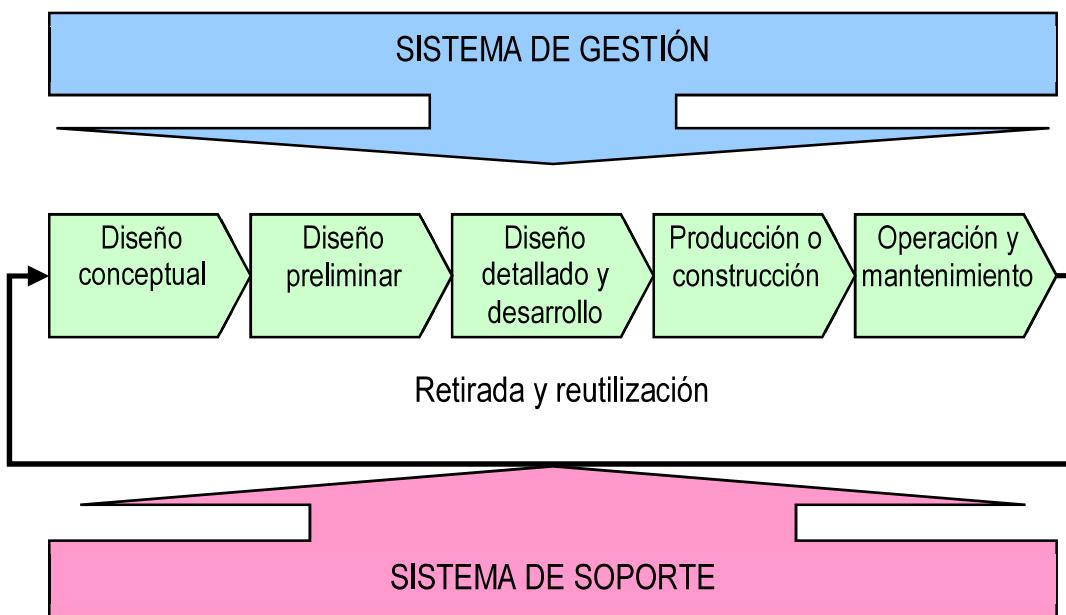


Figura 2.1: Componentes de un sistema

Cualquier sistema, sean estos sociales o tecnológicos, requieren diseñarse y producirse para generar productos o servicios a las personas y organizaciones. Una vez completada su vida útil, estos se retiran, pero debe preverse su reutilización para generar el menor desperdicio posible.

Estos sistemas, requieren de un sistema de gestión y organización que defina sus objetivos e instrumentos de control. Todos los sistemas tienen un ciclo de vida, el cual debe maximizarse, para elevar la productividad de los recursos utilizados en ella.

Un sistema, por naturaleza es dinámico, está en cambio permanente. Para controlar ese cambio y mantener la armonía entre la sociedad y la naturaleza debemos diseñarlo, luego construirlo y cuando

esté funcionando, darle mantenimiento con el fin de reducir o eliminar sus desperdicios.

El proceso de construcción y funcionamiento de los sistemas requieren de personas, máquinas, equipos y otros recursos. Los sistemas deben elevar permanentemente la productividad de los recursos que se utilizan mediante la creatividad y trabajo competente de las personas.

Los problemas de un sistema son complejos y requieren de la participación multidisciplinaria o del dominio de muchas disciplinas. Al identificar un problema, para que su solución sea consistente, debemos percibirlo como un sistema, y pensar en sistemas durante el proceso de solución.

2.3 Enfoque reduccionista

Habitualmente los científicos han estudiado los problemas mediante un enfoque reduccionista, que consiste en dividir el objeto de estudio en sus componentes más simples y observar el comportamiento de las partes para inferir el comportamiento del todo.

Este enfoque tiene sus raíces en la filosofía de los atomistas griegos, quienes veían la materia constituida por átomos, que son puramente pasivos y se hallan intrínsecamente muertos.

Según el atomismo, el Universo - entendido como el conjunto de fenómenos sensibles – es el resultado de la composición accidental de las propiedades de los átomos de que está formada la materia.

La división del objeto de estudio permitió que los científicos trataran la materia como algo muerto y totalmente separado de ellos y vieran el mundo material como una multitud de objetos diferentes reunidos para formar una máquina. Tal visión mecanicista del mundo fue la que sirvió a Newton como base para la construcción de su mecánica, y de ella hizo el fundamento de la física clásica.

La tesis básica del atomismo es que entre los componentes atómicos de un todo no hay relaciones de interdependencia; sólo de conjunción, unión o disyunción. Cualquier expresión de interrelación entre estas partes del todo, será de carácter metafísico y por lo tanto inadmisible e ilógico.

El método científico, basado en el reduccionismo, la repetitividad y la refutación, fracasa ante fenómenos muy complejos por varios motivos: El número de variables participantes es mayor del que el científico puede controlar, por lo que no es posible realizar verdaderos experimentos. La posibilidad de que factores desconocidos influyan en

las observaciones es mucho mayor. Como consecuencia, los modelos cuantitativos son muy frágiles.

Entonces, éste método de análisis de los datos de la realidad no es recomendable utilizar en contextos complejos. El reduccionismo consiste en fragmentar la realidad estudiada en tantas partes como sea posible, analizar luego cada elemento para finalmente, recomponiéndolos mediante simples operaciones de unión, disyunción, implicación, etc., llegar a la comprensión del todo. No hay que proponerse la búsqueda de asociaciones o interrelaciones entre las partes porque – según este enfoque – ello conduciría a elaboraciones “metafísicas”, fantasiosas o imaginarias. Hay que limitarse a encontrar, enumerar, y ver cómo se distribuyen las partes del objeto de estudio.

Gran parte del progreso que se ha obtenido en cada uno de los campos de las ciencias se debe a el enfoque reduccionista, pero, existen fenómenos cuyos problemas solo pueden explicarse y resolverse teniendo en cuenta todo sus componentes, la interacción entre éstos, su complejidad y su entorno.

Las soluciones o arreglos rápidos han generado consecuencias negativas no intencionadas empeorando el problema original. Si tengo un problema, lo que hago es ubicar el síntoma del problema, elimino el síntoma, aparece otro síntoma, también lo elimino. Algun tiempo después tengo una consecuencia no intencionada que empeora el problema.

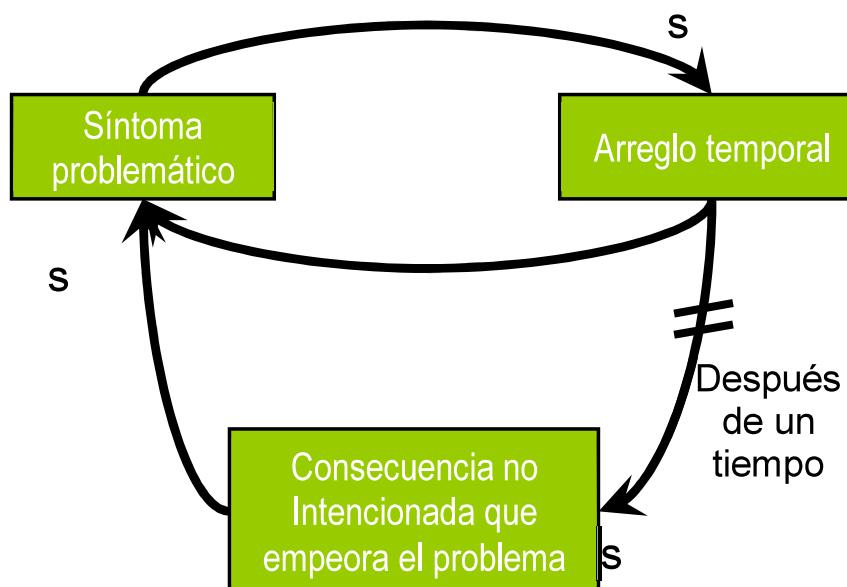


Figura 2.2: Consecuencia de arreglos rápidos

Un ejemplo que grafica este paradigma es la máquina de pollos a la brasa. Alfredo inició el negocio de los pollos a la brasa, para lo cual se compró una máquina para producirlos. Luego de un tiempo el motor de $\frac{1}{4}$ de HP se quemó, acude al electricista para resolverlo y éste le recomienda un motor de $\frac{1}{2}$ HP para que no se queme en el futuro. Luego de un tiempo se rompe el eje que ingresa al reductor de velocidad, acude al mecánico y este le propone aumentar el diámetro para que no se falle en el futuro. Un tiempo después nuevamente se quema el motor, y el electricista le recomienda un motor de un HP que por su puesto ocasionaría la rotura del eje. Cuando tenía un motor de 2 HP y el triple de diámetro en el eje, visita a un competidor y puede observar que su máquina funciona muy bien con un motor y eje igual a la que Alfredo tenía originalmente. La consecuencia era que su máquina consumía mucha energía y le estaba ocasionando gastos de recambio permanentemente.

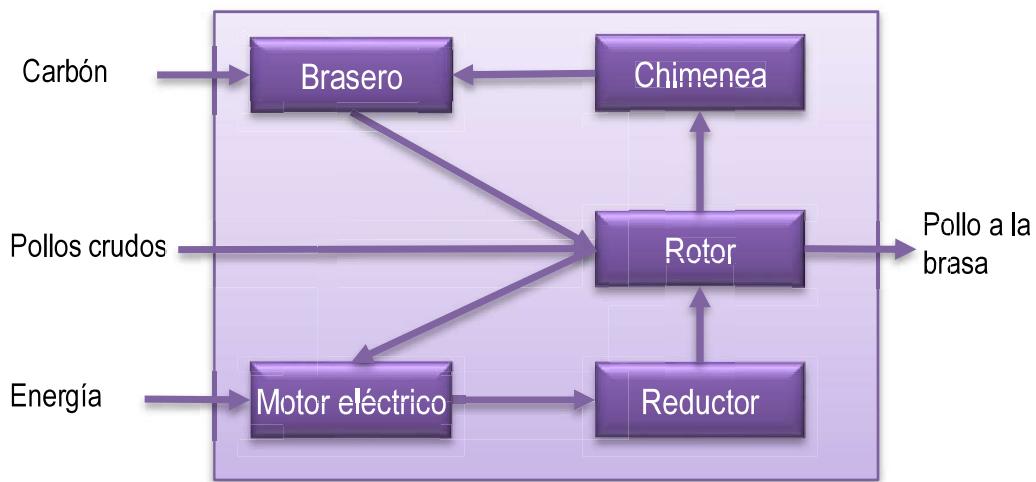


Figura 2.3: Máquina de pollos a la brasa

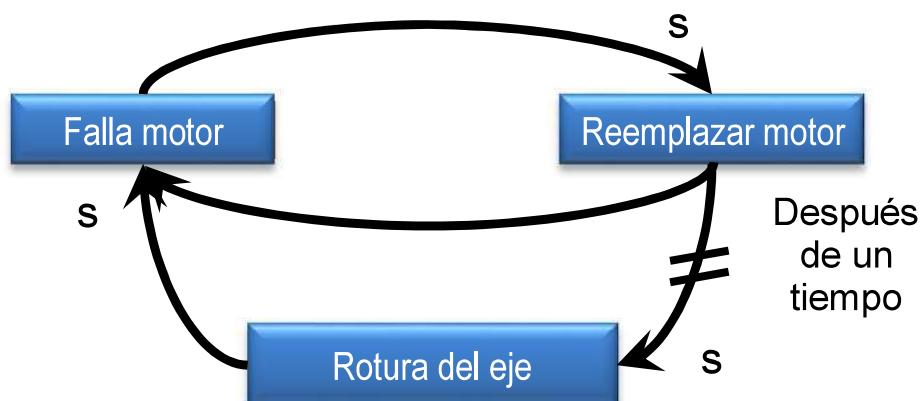


Figura 2.4: Consecuencia de arreglos rápidos de la máquina de pollos a la brasa

En el ejemplo, se produce arreglo rápido como la sustitución del motor eléctrico por otro de más potencia, lo que origina una consecuencia no intencionada de rotura del eje, luego se produce otro arreglo rápido de cambiar el eje por otro de más diámetro, lo que ocasiona la falla del motor.

A través del tiempo, los arreglos rápidos elevan la intensidad del problema, como vimos en el ejemplo. Cada arreglo rápido genera una mejora en el corto plazo, pero incrementa cada vez la intensidad del problema como se observa en la figura 2.5.

Los problemas actuales se hacen cada vez más complejos, exigen considerar un mayor número de componentes para resolverlos. Pero esto no es suficiente, resolver los problemas requiere de un cambio de paradigmas. Requiere pensar en sistemas y en forma no lineal.

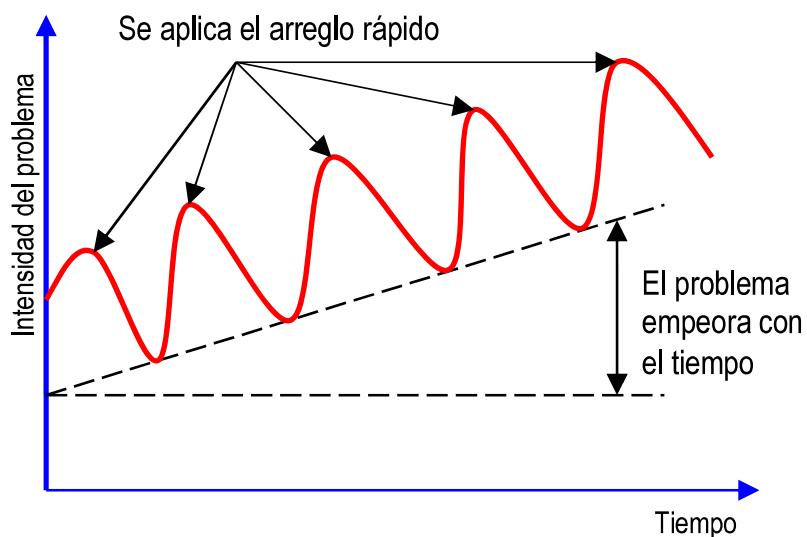


Figura 2.5: Problema a través del tiempo

La solución a estos problemas puede ser muy sencilla, “pero requieren de un cambio radical en nuestra percepción, en nuestro pensamiento, en nuestros valores” Capra (1971)

Los problemas globales que dañan la biosfera y la vida humana no pueden ser comprendidos de manera aislada o reducida. Son problemas complejos donde el todo depende de las partes y éstas están interconectadas. Para resolverlos necesitamos de un nuevo paradigma, con nuevos pensamientos y valores que guíen nuestro comportamiento (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Viejo y nuevo paradigma en la ecología

Paradigma	Ecología	Pensamiento	Valores
Viejo paradigma	Ecología superficial	Asertivo Racional Analítico Reducciónista Lineal	Antropocéntricos Asertivo Expansión Competición Dominación Cantidad
Nuevo paradigma	Ecología profunda	Sistémico Integrativo Intuitivo Sintético Holístico No lineal	Ecocéntricos Integrativos Conservación Cooperación Asociación calidad

Luego, el enfoque reduccionista tiene una gran influencia en la ecología, generando una ecología superficial guiada por un pensamiento lineal, analítico, racional y asertivo que considera al hombre como el centro del desarrollo. Este pensamiento debe modificarse, implementando una ecología profunda aplicando el pensamiento sistémico, integrativo, intuitivo, sintético, holístico y creativo.

2.4 Enfoque sistemático

El enfoque de sistemas afronta el problema en su complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes.

Para Hegel la forma de evidenciar el comportamiento propio del pensamiento es cuando la misma se hace dialéctica, se parte del todo comenzando a estructurar la realidad con una afirmación (la tesis), que debe ser contradicha (antítesis), para posteriormente realizar la conciliación entre los opuestos a lo cual denomina síntesis (sin-del griego-composición).

Estos serían los tres momentos fundamentales, enlazados entre sí con tal grado de compromiso, que la síntesis de un proceso será la tesis del siguiente, lo cual impide la dispersión al infinito para alcanzar la síntesis superadora. Define a tesis como una "afirmación cualquiera" y sostiene que todos los conceptos llevan dentro de sí un conflicto, es

este el que le dará "movimiento" al cual denomina antítesis. Como negación de la afirmación será la encargada de dinamizar la realidad.

Por fin y principio aparece la síntesis, a la que considera como un movimiento de conciliación cuya función será la superación del conflicto que se puede ver como la negación de una negación anterior, pero de la cual conservará lo positivo de los dos momentos anteriores. Es en ese punto donde radica el germen de la perpetua creación.

La aparición del enfoque de sistemas tiene su origen en la incapacidad del método científico para tratar problemas complejos. No se puede llegar a la síntesis sin integrar la dinámica de la interacción de los elementos de un sistema. Así, el enfoque de sistemas aparece para abordar el problema de la complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades que complementa el reduccionismo del método científico.

Fueron los biólogos quienes identificaron la necesidad de pensar en términos de totalidades. El estudio de los seres vivos requería considerarlos como una jerarquía organizada en niveles, cada uno más complejo que el anterior. En cada uno de estos niveles aparecen propiedades emergentes que no se pueden explicar a partir de los componentes del nivel inferior, sino porque se derivan de la interacción de los componentes.

Luego, este método de pensar en totalidades y la emergencia de caracteres de la interacción de componentes de esa totalidad es recomendable utilizar en contextos complejos e innovadores. El enfoque sistémico consiste en estudiar la realidad en su totalidad, la interacción de sus componentes y las propiedades emergentes resultantes sin perder de vista su complejidad.

La realidad es un sistema formado por sub sistemas.

Los elementos de un sistema son también denominados sub sistemas, estos están relacionados, como producto de esta relación se generan caracteres emergentes. Cuando se modifica los elementos o las relaciones entre los elementos de un sistema, la identidad del mismo cambia.

Según el filósofo Fuller, un objeto tiene sinergia cuando el escrutinio de sus partes en forma aislada, no puede explicar el comportamiento del todo.

Veamos el siguiente ejemplo:



Figura 2.6: Racimo de uvas

En las figura 2.6 y 2.7 tenemos un conjunto de 12 uvas; al describir ambas figuras, la descripción debería ser igual. Pero, si pedimos a alguien que describa la figura 2.4, nos dirá que es un racimo de 12 uvas, pero, esa misma persona, al describir la figura 2.7, nos dirá que es un conjunto de uvas dispuestas en forma de cruz.

La figura 2.7 tiene características diferentes, ya que las uvas poseen una organización y una configuración que implica ubicación y relación entre las partes, lo que indica que en este caso no se da que el todo sea igual a la suma de sus partes. Además de ser un conjunto de 12 uvas, también es una cruz.

Si le quitamos una uva a la figura 2.7, la descripción cualitativa de la misma no varía. Seguiría siendo un racimo de 11 uvas.



Figura 2.7: Uvas en forma de cruz

Pero, si le quitamos una uva a la figura 2.5, la descripción cualitativa de la misma varía. La figura ya no es una cruz, como podemos ver en la figura 2.6.



Figura 2.8: Si le quitamos una uva ya no forma una cruz

A partir de esta comparación podríamos concluir que existen objetos que poseen sinergia y otros no. En general a las totalidades no provistas de sinergia se le denominan: conglomerados.

La diferencia entre un conglomerado y un sistema radica en la existencia o no de relaciones o interacciones entre las partes.

Pero si evaluamos con mayor profundidad la figura 2.6, encontraremos que tiene una organización y configuración, una dependencia entre sus elementos que le otorgan forma característica al racimo.

Se puede concluir que el conglomerado no existe en la realidad, es sólo una construcción teórica. Sin embargo su concepto para ciertos efectos es una herramienta de análisis importante. Luego para fines de investigación el conglomerado es un conjunto de objetos, de los cuales se abstraen ciertas características, es decir que se eliminan aquellos factores ajenos al estudio y luego se observa el comportamiento de las variables que interesan.

Un objeto es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio o en el tiempo. Los objetos que ocupan un lugar en el espacio son tangibles, materiales, por ejemplo: una pelota, una máquina, una persona, una planta. Los objetos que ocupan un lugar en el tiempo son objetos intangibles como el pensamiento, los procesos, el software, entre otros.

Si el objeto de estudio tiene como una de sus características, la sinergia, de inmediato buscamos estudiarlo aplicando el enfoque sistémico, ya que el enfoque reduccionista no tendrá capacidad para explicar el fenómeno complejo a través del análisis de sus partes.

Los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es menos o diferente del todo, o bien cuando el examen de alguna de ellas no explica la conducta del todo, luego para analizar y estudiar todas sus partes y, si se logran establecer las relaciones existentes entre ellas, se puede predecir la conducta de este objeto cuando se le aplica una fuerza particular que no será normalmente, la resultante suma de efectos de cada una de sus partes.

Si se dice que la suma de las partes no es igual al todo y se le aplica la técnica del muestreo ¿no se está pensando en que analizando algunas partes se puede comprender al todo? De hecho la técnica estadística del muestreo ya ha dado resultados excelentes porque cuando se utiliza ésta técnica se supone (implícita o explícitamente) que los elementos componentes de la población o el conjunto bajo estudio son independientes entre sí.

Por ejemplo, si tenemos un conjunto de elementos tales como una célula, un hombre, una organización (empresa); notamos, después de un análisis, que:

- El hombre es un conjunto de células.
- La organización es un conjunto de hombres.

Luego podemos establecer una relación de recursividad célula-hombre-organización. Aún más, el hombre no es una suma de células ni la organización es una suma de hombres; por lo tanto tenemos aquí elementos recursivos y sinérgicos.

Podemos enumerar las ventajas del Pensamiento Sistémico para comprender la realidad y resolver sus problemas:

- Sirve para ejercer mayor influencia en su propia vida mediante el descubrimiento de patrones que se repiten en los acontecimientos.
- Proporciona métodos eficaces para resolver problemas y estrategias para modificar el pensamiento que los origina.
- Acaba o reduce considerablemente la actitud de “esfuerzo permanente”.
- En muchas ocasiones, resolver un problema es como empujar una puerta atascada cuando esta se abre jalando de ella.

- El pensamiento sistémico consiste en averiguar cómo están instaladas las bisagras y para qué lado se abre la puerta.
- Es la base de un razonamiento claro y una buena comunicación, una forma de profundizar y ampliar nuestro punto de vista.
- Permite superar la tendencia a culpar a los demás y a uno mismo de lo que ocurre.
- Es la estructura del sistema lo que determina el resultado.
- El comprenderlo permitirá ejercer influencia.
- Es un instrumento fundamental para dirigir, con eficacia, a uno mismo y a los demás.
- Sirve para comprender la complejidad de un proceso y descubrir la forma de mejorarlo.

Existen nuevos desarrollos que buscan la aplicación práctica del enfoque sistémico para la construcción de disciplinas o resolver problemas de la realidad. A continuación describimos aquellas que se aplican a la ingeniería:

Cibernética: Esta ciencia se basa en la retroalimentación, explica los mecanismos de comunicación y control en las máquinas o seres vivos que ayudan a comprender los comportamientos generados por estos sistemas que se caracterizan por sus propósitos, motivados por la búsqueda de algún objetivo, con capacidades de auto-organización y de auto-control.

Teoría de la Decisión: En este campo se siguen dos líneas diferentes de análisis. Una es la Teoría de la Decisión misma, que busca analizar la selección racional de alternativas dentro de las organizaciones o sistemas sociales. La otra línea de análisis, es el estudio de la "conducta" que sigue el sistema social, en su totalidad y en cada una de sus partes, al afrontar el proceso de decisiones.

Topología o Matemática Relacional: Es una rama de las matemáticas que estudia las propiedades de las figuras con independencia de su tamaño o forma. Se interesa por conceptos como proximidad, número de agujeros, el tipo de textura que presenta un objeto, comparar objetos y clasificar, entre otros múltiples atributos donde destacan conectividad, compacidad, métricidad, etc.

Ingeniería de Sistemas: Realiza un trabajo transdisciplinario y se refiere a la planeación, diseño, evaluación y construcción científica de sistemas hombre-máquina. El interés teórico de este campo se

encuentra en el hecho de que aquellas entidades cuyos componentes son diferentes se les puedan aplicar el análisis de sistemas.

Investigación de Operaciones: Es el control científico de los complejos problemas que surgen de la dirección y la administración de los grandes sistemas compuestos por los hombres, máquinas, materiales y dinero en la industria, el comercio, el gobierno y la defensa. Su enfoque es desarrollar un modelo con el cual predecir y comparar los resultados de las diferentes decisiones, estrategias o controles alternativos, para ayudar a la administración a determinar su política y sus acciones de una manera científica.

2.5 Definición de sistemas

Para Bertalanffy (1989), sistema es un complejo de elementos interactuantes. Mientras que O'Connor (1998) define al sistema como algo que fundamenta su existencia y sus funciones como un todo mediante la interacción de sus partes.

Para Hart (1985), “todo sistema tiene una estructura relacionada con el arreglo de los componentes que lo forman y tiene una función relacionada con cómo ‘actúa’ el sistema.”

Un sistema es un conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo y contribuir a un determinado objetivo. La forma de la interrelación define su *organización* y la transformación que realiza entre la entrada y salida define su *función*.

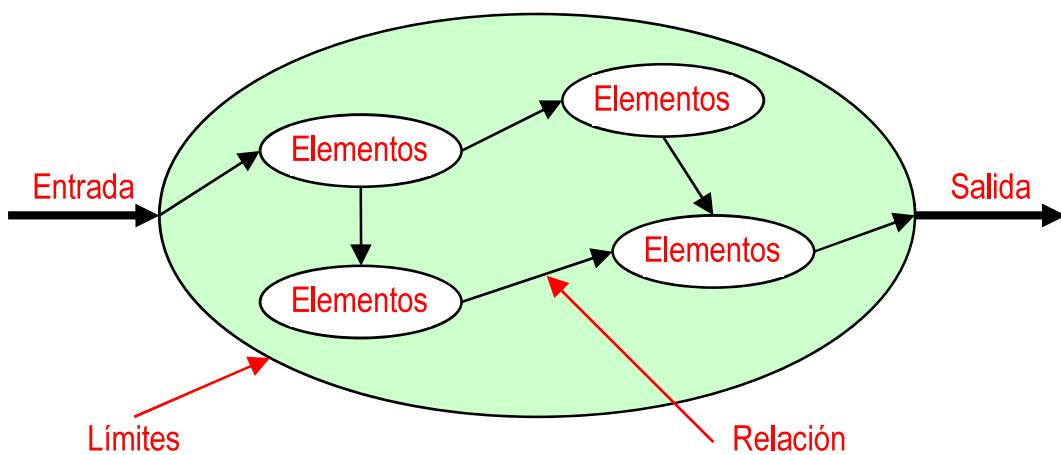


Figura 2.9: Componentes de un sistema

Un sistema está formado por dos características (organización y función) y por cinco componentes (entradas, salidas, elementos, relaciones y límites).

La **organización** del sistema depende de cómo se relacionan los elementos, es decir, de cuantos elementos está formado el sistema, qué tipos de elementos son y si la relación entre los elementos es directa o inversa. La cantidad y tipo de elementos del sistema determinan su fortaleza o debilidad, pero la forma de interrelacionarse es más importante y genera puntos de apalancamiento para generar nuevas características. La personalidad del decano podría influir en el gobierno de la facultad y su forma de relación con los profesores, estudiantes y trabajadores creará un ambiente que facilite o dificulte la gestión.

La organización puede ser lineal, circular o paralela.

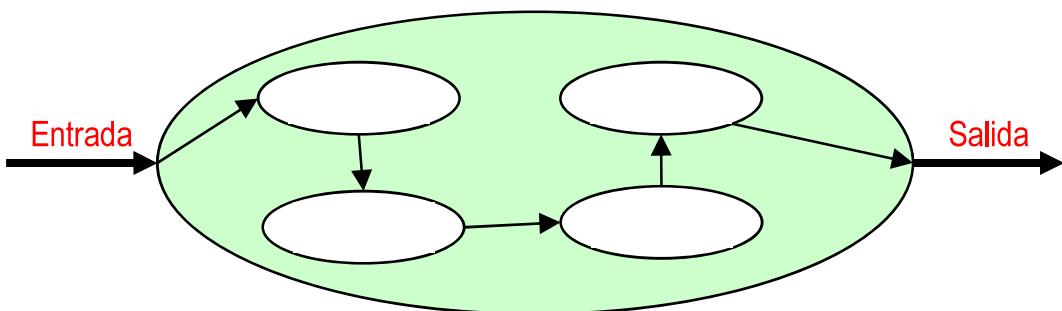


Figura 2.10: Organización lineal

La organización es lineal cuando el proceso es secuencial. Por ejemplo una línea de producción, la cadena alimenticia de un ecosistema, la enseñanza tradicional (primero teoría, después la práctica).

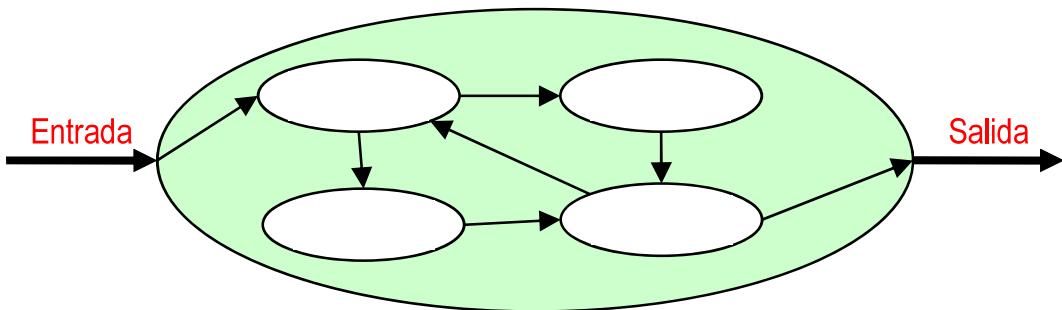


Figura 2.11: Organización circular

La organización circular es cuando existe un proceso de realimentación. Las celdas de producción, el ciclaje de nutrientes de un ecosistema, la enseñanza interactiva (realimentación permanente). Los ciclos pueden ser positivos o negativos (ver tabla 2.5).

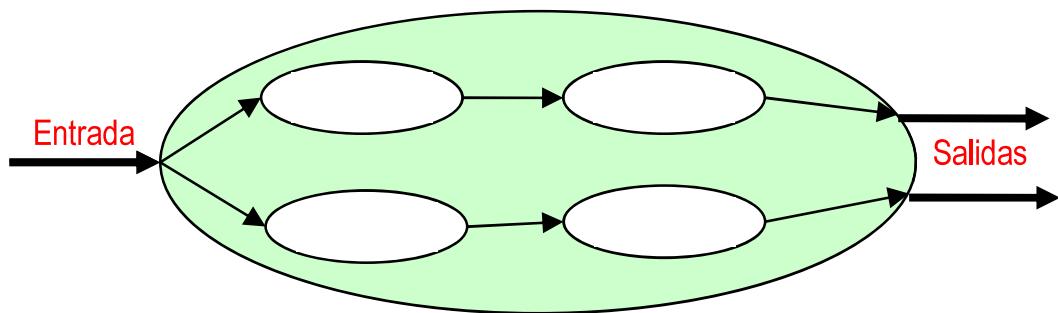


Figura 2.12: Organización paralela

La organización paralela es cuando existe competencia dentro del sistema y se generan dos procesos paralelos. Líneas de producción en paralelo, dos plantas compitiendo por los nutrientes, las cátedras paralelas en la universidad.

Algunos sistemas complejos pueden tener los dos o tres tipos en su organización.

Las relaciones son muy importante en los sistemas, a tal grado que las relaciones pueden ser simbióticas (dependencia), sinérgicas (ganar-ganar) y superfluas.

La **simbiosis** es cualquier asociación de individuos en la que sus integrantes se benefician unos de otros. Los individuos son sistemas que pueden tener un funcionamiento independiente.

La **sinergia** es un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema. Este concepto responde al postulado aristotélico que dice que "el todo no es igual a la suma de sus partes".

La **homeostasis** es la capacidad de un sistema de adaptarse a su contexto. La entropía es el desgaste que presenta un sistema en el transcurso del tiempo.

El estudio de los fenómenos actuales requiere del enfoque holístico y el enfoque reduccionista. El **Holismo** es un método sintético que busca estudiar el todo o globalidad y las relaciones entre sus partes; con este enfoque se ponen de manifiesto las propiedades emergentes, las que resultan del comportamiento global y de las relaciones entre los componentes. El **Reducciónismo** es un método analítico que observa por separado los componentes. Ambos enfoques son complementarios.

Para comprender y explicar el funcionamiento de un fenómeno se recurre a la construcción de modelos mediante la observación y el análisis-síntesis.

Los modelos son versiones simplificadas de la realidad, dependen de la subjetividad del observador y de la eliminación de variables irrelevantes. Un modelo no es la realidad y no es aplicable fuera del entorno para el que fue formulado. Cada persona tiene su propio modelo mental de la realidad. Los modelos matemáticos son modelos formales que nos aproximan a la realidad.

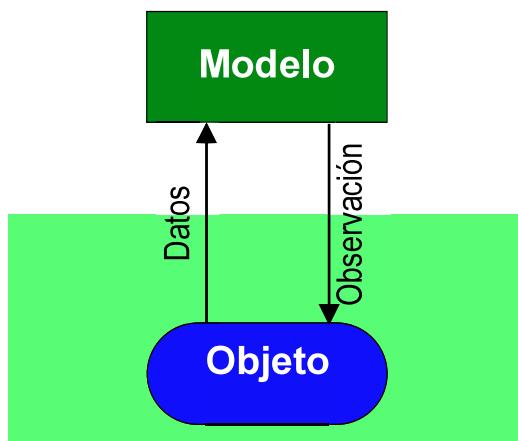


Figura 2.13: El sistema no es el objeto, es el modelo

2.6 Pensamiento sistémico

El pensamiento sistémico es la actitud del ser humano, que se basa en la percepción del mundo real en términos de totalidades para observarlo, comprenderlo y accionarlo, a diferencia del planteamiento del método científico, que sólo percibe partes de éste y de manera desconectada.

El pensamiento sistémico aparece formalmente hace unos 45 años atrás, a partir de los cuestionamientos que desde el campo de la Biología hizo Ludwig Von Bertalanffy, quien cuestionó la aplicación del método científico en los problemas de la Biología, debido a que éste se basaba en una visión mecanicista y causal, que lo hacía débil como esquema para la explicación de los grandes problemas que se dan en los sistemas vivos.

Éste cuestionamiento lo llevó a plantear la reformulación global del pensamiento para entender mejor el mundo que nos rodea, surgiendo formalmente el paradigma de sistemas.

El pensamiento sistémico es integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las conclusiones que nacen a partir de allí,

proponiendo soluciones en las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. La base filosófica que sustenta esta posición es el Holismo (del griego *holos* = entero).

Bajo la perspectiva del enfoque de sistemas la realidad que concibe el observador que aplica esta disciplina se establece por una relación muy estrecha entre él y el objeto observado, de manera que su "realidad" es producto de un proceso de construcción entre él y el objeto observado, en un espacio–tiempo determinados, constituyéndose dicha realidad en algo que ya no es externo al observador y común para todos, como lo plantea el enfoque habitual, sino que esa realidad se convierte en algo personal y particular, distinguiéndose claramente entre lo que es el mundo real y la realidad que cada observador concibe para sí. Las filosofías que enriquecen el pensamiento sistémico contemporáneo son la fenomenología de Husserl y la hermenéutica de Gadamer, que a su vez se nutre del existencialismo de Heidegger, del historicismo de Dilthey y de la misma fenomenología de Husserl.

La consecuencia de esta perspectiva sistémica, fenomenológica y hermenéutica es que hace posible ver a la organización ya no como que tiene un fin predeterminado (por alguien), como lo plantea el esquema tradicional, sino que dicha organización puede tener diversos fines en función de la forma cómo los involucrados en su destino la vean, surgiendo así la variedad interpretativa. Estas visiones estarán condicionadas por los intereses y valores que posean dichos involucrados, existiendo solamente un interés común centrado en la necesidad de la supervivencia de la misma.

Así, el Enfoque Sistémico contemporáneo aplicado al estudio de la tecnología plantea una visión inter, multi y transdisciplinaria que le ayudará a observar el funcionamiento de la tecnología dentro de su contexto; la organización, de manera integral permitiéndole identificar y comprender con mayor claridad y profundidad los problemas tecnológicos, sus múltiples causas y consecuencias.

La tecnología sirve a las personas, satisface sus necesidades, por lo tanto, su diseño, construcción y funcionamiento se realiza en interacción con las personas. La interacción hombre máquina se convierte en un sistema que requiere para su estudio de disciplinas integradas. Para detectar su problemática será necesario considerar a la tecnología dentro de un contexto socio económico que permita un desarrollo viable y sostenible.

Entonces ¿Qué es el Pensamiento Sistémico?

Es un modo de pensamiento que contempla el todo y sus partes, así como las conexiones entre éstas. Estudia el todo para comprender las partes y viceversa.

El pensamiento sistémico va más allá de lo que se muestra como un incidente aislado, para llegar a comprensiones más profundas de los sucesos.

Es un medio de reconocer las relaciones que existen entre los sucesos y las partes que los protagonizan, permitiéndonos mayor conciencia para comprenderlos y capacidad para poder influir o interactuar con ellos.

Las destrezas que nos ayudarán a definir el sistema son:

- Identificar la función del sistema a partir de la transformación de entradas y salidas.
- Identificar los elementos del sistema a partir de las actividades a realizar dentro del sistema, para realizar la función.
- Relacionar los elementos del sistema, identificando el tipo de organización: lineal, circular o paralela.
- Evaluar la organización del sistema contrastándolo con la función que realiza.
- Describir el sistema, siguiendo el proceso que sigue la organización para ejecutar la función.

Pasar por alto el funcionamiento sistémico de las cosas, implica resolver problemas para un plazo muy corto con faltas de precisión y con posibilidad de generar nuevos problemas a futuro.

Al no atender las cosas como parte de un conjunto global, lo hacemos como si existieran por sí solas, sin tener en cuenta que nada ha surgido sin la intervención de otras partes, y todo el sistema que las sostiene con sus procesos previos.

¿Por qué el pensamiento sistemático?

Nos han enseñado a pensar de manera lógica desde alguna lógica; a comprender desde el análisis, descomponiendo los sucesos en partes para luego volver a unirlas (Síntesis).

En algunos casos esto funciona, pero no cuando intentamos aplicarlo de forma indiscriminada en los sistemas. Manejar sistemas es algo más complicado, y no funcionan las lógicas lineales simples.

Las personas, los acontecimientos, no son tan fáciles de predecir o de resolver, como ecuaciones matemáticas. Se escapan a las soluciones rápidas o escuetas.

La razón por la que el pensamiento tradicional resulta insuficiente para manejar sistemas, es porque es un modelo que tiende a atender secuencias simples de causas y efectos, -limitadas en el tiempo y los factores de modo lineal- sin percibir otros modelos innovadores o en bucles más eficaces, donde se contemplan combinaciones de factores que se influyen mutuamente.

No atender que cada desenlace o proceso que se efectúa, no es algo aislado, sino que interactúa con el resto del cosmos, nos aboca a una visión reducida y en ocasiones al fracaso.

Por lo tanto, cuanto más contemplemos nuestras actuaciones desde lo global, más precisas serán. No podemos olvidar que estamos inmersos dentro de un inmenso sistema que es la Tierra y el cosmos, y que del modo que sea, lo que hagamos los afectará.

No hay éxito en lo que hagamos, si no hay éxito para el sistema al que pertenecemos

¿Cómo es el pensamiento sistémico?

El pensamiento sistémico es una capacidad intelectual que nos permite identificar la recursividad, la realimentación y los caracteres emergentes en el funcionamiento de las cosas.

O'Connor y McDermott (1998, p. 270) definen el pensamiento sistémico como la capacidad del ser humano para reconocer y aplicar los principios sistémicos de la realimentación, las propiedades emergentes y el pensamiento circular.

La **recursividad** es un término que se aplica a sistemas dentro de sistemas mayores y a ciertas características particulares, más bien funciones o conductas propias de cada sistema, que son semejantes a la de los sistemas mayores. Principio de Recursividad argumenta que cualquier actividad que es aplicable al sistema lo es para el suprasistema y el subsistema.

La **realimentación** es una reacción del sistema que devuelve información o estímulo al sistema y que influye en el paso siguiente. Hay dos tipos de realimentación: de refuerzo y de compensación. La realimentación de refuerzo produce más cambios en la misma dirección; refuerzan el efecto del cambio original. La realimentación de compensación produce cambios en sentido contrario; amortigua el efecto de cambio original.

Los **caracteres emergentes** de los sistemas son diferentes a los caracteres de las partes que la componen y pueden observarse solo cuando el sistema está en funcionamiento.

¿Para qué sirve y en qué se aplica el pensamiento sistémico?

Se aplican para alcanzar más precisión en nuestras actuaciones con la persona, la familia, los hijos, la pareja, las finanzas, la economía, las organizaciones, las empresas -con sus cadenas de producción o gestión- e incluso a las naciones, al medio ambiente, los ecosistemas.

Sirve para ejercer una influencia más certera y precisa en nuestra vida. Permite descubrir patrones que se repiten en los acontecimientos. La persona puede controlar mejor su salud, su trabajo, su situación económica, sus relaciones... Es útil para realizar previsiones y prepararse hacia el futuro. Proporciona métodos eficaces y mejores estrategias para afrontar los problemas.

No hay tal triunfo si no se da en todos los niveles del sistema. Todo está conectado y todo interactúa. La aparición de la viagra, a miles de kilómetros del hábitat de los rinocerontes, ha permitido la recuperación de su población. No porque los rinocerontes padecieran de impotencia, sino porque ahora ya no los matan para usar sus cuernos como afrodisíaco.

No sirve únicamente para resolver los problemas, también para modificar el pensamiento que los origina. Sirve para evitar o reducir considerablemente el esfuerzo bruto o permanente ante los problemas. No se trata de empujar para mover las cosas sino más bien averiguar y eliminar lo que impide que se muevan. Cuando has eliminado lo que impide el movimiento todo fluye suave y fácilmente.

El pensamiento sistémico es una buena base para ampliar el razonamiento claro, la buena comunicación y nuestro punto de vista. Lo obvio a veces no es tan obvio, ni los criterios mayoritarios son siempre los acertados. Desde diversas perspectivas se accede a una percepción más amplia y precisa, que nos permite saber con más exactitud qué, cómo y por qué ocurre algo y cómo podemos planificar nuestras actuaciones a largo plazo.

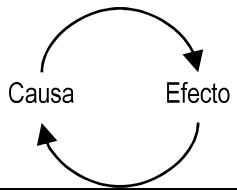
El pensamiento sistémico permite disponer, con más amplitud, del potencial de los individuos. Por ejemplo, hay una tendencia a culpar a los individuos, cuando algo no va bien. La culpa está mal enfocada porque son las propiedades del sistema las que establecen las bases para los resultados y no el esfuerzo de las personas.

Para ejercer alguna influencia en un sistema, hay que conocer su estructura. El pensamiento sistémico es un instrumento fundamental para guiarse uno mismo y dirigir a otros con eficacia.

En la sociedad y las organizaciones, sirve para comprender la complejidad de los procesos de funcionamiento, procesos de gestión, procesos de soporte, y descubrir la forma para mejorarlo. Para Senge (1998) el Pensamiento Sistémico, es una disciplina para ver totalidades, un marco para ver interrelaciones en vez de cosas aisladas. Es la habilidad de encontrar patrones de cambio y de entender cómo las partes afectan al todo.

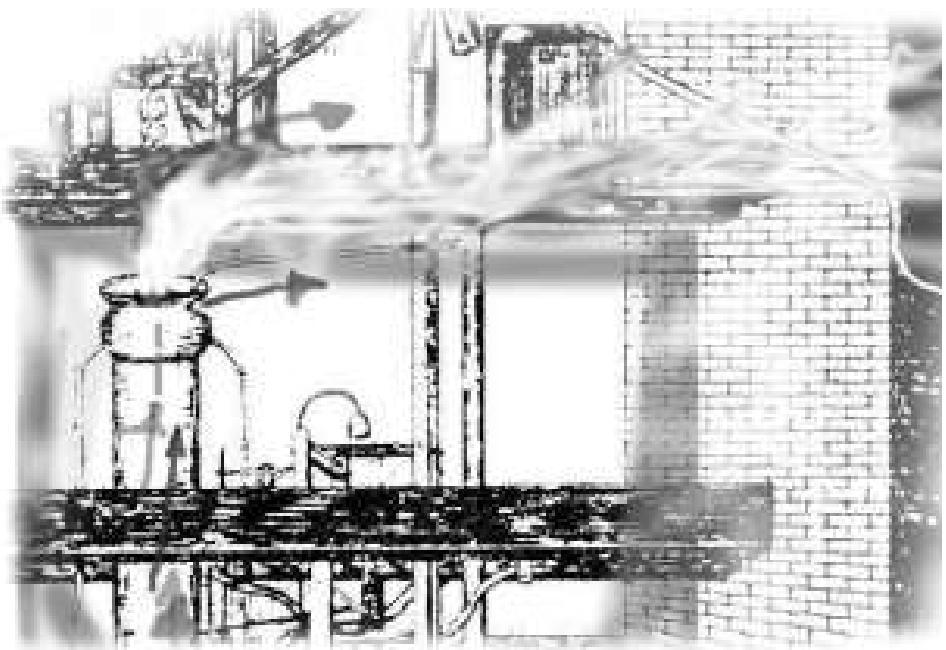
2.7 Herramientas del pensamiento sistémico

Tabla 2.2: Herramientas del pensamiento sistémico

N	Herramienta	Contenido
1	Entender las leyes fundamentales	<ul style="list-style-type: none"> Los problemas de hoy se derivan de las soluciones de ayer Hacer más presión no mejorará los resultados Hay que enfocarse en las causas, no en los síntomas La "salida fácil" no lleva a ningún lado La cura puede ser peor que la enfermedad Lo más rápido es lo más lento Existe demora entre la causa y el efecto Los pequeños cambios pueden producir grandes resultados Se pueden alcanzar dos metas, aparentemente contradictorias Dividir un elefante por la mitad no genera dos elefantes pequeños No hay que culpar a los demás
2	Círculos de causalidad 	<p>El pensamiento sistémico está constituido de relaciones entre causa y efecto que construyen la realidad. No hay influencias en una sola dirección.</p> <p>Entender la estructura y los factores que se influencian uno al otro, permite ver cómo un cambio en una parte del sistema produce cambios en otras partes.</p>
3	Refuerzo y equilibrio de la retroalimentación y las demoras	<p>Observar los sistemas e identificar las estructuras permite obtener los resultados deseados.</p> <ul style="list-style-type: none"> La retroalimentación reforzadora, motor del crecimiento. Resolver el problema de fondo, no el síntoma
4	El principio de la palanca	<p>Hallar el punto donde pequeños actos y modificaciones en la estructura pueden conducir a mejoras grandes y duraderas. las mejores soluciones con frecuencia provienen de esfuerzos pequeños pero enfocados</p>
5	El arte de ver los árboles sin dejar de ver el bosque	<p>El pensamiento sistémico no significa ignorar la complejidad, sino organizarla en una exposición coherente que evidencie las causas de los problemas y el modo de remediarlos de forma duradera y apalancada.</p>

12

El paradigma sistémico: la Teoría General de Sistemas



La integración de estos dos paradigmas complementarios, que son el estructuralista y el cibernético, empieza a construirse explícitamente a partir de 1958 para dar lugar al **paradigma sistémico**. Fue intuido de forma genial y bautizado hacia 1930 por Ludwig von Bertalanffy como el **Sistema Generalizado**. Hay que advertir que el nombre [2] con el que Bertalanffy presentó su teoría fue el de “**General System Theory**”, que puede ser traducido tanto como por **Teoría General del Sistema** como por **Teoría del Sistema General o Generalizado**, y ambas traducciones, al par que válidas, reflejan los dos objetivos del pensamiento sistémico:

- a) por una parte es una teoría generalista que ofrece una visión unitaria del mundo hasta hace poco insospechada, devolviendo a la palabra **Universo** su carácter global absoluto;
- b) por otro lado, es una teoría para modelar objetos, naturales o artificiales, simples o complejos, existentes o por aparecer, con ayuda de una herramienta que es el **sistema generalizado**, del que J.L. Le Moigne, en su espléndido libro “*La théorie du système général*” [3], aceptando una definición de la palabra objeto tan amplia como se quiera, da una primera definición:

*“un **objeto** dotado de fines u objetivos que, en un entorno bien delimitado, ejerce una **actividad**, a la vez que ve evolucionar su **estructura interna** a lo largo del tiempo sin perder por ello su identidad”.*

La Figura 10 refleja esquemáticamente este objeto activo y estructurado que evoluciona dentro de sus fronteras en relación con sus fines.

Cuando analizamos un objeto podemos fijar nuestra atención, con diferente peso, en cada uno de los tres aspectos que caracterizan a la herramienta que nos va a permitir modelizarlo: el aspecto **funcional**, que centra su estudio en la actividad que el objeto desarrolla, el **orgánico**, que enfoca su análisis en la estructura, tanto estática como dinámica, y el **genético**, que lo hace en su evolución y devenir, de tal forma que la percepción y el modelo que tengamos del objeto estudiado será una ponderación entre el ser, el hacer y el devenir del mismo. Cada ponderación nos conducirá a un modelo o sistema asociado al objeto modelo que puede ser representado en un diagrama triangular clásico, de tal manera que cuanto más próximo este el punto representativo del modelo (Figura 11) al centro de gravedad del triángulo tanto más armónico y equilibrado resulta.

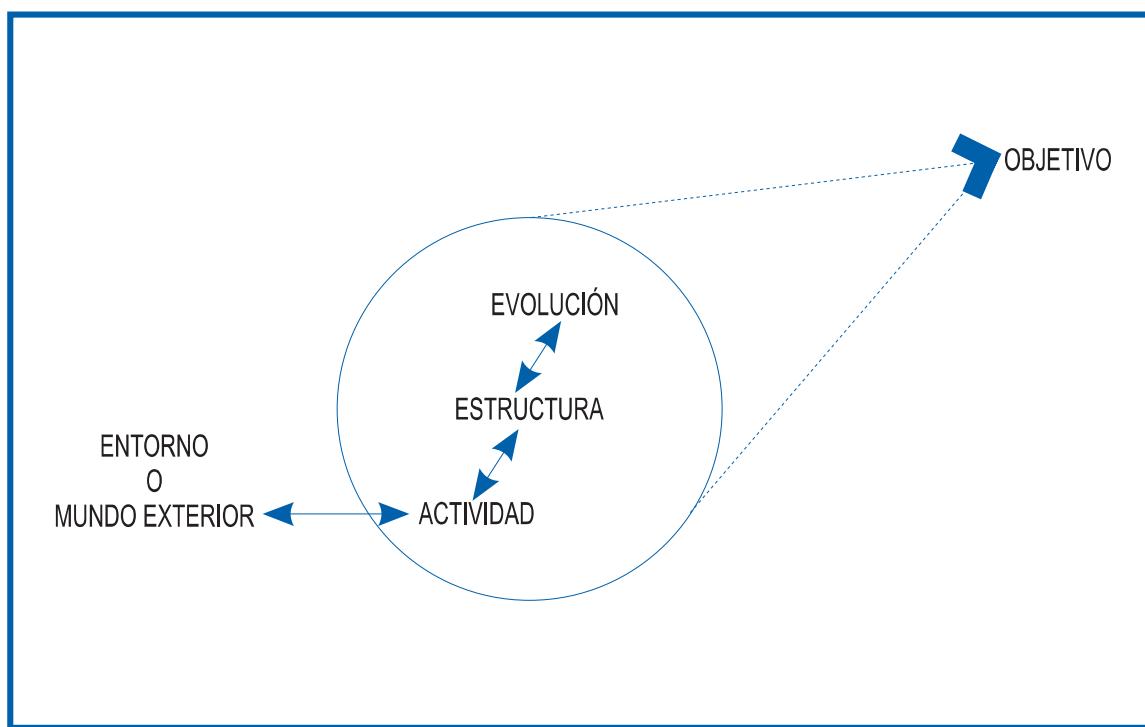


Figura 10. - EL SISTEMA GENERALIZADO -

LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

El modelo así establecido tiene todas las características de lo que hemos llamado un sistema general o generalizado, es decir, el tipo de relación que los matemáticos designan con el nombre de **isomorfismo**, mientras que el modelo obtenido puede ser válido no sólo para el objeto percibido en concreto, sino que puede haber otros muchos objetos, recordemos los casos descritos en el Capítulo 6, de naturaleza completamente distinta pero que para nuestros fines podrían ser descritos por el mismo modelo; es lo que los matemáticos designan con el nombre de **homomorfismo**. De igual forma de un mismo objeto podrían establecerse muy diversos modelos, cada uno de los cuales sería isomorfo al sistema generalizado y homomórfico con el objeto percibido. Esto es lo que se quiere reflejar en la Figura 12. No es así de extrañar que de cosas y personas haya tantas opiniones como opinantes.

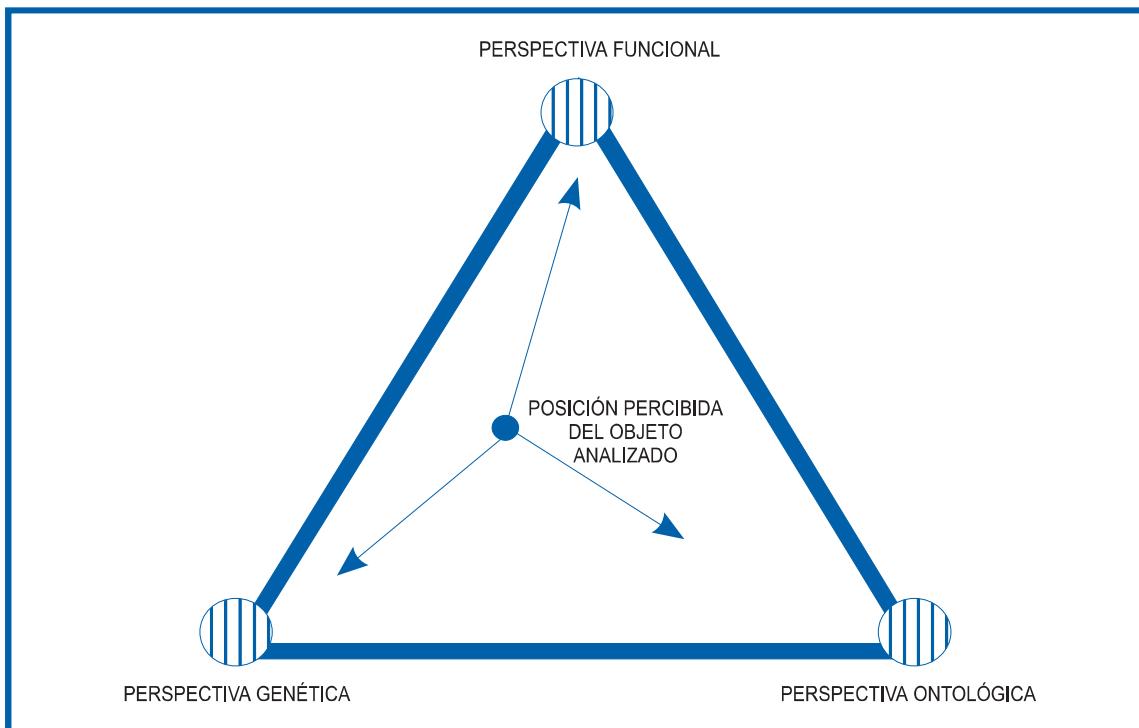


Figura 11. - TRIPLE PONDERACIÓN SISTÉMICA DE UN OBJETO -

El paradigma sistémico: la Teoría General de Sistemas.

Es obvio que la introducción de este paradigma no debe ser entendido como la culminación del pensamiento humano. Actualmente es generalmente aceptado el llamado **principio de inconmensurabilidad** (¡qué palabreja!) **lógica** entre los sucesivos paradigmas, que pone de relieve la imposibilidad de dar una prueba estricta de la superioridad de un paradigma sobre otro.

Por otra parte según la epistemología actual, basada en la historia de las ciencias concretas, toda ciencia empírico-formal estructurada, así como su método de investigación, por más que recoja durante años resultados importantes fruto de un serio esfuerzo intelectual y experimental, es ciencia humana, y por tanto contingente.

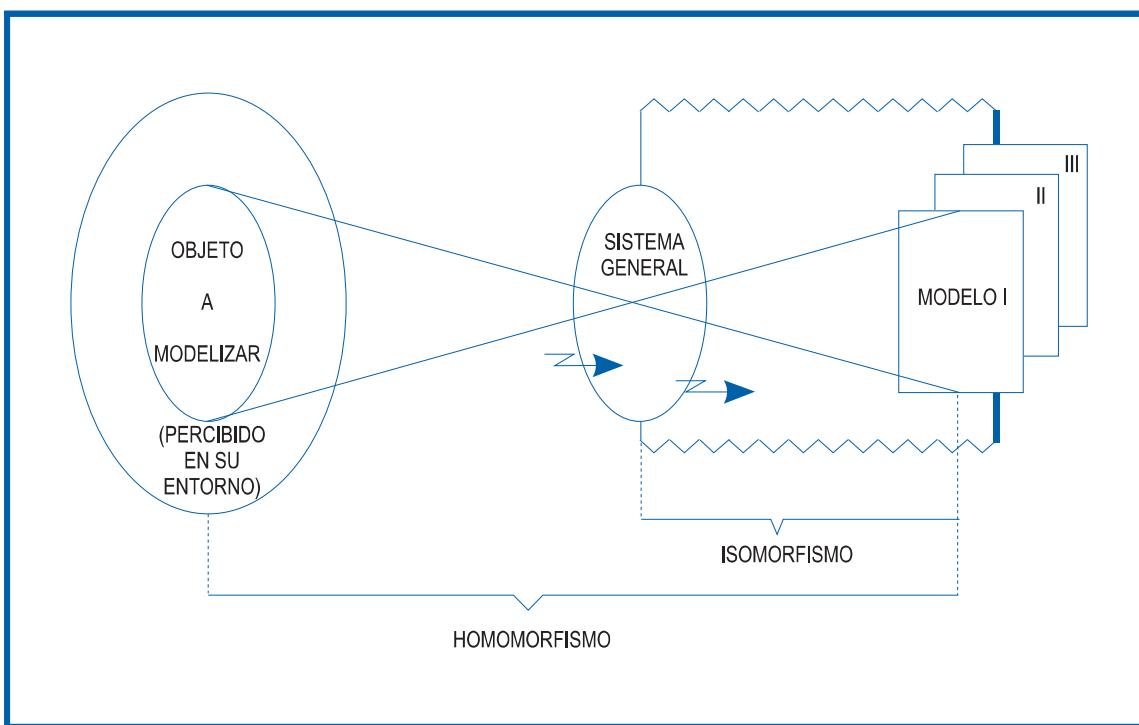


Figura 12. - EL HOMOMORFISMO-ISOMORFISMO SISTÉMICO -

A estas alturas ya me resulta imposible resistir mi deformación profesional y le voy a mandar deberes. Si le parece vamos a hacer una prueba, sugerida por R.L. Ackoff, para ver si he conseguido explicar lo que es el Sistema Generalizado. A tal fin observe la Figura 13; sin doblar el papel ni levantar el lápiz de él se pretende unir los nueve puntos con un trazo de cuatro segmentos de línea recta. Inténtelo.

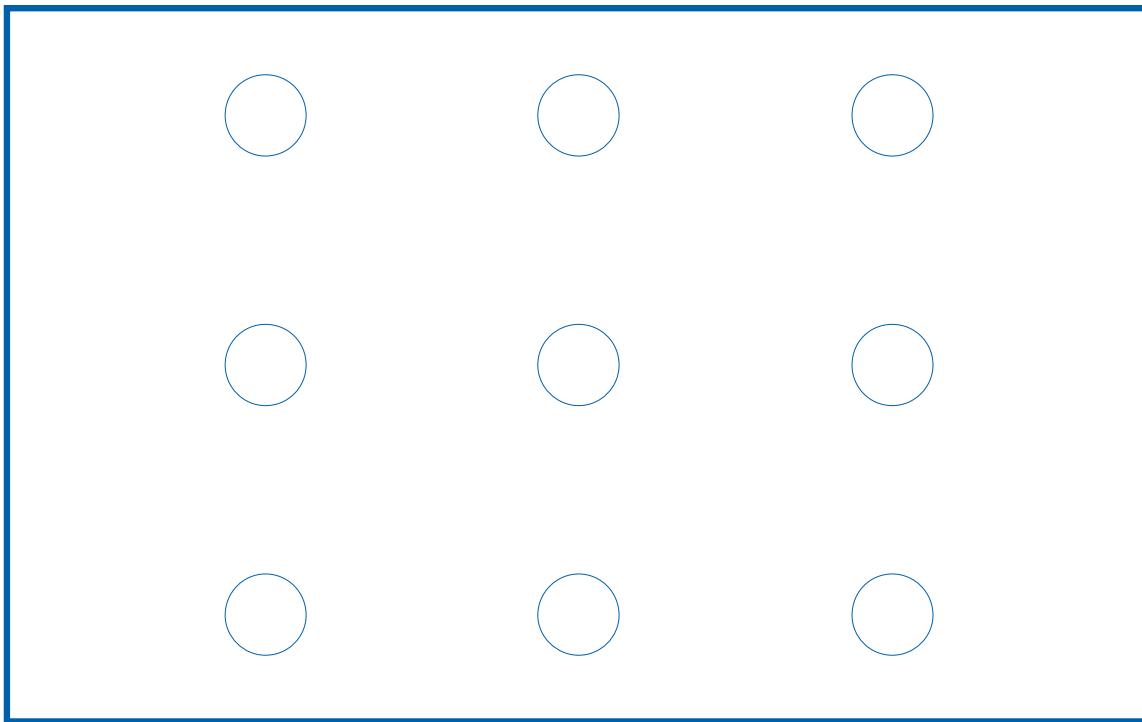
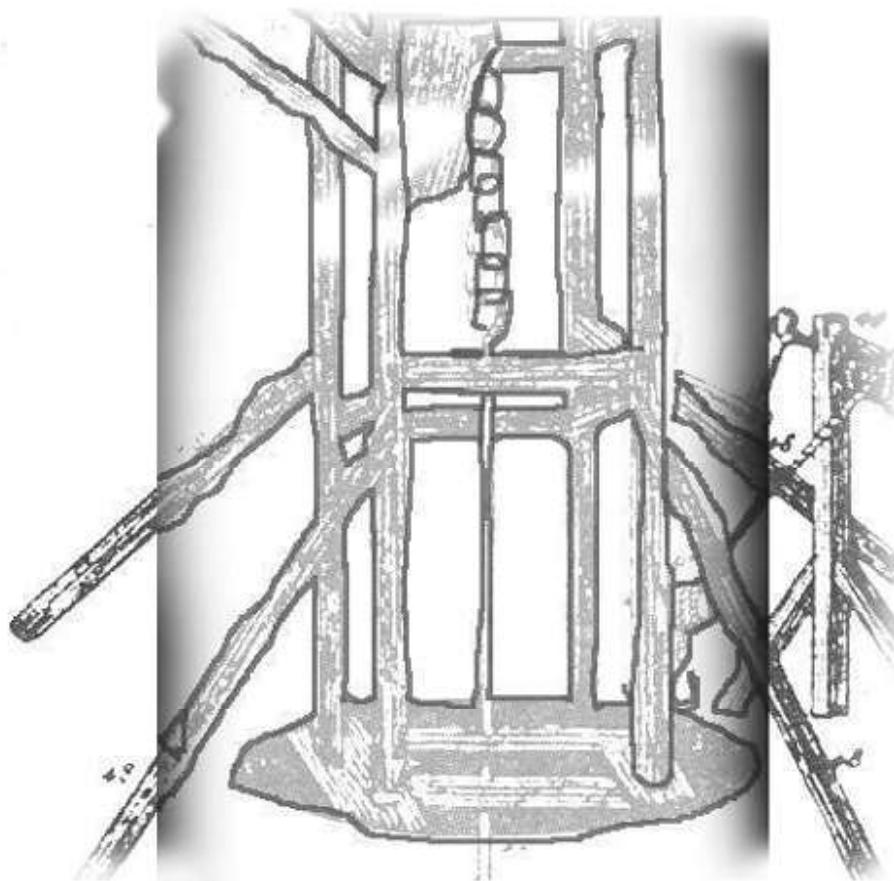


Figura 13. - PROBLEMA ELEMENTAL DE MODELIZACIÓN SISTÉMICA -



13

El sistema de representación



J. de Anaya
Burgesses
STAEP

¿Resolvió el problemita anterior? Si lo hizo, enhorabuena para los dos. Si no fue así, no se preocupe; lo único que ha ocurrido es que no ha percibido el objeto dentro de un entorno. No se limite a considerar tan sólo los nueve puntos y amplíe su campo de percepción al “exterior” del cuadrado, de forma que pueda dibujar por el mismo una parte de los segmentos; inténtelo de nuevo y, en todo caso, al final de este Capítulo le daré una solución.

De la misma forma que una cámara de fotos es un útil que permite obtener una imagen o modelo, una fotografía en este caso, más o menos aproximado del objeto fotografiado, dependiendo de los conocimientos técnicos, la sensibilidad y los objetivos que con la fotografía persigue el fotógrafo, el Sistema Generalizado y la Teoría General de Sistemas, su “soporte técnico”, son herramientas que permiten, tomando la terminología de Le Moigne, **sistemografiar** un objeto real obteniendo, de acuerdo con los fines del modelizador un modelo al que llamaremos **sistema**. El proceso de generación y el propio sistema que resulta como modelo son a su vez y conjuntamente un modelo sistémico del modelizador pues en nuestros modelos nos reflejamos nosotros mismos; no sea pues demasiado duro al “modelar” a otros: lo que piense de los otros es un reflejo de lo que es usted mismo; en particular, no haga un modelo demasiado crítico del libro.

Este modelo del modelizador es conocido como **Sistema de Representación** y es a los efectos que nos ocupa lo que el binomio

fotógrafo-cámara de marca o tipo específico es al modelo fotográfico. Así, y tal como muestra la Figura 14, la obtención de un modelo de un objeto desde la perspectiva de la Teoría General de Sistemas es el resultado de la acción conjunta del modelizador, el sistema de representación y el sistema generalizado.

De esta forma, el modelizador, al crear un sistema o modelo sistémico del objeto estudiado, pretende, no ya copiar el objeto, cosa que por lo demás puede ser imposible, sino que, actuando sobre el objeto a partir del modelo, transformarlo a la vez que incrementa su conocimiento del mismo. Le ocurre al modelizador sistémico lo que al Holandés Errante: está condenado a reconcebir continuamente sus modelos, porque ellos, a su vez, le reconciben a él. No hay acción de algún tipo que no tenga su reacción, tal como el biólogo polaco Theodor Dobzhanski resume en un corto poema:

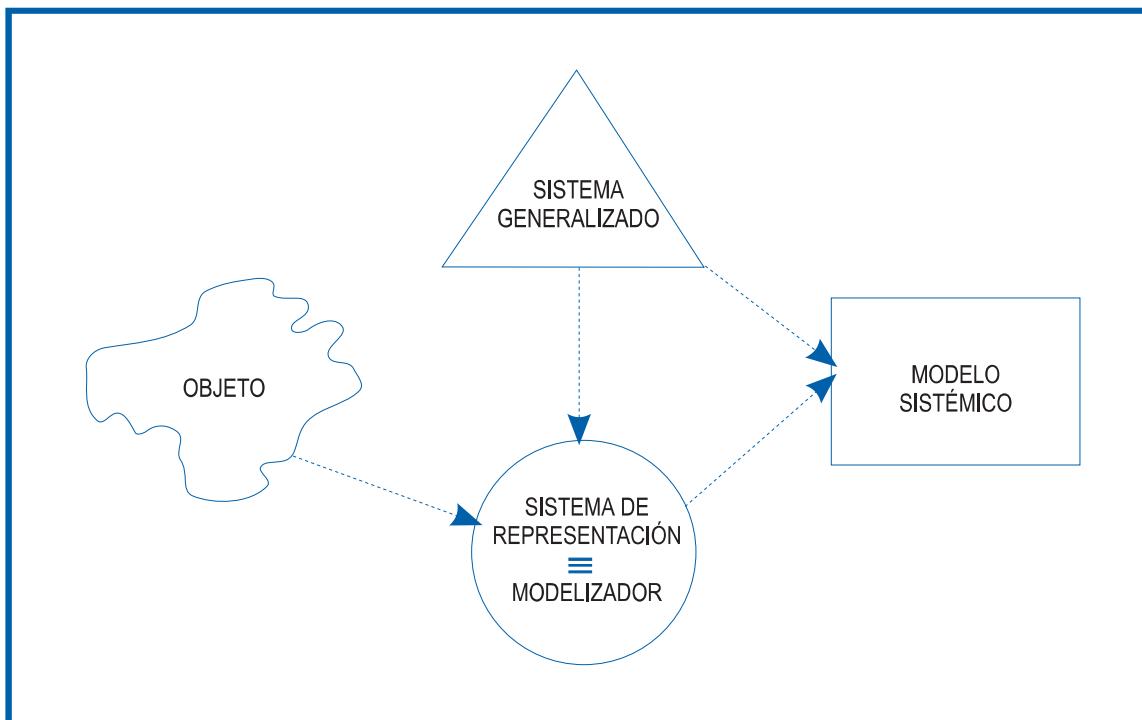


Figura 14. - LA MODELIZACIÓN SEGÚN LA T.G.S. -

*Al cambiar lo que sabe sobre el mundo
el hombre cambia el mundo que conoce;
al cambiar el mundo en el que vive,
el hombre se cambia a si mismo.*

¡Ah!, antes de seguir, y por si no tuvo éxito, le doy la solución prometida al problema de los puntos. Es la Figura 15.

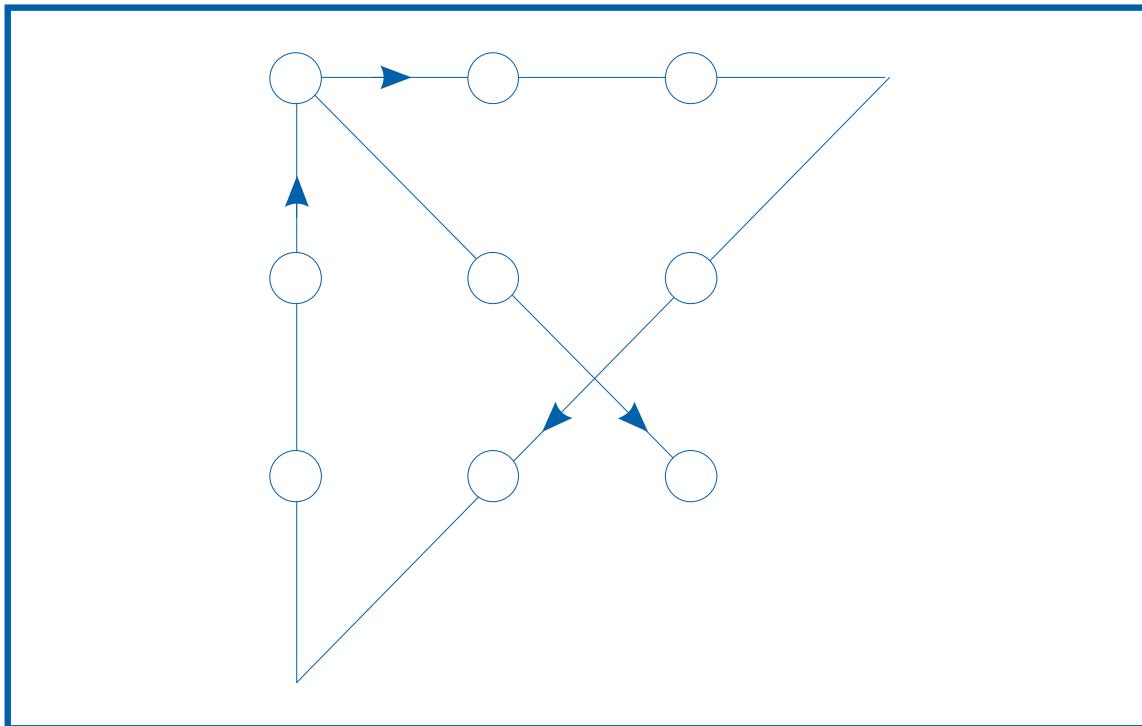


Figura 15. - UNA SOLUCIÓN SISTÉMICA AL PRIMER PROBLEMA ELEMENTAL DE MODELIZACIÓN -

INTRODUCCIÓN AL MUNDO SISTÉMICO

*Ningún ser humano es una isla en sí mismo;
cualquier ser humano forma parte del todo.
La muerte de cualquier persona me disminuye
porque yo tengo un vínculo con la humanidad,
así pues, no preguntes por quién doblan las campanas;
doblán por ti.*

Jhon Donne

Para introducirnos en el mundo de los sistemas, vamos a realizar un ejercicio. Primero, veamos fijamente la imagen representada en la figura 1 y respondamos las preguntas que se presentan a continuación:

1. ¿Qué podemos decir con respecto a lo que estamos viendo?

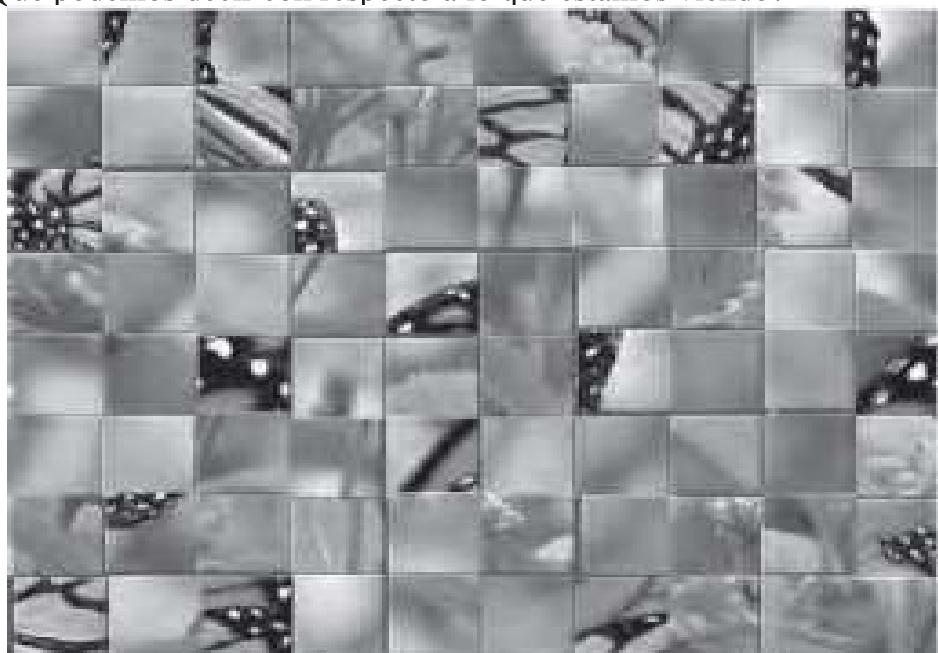


Figura 1

2. ¿Es claro lo que allí se representa?
3. ¿Cuáles son las posibles causas que impiden la claridad de la imagen?

No es fácil definir la figura 1, y aunque parece ser que entre aquellas piezas se encuentra una mariposa, es más el resultado de la percepción y el conocimiento adquirido del observador, que la imagen misma la que lleva a dicha conclusión. Algo definitivo en esta imagen, es la falta de claridad, pues si bien llegamos a definir que es una mariposa, resulta evidentemente complejo el describirla, dado que los elementos que en este caso vienen a ser las piezas no se encuentran organizados apropiadamente y por lo tanto, las relaciones existentes entre ellos, no están bien definidas, lo cual impide una visión completa y clara del conjunto. He aquí entonces un ejemplo de lo que podríamos llamar conglomerado, que tal como lo define Johansen¹, es una totalidad desprovista de sinergia² o mejor aún, es un conjunto en el cual la suma de los elementos es igual al todo.

Para continuar con el tema, tomemos ahora uno de los elementos de la figura 1 y pensemos en la posibilidad de explicar el conjunto a partir de aquel.



¿A partir de este elemento, es posible describir los otros y el conjunto?

En vista de la ausencia de relaciones fuertes y bien definidas, podríamos acercarnos mucho a la descripción de los otros elementos a partir de este, pues todos ellos son cuadrículas, que poseen un mismo tamaño, una misma forma y tienen unos colores que a primera vista no representan nada en particular. Considerado así, hemos logrado una descripción, al menos general, de los demás elementos del conjunto. Por lo tanto, toma más fuerza la afirmación referente a la falta de sinergia del conglomerado, pues en un sistema en el que haya sinergia, no es posible explicar el todo a partir de las partes.

Realicemos un experimento más con nuestra figura. Extraigamos ahora algunas de sus partes y miremos qué tanto afecta a la totalidad (el conjunto) este proceso.

¹ Johansen Bertoglio Oscar. Introducción a la teoría general de sistemas. Limusa, México. 2002.

² Este concepto se desarrollará de manera más profunda en un apartado posterior de este documento.

Siendo honestos, la extracción de estos elementos no representa un cambio dramático en la figura (como se puede apreciar en la figura 2), pues aunque el espacio vacío es evidente y llama la atención de inmediato, el conjunto en sí mismo no ha perdido sus características iniciales; además, si tomásemos algunos elementos de otra parte para sustituir aquellos que fueron extraídos, el efecto final no traería un gran desajuste a la figura inicial, tal como lo podemos apreciar en la figura 3.

Si se hubiese eliminado la columna final (compuesta por los dos últimos elementos de la figura 2) y ampliáramos la figura para que cubriera el recuadro completo, sería

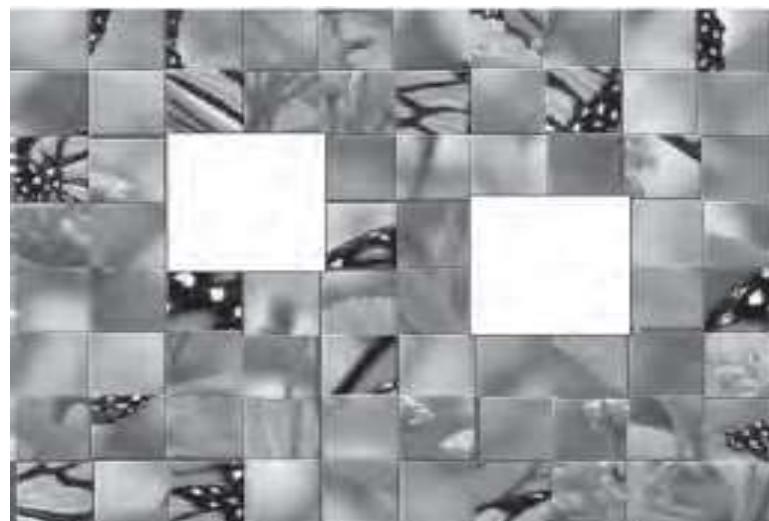


Figura 2

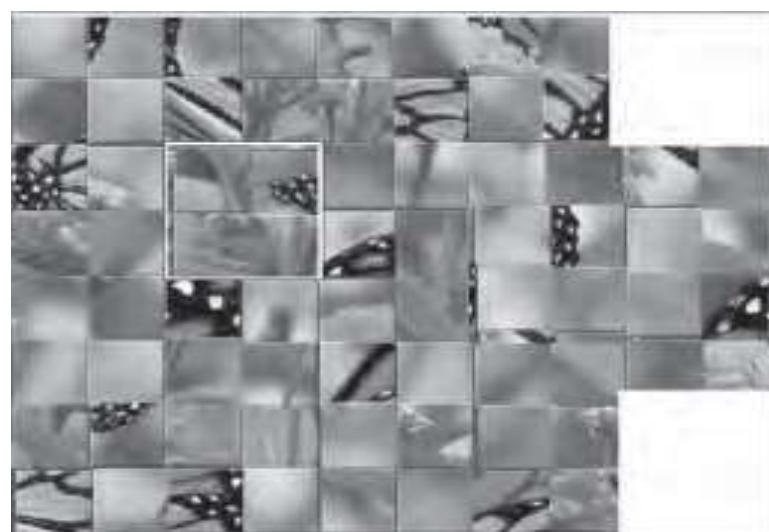


Figura 3

realmente difícil apreciar el cambio, a menos por supuesto que nos tomásemos la molestia de contar las piezas y nos diéramos cuenta que en lugar de 80 cuadrículas tenemos solamente 64.

Antes de enunciar alguna conclusión al respecto, miremos la figura 4, la cual presenta los mismos elementos de la figura 1 pero esta vez, parece que existe una pequeña diferencia, dado que las relaciones entre las partes están definidas y la totalidad aparece provista de sinergia.

En este caso, cuando tenemos una totalidad provista de sinergia, es decir, que la suma de sus partes es diferente al todo, podemos hablar de un sistema, y es claro en esta figura, que los elementos constituyen un todo diferente y en este caso mayor que cada uno de ellos como partes individuales.

Si repetimos el ejercicio anterior y extraemos uno de los elementos de la figura 4 con el fin de describir a los otros y el conjunto, ya no será posible, porque si bien, las partes individualmente no han cambiado, el sistema que conforman, va más allá de una



Figura 4

simple suma de ellas, no se trata ya de 80 piezas cuadradas que tienen en sí unos colores e imágenes ininteligibles, sino que todas ellas representan un todo mayor y diferente, el cual no se encuentra presente en las partes, sino que se nos revela cuando aquellas se interrelacionan y es en ese momento cuando emerge de esa unión un resultado nuevo y diferente y para nuestro caso, hermoso y colorido.

Cuando encontramos que el sistema presenta propiedades o características que no se encuentran en las partes, estamos hablando de emergencia³ o como algunos autores le denominan, las propiedades emergentes del sistema⁴.

Continuando con el experimento, ¿qué pasará si extraemos algunos elementos de la figura 4? ¿Continuará siendo el mismo sistema que tenemos?, ¿habrá cambios dramáticos en él?, o igual que con la figura 1, ¿simplemente se notará la ausencia, pero el resultado final no tendrá un impacto significativo con esta operación? Veamos la figura 5.

Si tomamos otras partes de este mismo sistema para reemplazar las que fueron extraídas, ¿será muy notorio el efecto en el sistema inicial?, ¿seguirá siendo el mismo sistema?

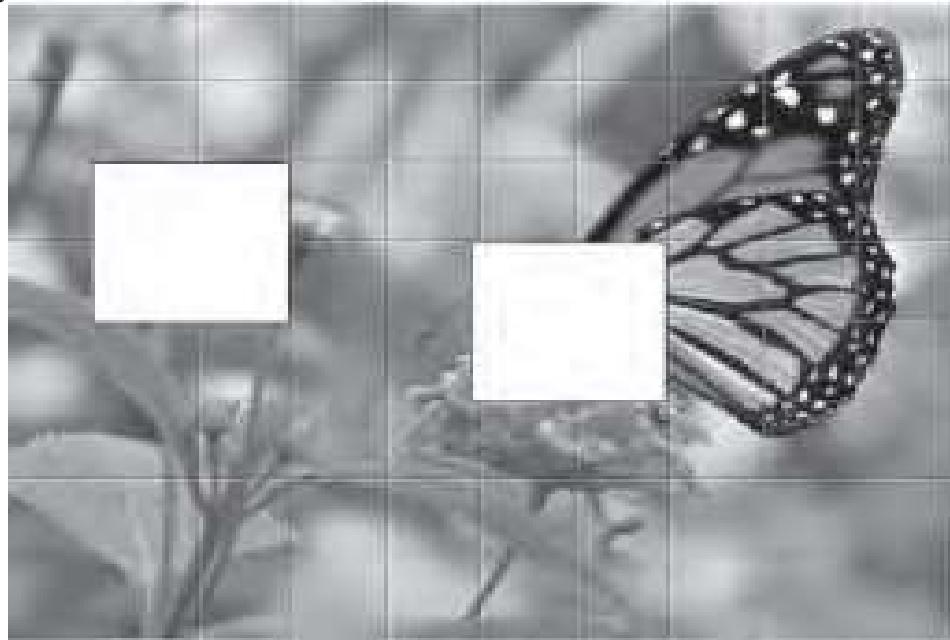


Figura 5

³ Igual que el concepto de sinergia, este será abordado de manera más profunda en un apartado posterior.

⁴ O'Connor Joseph y McDermott Ian. Introducción al Pensamiento Sistémico. Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Ediciones Urano, Barcelona. 1998.

Al observar la figura 6, es evidente que el sistema inicial ha desaparecido, nuestra imagen ha cambiado y ahora, dicho cambio se puede considerar dramático, puesto que el resultado actual es claramente diferente. El sistema que teníamos ha desaparecido porque los elementos y las relaciones existentes han sido modificados. En este momento, podemos comenzar a concluir acerca del pensamiento sistémico y el enfoque de sistemas.

Gracias al ejemplo desarrollado, algunas ideas empiezan a tornarse claras. Según lo observado, podemos decir que un sistema es un conjunto de elementos que funcionan relacionados, y cuyo resultado conjunto es diferente del resultado individual de cada

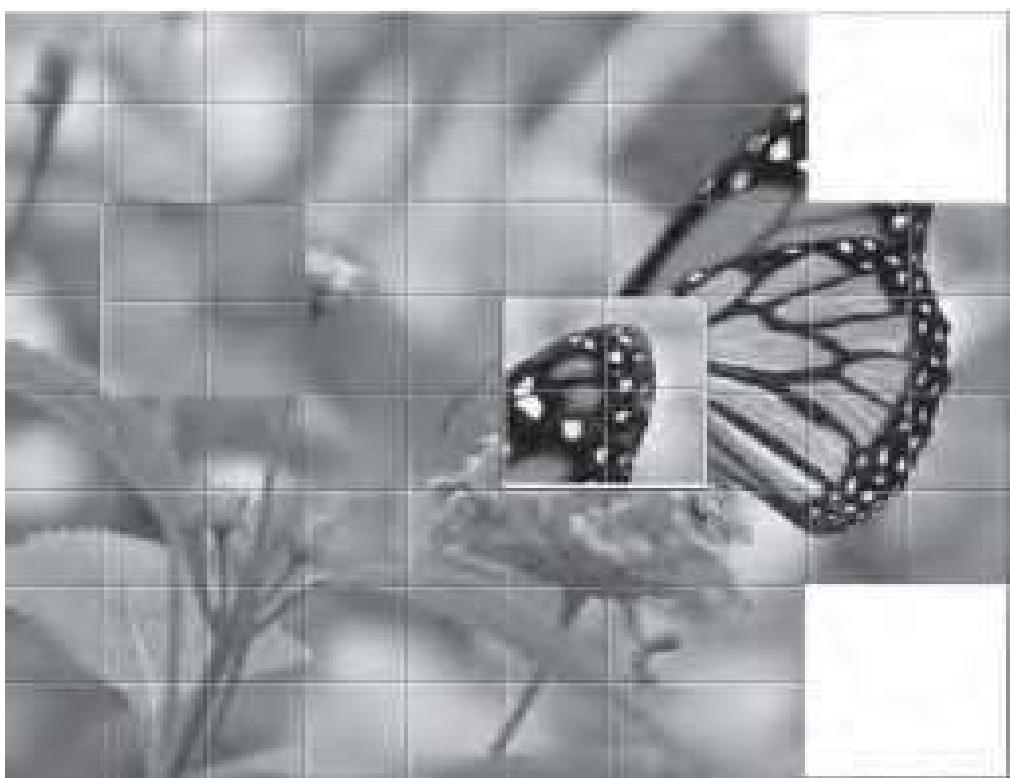


Figura 6

una de las partes.

También, podemos concluir, que en un sistema, cuando uno de los elementos es retirado o eliminado, el sistema completo se afecta, ya que entre los elementos existen relaciones fundamentales para la existencia del sistema. Más allá, no es necesario retirarlo o eliminarlo, simplemente al afectar uno de los elementos, el sistema es afectado completamente dadas las relaciones existentes en él.

El pensamiento sistémico entonces, consiste en acercarnos a la realidad considerándola como un todo, es decir, los elementos, las relaciones y el entorno en el cual se encuentran. No podemos continuar nuestro estudio de la realidad a partir del enfoque reduccionista, donde tomamos un problema y lo llevamos a su mínima expresión, buscando resolver las partes por separado, para finalmente tener una solución del todo. Esto no es posible ya que al dividir, estamos perdiendo de vista las relaciones existentes en los elementos del sistema, y como se pudo observar, las relaciones son fundamentales para entender el sistema en conjunto.

A continuación, se presenta una revisión de los principales acontecimientos alrededor de la teoría general de sistemas dentro de la cual se ha enmarcado el pensamiento sistémico.

PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA

TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS UN POCO DE HISTORIA

Dado que el carácter fundamental de la materia viva es su organización, la investigación usual de las partes y los procesos aislados no pueden arrojar una completa explicación del fenómeno vital.

Esta investigación no nos da ninguna información sobre la coordinación de las partes de los procesos.

Lwdinvg V. Bertalanfy¹

Cuando se habla acerca del origen de la Teoría General de Sistemas (TGS) debemos inmediatamente mencionar a Lwdinvg Vogn Bertalanfy, pionero en esta área de estudio y a quién se le atribuye el haberla enunciado.

Bertalanfy, biólogo de profesión, encontraba que no era suficiente el paradigma reduccionista para explicar fenómenos de los seres vivos, por lo cual empezó a realizar estudios a partir de la organización existente en dichos seres, contemplando entonces la idea de sistema como un conjunto organizado de elementos donde era tan importante la organización como los elementos mismos. Para él, era vital la consideración del organismo como un todo o sistema y consideraba que el objetivo principal de las ciencias biológicas era el descubrimiento de los principios de organización en los diversos niveles².

Estas ideas, fueron presentadas finalmente después de la Segunda Guerra Mundial, y como el mismo Bertalanfy indica, fue una sorpresa para él, que aquellas ideas

¹Bertalanfy Ludwig Von. Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollos, aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, México. 1995.

² Ibid.

coincidieran con líneas de pensamiento que venían desarrollando otros científicos de la época. De manera que, la teoría general de sistemas no era entonces una tendencia aislada y propia de dicho autor, sino que se venía convirtiendo en una nueva corriente del pensamiento moderno³.

Según Bertalanfy, «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 no ya de sistemas de clase más o menos especial, sino de principios universales aplicables a los sistemas en general»⁴ De aquí, podríamos decir, que surgió la Teoría General de Sistemas como nueva disciplina, buscando encontrar los principios existentes en los sistemas que pueden ser aplicados a todos ellos.

A partir de esto, varios interesados en el tema conformaron lo que ellos denominaron la Sociedad para la Investigación General de los Sistemas, promovida por Rapaport, Ralph Gerard, Boulding y Bertalanfy, quienes se encontraron en el primer año del *Center for Advanced Study in the Behavioral Sciences* (Palo Alto) y además, ya venían trabajando en ideas similares acerca de una teoría que definiera el comportamiento general de los diferentes sistemas.

Para fortalecer tal concepción de un sistema general, han surgido algunos avances que es importante mencionar:

-
- La cibernetica**, ciencia que estudia los mecanismos de comunicación y control existentes en las personas y las máquinas. A partir de los mecanismos de realimentación, estudia el comportamiento auto controlado de los sistemas.

Según Heinz von Foerster «lo que distingue la noción de cibernetica de otras, es el hecho fascinante de que en ella se piensa circularmente, no linealmente»⁵.

- **La teoría de la información**, que estudia la información y todo lo relacionado con ella: canales, comprensión de los datos, criptografía y otros. La información

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Foerster Heinz von. Sistémica elemental desde un punto de vista superior. Colección bordes de vida. Fondo editorial Universidad EAFIT. Medellín. 2002.

es tratada como magnitud física y para caracterizar la información de una secuencia de símbolos se utiliza la entropía. Se parte de la idea de que los canales no son ideales, aunque muchas veces se idealicen las no linealidades, para estudiar distintos métodos para enviar información o la cantidad de información útil que se puede enviar a través de un canal⁶.

- **La teoría de los juegos**, cuyo objetivo es el análisis de los comportamientos estratégicos de los jugadores. En el mundo real, tanto en las relaciones económicas como en las políticas o sociales, son muy frecuentes las situaciones en las que, al igual que en los juegos, su resultado depende de la conjunción de decisiones de diferentes agentes o jugadores. Se dice de un comportamiento que es estratégico cuando se adopta teniendo en cuenta la influencia conjunta sobre el resultado propio y ajeno de las decisiones propias y ajenas.

La Teoría de Juegos ha alcanzado un alto grado de sofisticación matemática y ha mostrado una gran versatilidad en la resolución de problemas⁷.

- **La teoría de la decisión**, referida al estudio de los procesos de toma de decisiones desde una perspectiva racional. En este contexto, todos los seres vivos se enfrentan al problema de toma de decisiones; pero a medida que aumenta la complejidad del ser vivo, aumenta la complejidad de las decisiones que debe tomar; por tanto, el nivel mayor de complejidad en la toma de decisiones estará en las organizaciones sociales⁸.
- **La topología o matemáticas relacionales**, se ocupa de aquellas propiedades de las figuras que permanecen invariantes, cuando dichas figuras son plegadas, dilatadas, contraídas o deformadas, de modo que no aparezcan nuevos puntos, o se hagan coincidir puntos diferentes. La transformación permitida presupone, en otras palabras, que hay una correspondencia biunívoca entre los puntos de la figura original y los de la transformada, y que la deformación hace corresponder puntos próximos a puntos próximos. Esta última propiedad se llama continuidad,

⁶ Tomado de http://es.wikipedia.org/wiki/Teoria_de_la_informacion. Julio 13 de 2005.

⁷ Introducción a la teoría de juegos, disponible en <http://www.eumed.net/cursecon/juegos/> Julio 13 de 2005.

⁸ Las organizaciones sociales se consideran en un nivel mayor de complejidad que el ser humano, dado que éstas están conformadas por las personas y las relaciones que se dan entre ellas. Este punto se mencionará cuándo se presente la jerarquía de los sistemas.

y lo que se requiere es que la transformación y su inversa sean ambas continuas. También se incluye el análisis de grafos y de nudos⁹.

- **El análisis factorial**, es una técnica que consiste en resumir la información contenida en una matriz de datos con V variables. Para ello se identifican un reducido número de factores F, siendo el número de factores menor que el número de variables. Los factores representan a las variables originales, con una pérdida mínima de información.

El modelo matemático del análisis factorial es parecido al de la regresión múltiple. Cada variable se expresa como una combinación lineal de factores no directamente observables¹⁰.

- **La teoría general de los sistemas**, que busca en el sentido más estricto, derivar, partiendo de una definición general de «sistema» como complejo de componentes interactuantes, conceptos característicos de totalidades organizadas, tales como interacción, suma, mecanización, centralización, competencia, finalidad y otros¹¹ y aplicarlos a fenómenos concretos.¹²

Todas estas disciplinas han contribuido y fortalecido los conceptos iniciales enunciados por Bertalanfy en la búsqueda de una Teoría General de los Sistemas.

Este apartado no pretende agotar todos los acontecimientos y aportes en el campo de la TGS, por el contrario, es solamente un abrebotas en el desarrollo histórico de la misma, pero para efectos del presente documento, no se continuará ahondando en este particular. A continuación, se presentan los conceptos más importantes relacionados con los sistemas.

⁹ Macho Stadler Marta. Qué es la topología. Revista Sigma No 20, pp 63-77. 2003.

¹⁰ Cuesta M y Herrero F. Introducción al Análisis Factorial. www.psico.uniovi.es/Dpto_Psicologia/metodos/tutor.1/indice.html. Julio 13 /2005.

¹¹ Estos conceptos se tratarán en el siguiente apartado.

¹² Ibid.

CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE SISTEMAS

*No puedes solucionar el problema
con el mismo nivel de pensamiento
que creó el problema.*

Albert Einstein

Los conceptos que se presentan a continuación, son muy importantes para adentrarnos en el pensamiento sistémico:

Sistema: es fundamental entrar a definir sistema, puesto que se le han dado muchas interpretaciones y significados, que van desde el clásico conjunto de partes interdependientes que tienen un objetivo común, hasta señalar que «un sistema es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida»¹.

Podemos también decir, que un sistema es un todo, una totalidad que presenta propiedades diferentes a las propiedades individuales de los elementos que le componen, y que por tanto, está provista de sinergia.

Lo interesante de la definición anterior, es que implica directamente el concepto de sinergia, que es la propiedad de los sistemas que les diferencia de un montón o conglomerado. Vale la pena mirar lo que O'connor² considera como diferencias entre sistema y montón:

¹Johansen Bertoglio Oscar. Introducción a la teoría general de sistemas. Limusa, México. 2002.

²O'Connor Joseph y McDermott Ian. Introducción al Pensamiento Sistémico. Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Ediciones Urano, Barcelona. 1998.

Sistema	Montón
Partes interconectadas que funcionan como un todo	Serie de partes
Cambia si se quitan o añaden piezas	Sus propiedades esenciales no se alteran al quitar o añadir piezas
La disposición de los elementos es fundamental	La disposición de las piezas no es importante
Las partes están conectadas y funcionan todas juntas	Las partes no están conectadas y funcionan por separado
Su comportamiento depende de la estructura global. Al cambiar la estructura cambia el comportamiento	Su comportamiento depende de su tamaño o número de piezas (si se puede decir que tiene comportamiento)

Con estas diferencias, se aclara más el concepto de sistema. Veamos ahora otros conceptos importantes para entender el mundo sistémico.

CLASES DE SISTEMAS

Desde el punto de vista de la interacción con el medio, se puede hablar de sistemas abiertos y cerrados. Si se considera su origen, podemos hablar de sistemas naturales o artificiales y si se consideran sus elementos, hablaremos de sistemas concretos y abstractos.

Sistemas abiertos: se considerará un sistema abierto, cuando tenga interacción con el ambiente, es decir, que intercambia energía (recursos, información) con el medio externo; importa estos recursos, realiza sobre ellos algún proceso de transformación y exporta al medio el resultado de dicho proceso.

El concepto de sistema abierto es fundamental, porque en la práctica todos los sistemas son abiertos, ya que no existe un sistema aislado en sí mismo, que no tenga interacción con el ambiente.

Sistema cerrado: por el contrario, un sistema cerrado es aquel que no tiene interacción con su ambiente. Este sistema es más una consideración teórica que práctica, ya que solamente se puede concebir para efectos de estudio, pero en la realidad es muy complejo (por no decir imposible) pensar en un sistema totalmente aislado.

Sistema natural: corresponden a esta clasificación los sistemas existentes en la naturaleza, los cuales no han sido intervenidos por el hombre, tales como un bosque tropical, un panal de abejas o un cardumen de peces.

Sistemas artificiales: en estos, contrario a los anteriores, es evidente la intervención del hombre, es decir, estos son sistemas creados por el hombre y no existirían de no ser por su intervención, todas las máquinas entran en esta clasificación.

Sistemas concretos: aquellos en los cuales sus elementos componentes son tangibles, apreciables por medio de los sentidos.

Sistemas abstractos: que pertenecen al mundo de las ideas y generalmente obedecen a modelos mentales del grupo o individuo que lo estudia.

También podemos hablar de sistemas determinísticos y sistemas probabilísticos³.

Sistemas determinísticos: la estructura del sistema obedece a leyes bien establecidas que garantizan un desempeño uniforme en el tiempo. A entradas iguales, se obtendrán salidas iguales.

Sistemas probabilísticos: no se conoce con exactitud la relación existente entre las partes, por lo tanto, un estado no puede ser determinado con exactitud con base en resultados anteriores. A entradas iguales pueden corresponder salidas diferentes.

Otra definición que cabe incluir aquí, es la que presenta Murillo al hablar de los sistemas según su definición y los define como reales, ideales y modelos. Mientras los primeros presumen una existencia independiente por parte del observador (quien los puede descubrir), los segundos vienen a ser construcciones simbólicas, como el caso de la lógica y la matemática, mientras que el tercer tipo corresponde a abstracciones de

³ Latorre Emilio. Teoría General de Sistemas aplicada a la solución integral de problemas. Editorial Universidad del Valle, Colombia. 1996.

la realidad, en donde se combina lo conceptual con las características de los objetos⁴.

ELEMENTOS DEL SISTEMA

Según Johansen, los elementos más importantes de un sistema abierto son: sus entradas, sus procesos, sus salidas y la retroalimentación como mecanismo de control.

Entradas: a través de las entradas, el sistema recibe los elementos necesarios para funcionar y mantenerse⁵. Se consideran como entradas los insumos, energía e información que el sistema recibe del medio y que utiliza para producir sus resultados mediante los procesos de transformación.

Salidas: de igual manera, las salidas corresponden a lo que el sistema entrega al medio, bien sea como resultado directo o indirecto de su proceso de transformación. En este sentido, podemos considerar salidas a los productos o servicios principales y secundarios del sistema, así como los desechos que este entrega al ambiente, y por supuesto, también se considera una salida la información que el sistema entrega al medio.

Procesos: se refiere a las actividades que desarrolla el sistema con los elementos de entrada, para obtener las salidas. En general, se habla de procesos de transformación, dado que las entradas se transforman en salidas mediante las operaciones que el sistema efectúa en ellas.

Retroalimentación del sistema: «la comunicación de retroalimentación es la información que indica cómo lo está haciendo el sistema en la búsqueda de su objetivo, y que es introducido nuevamente al sistema con el fin de que se lleven a cabo las correcciones necesarias para lograr su objetivo». Considerándose entonces como un mecanismo de control en el proceso de alcanzar la meta⁶. La figura 7 presenta estos elementos.

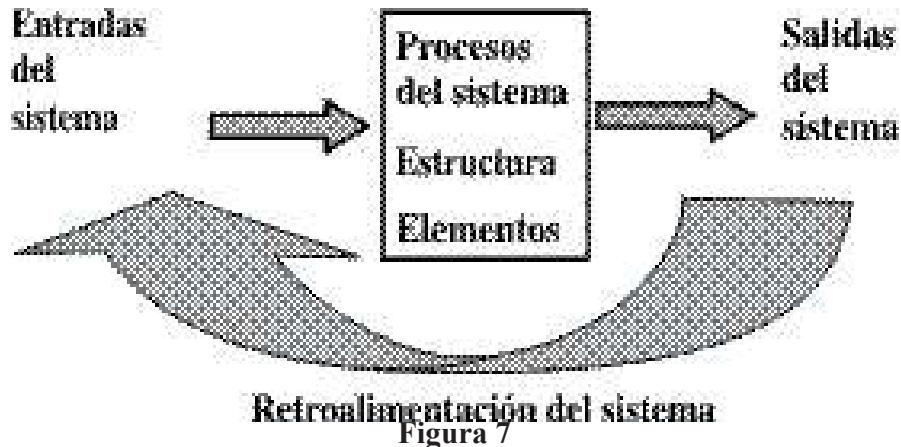
OTROS CONCEPTOS IMPORTANTES EN LA TEORÍA DE SISTEMAS⁷

Además de los conceptos mencionados, se presentan a continuación otros importantes elementos conceptuales, necesarios para el estudio de los sistemas.

⁴ Murillo Alfaro Félix ¿Qué es la Teoría General de Sistemas? Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/inf/lib5102/libro.pdf>. Junio 28 de 2005.

⁵ Johansen Bertoglio Oscar. Introducción a la teoría general de sistemas. Limusa, México. 2002.

⁶ Ibid.



Ambiente: es el área de condiciones y sucesos que influyen en el comportamiento del sistema. El sistema que se estudia siempre se encuentra inmerso en un ambiente, y dado el carácter de sistemas abiertos, siempre hay influencias del ambiente sobre el sistema, tanto en sus elementos como en las relaciones. Por supuesto, que dicha influencia difiere en intensidad de un sistema a otro.

Atributo: se denomina así a las características y propiedades estructurales y/o funcionales del sistema.

Circularidad: este concepto se refiere a los procesos de autocausación. Es decir, que en un sistema es posible encontrar que un evento o elemento X genere otro Y que a su vez genere un Z y éste finalmente genere a X. Es una propiedad muy importante de los sistemas, y es clave en el pensamiento sistémico, pues rompe el paradigma reduccionista de la causa y el efecto lineales en el tiempo y el espacio.

Complejidad: se asocia a la cantidad de elementos del sistema (complejidad cuantitativa), a sus potenciales interacciones (conectividad) y al número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). En cuanto a la complejidad, es importante destacar que existen grados, y que existe mayor complejidad asociada a las relaciones posibles de los elementos más que al número de los elementos como tal.

Para este tema, considérese un rompecabezas de 1000 piezas y una partida de

⁷ Marcelo Arnold y Osorio Francisco, M.A. Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Departamento de Antropología. Universidad de Chile. Cinta de Moebio: Revista electrónica de epistemología de ciencias sociales, No. 3, 1998.

ajedrez. Es claro, que ambos sistemas son sistemas complejos. La complejidad del rompecabezas radica en el número de piezas que lo componen, pero si se contemplan las relaciones existentes entre las piezas, se notará que dichas relaciones están limitadas a la vecindad y por tanto, cada una de las piezas tendrá a lo sumo cuatro relaciones con las otras piezas.

Por su parte, en la partida de ajedrez, en la que solamente existen 32 elementos (las piezas de ambos jugadores), el entramado de relaciones entre ellas es prácticamente infinito, ya que a un movimiento determinado de una de las piezas puede venir una gran variedad de alternativas de las otras piezas, y se convierte así en un problema combinatorio, con un número muy grande de posibles relaciones. Por tanto, podemos concluir que es más compleja la partida de ajedrez que el rompecabezas.

Obsérvese también que el rompecabezas puede ser armado por varias personas al mismo tiempo, cada uno de los interesados puede elegir un sector en especial para ir construyendo la imagen, mientras que la idea de jugar una partida de ajedrez entre varias personas al mismo tiempo no promete un buen resultado. He allí otro argumento para concluir que el sistema será más complejo entre más relaciones se puedan establecer entre sus elementos, así el número de ellos no sea muy grande.

Conglomerado: es una totalidad desprovista de sinergia. La suma de las partes es igual al todo. Se considerará conglomerado si las posibles relaciones entre los objetos que lo forman no afectan a los otros. Esta última afirmación es interesante, puesto que en algún momento podremos considerar un sistema como conglomerado, dado el interés de nuestro estudio.

Elemento: son las partes o componentes que constituyen el sistema. Los elementos pueden ser objetos o procesos que se efectúan al interior del sistema.

Energía: está considerada dentro de los elementos de entrada y salida del sistema, además en los sistemas se aplica la ley de conservación de la energía por lo cual podemos decir que la cantidad de energía de un sistema es igual a la cantidad de energía importada por éste menos la cantidad de energía exportada al ambiente.

Entropía: es la segunda ley de la termodinámica, la ley del desorden, establece que los sistemas cerrados están irremediablemente condenados a desaparecer. En un sistema, en el cual no exista intercambio con el ambiente, el desorden tiende a aumentar,

y por tanto, el sistema tiende a desaparecer como se le conocía.

Equifinalidad: hablamos de ella, cuando en un caso encontramos que a partir de distintas condiciones iniciales se llega a un mismo fin.

Equilibrio: se refiere a mantenerse el sistema en el mismo estado en el tiempo; esto por supuesto, implica necesariamente la importación de recursos del ambiente, dado que la entropía no permite dicho equilibrio sin interacción con el medio.

Emergencia: es una de las características más importantes de los sistemas; consiste en que los elementos que componen el sistema al interactuar, generan propiedades que no existen en ellos, pero están presentes en su interacción. Al analizar esta propiedad de manera más profunda, se encuentra que podemos encontrar sistemas cuyas propiedades o cualidades no se pueden distinguir en ninguno de sus elementos de manera aislada, por lo cual, es imposible pensar que se puede entender dicho sistema si nos acercamos a él de una manera diferente a la visión holística y totalizadora.

Esta propiedad choca fuertemente con el paradigma reduccionista, y es fundamental considerarla en los procesos de estudio de sistemas complejos, tales como las organizaciones, puesto que no obtendremos ningún resultado interesante de las partes individuales, pues las propiedades fundamentales están presentes por la interacción de los elementos.

Estructura: se refiere a las interrelaciones más o menos estables entre las partes o componentes del sistema

Frontera: se utiliza para delimitar el sistema y poder identificar lo que pertenece y no pertenece a él. Realmente, la frontera es más abstracta que concreta, pues no es fácil identificar la frontera de un sistema complejo tal como una organización, sin embargo, es muy importante definirla ya que a partir de ella se determinarán los elementos que pertenecen y no pertenecen al sistema, puesto que los elementos que se encuentren de la frontera hacia dentro, serán definidos como parte del sistema, por el contrario los que se encuentren de la frontera hacia fuera se considerarán parte del entorno.

Homeostasis: es una de las principales características de los sistemas abiertos, la cual busca mantener el estado original. Según Latorre, es la principal característica de los sistemas autorregulados. Un sistema así, reacciona a toda perturbación de origen

interno o que proviene del entorno, por medio de mecanismos reguladores que buscan llevarlo nuevamente al estado original⁸.

Neguentropía: existe en contraposición a la entropía, la neguentropía. Es la energía que el sistema importa para mantener su organización y es gracias a ésta, que el sistema no se degenera. Por eso, se dice que un sistema cerrado está condenado irremediablemente al desorden, porque no tiene la capacidad de importar neguentropía del entorno.

Información: es la más importante corriente neguentrópica de los sistemas. Precisamente, cuando se posee información confiable y oportuna, el sistema funciona bien, es decir, no hay lugar a indecisiones, dudas o acciones erróneas, por el contrario, cuando no se posee información tiende a reinar el desorden.

Organización: considerada como el patrón de relaciones que definen los estados posibles de un sistema. Recuérdese que Bertalanfy decía que la característica más importante de la materia viva es su organización, y de allí desprende sus estudios sobre la teoría general de sistemas.

Modelo: representación del sistema para efectos de su estudio. Un modelo representa la realidad de manera simplificada, incluyéndose en él, solamente las variables que son de interés para el estudio. Si se busca que el modelo incluya todas las variables de la realidad, perderá su función, ya que en ese momento será tan complejo y difícil de operar, que no será realmente de ayuda para quien estudia el sistema.

Recursividad: según Johansen, podemos entender la recursividad como el hecho que un sistema esté compuesto por partes que poseen características que los convierten a su vez en sistemas. Es decir, podemos hablar de sistemas y subsistemas o mejor aún, de suprasistemas, sistemas y subsistemas, donde cada uno puede ser visto como una totalidad en sí mismo⁹. Es el concepto unificador de la realidad y de los objetos.

Retroalimentación: este principio es fundamental en los sistemas y está asociado a la propiedad que ellos tienen para introducir sus resultados en ellos mismos y definir a partir de éstos, las acciones futuras. A partir de un resultado del sistema, se obtendrá el mismo resultado amplificado (realimentación de refuerzo) o se logrará nuevamente

⁸Latorre Emilio. Teoría General de Sistemas aplicada a la solución integral de problemas. Editorial Universidad del Valle, Colombia. 1996.

el estado inicial (realimentación de compensación)¹⁰.

Resiliencia: capacidad para resistir cambios producidos por el entorno. Existen sistemas que son muy susceptibles al entorno, por tanto, cuando se presenta algún cambio significativo en éste, el sistema desaparece. Podría pensarse aquí en algunas de las pequeñas empresas Colombianas que sucumbieron cuando se dio el proceso de apertura económica. O pensando a futuro, solamente las empresas resilientes podrán enfrentar exitosamente el tratado de libre comercio.

Sinergia: aunque ha sido mencionada anteriormente, la sinergia no ha sido definida completamente como concepto. Podemos entonces decir que los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es menor o diferente del todo. También, podemos decir que existe sinergia en un sistema, cuando al examinar individualmente a las partes que lo componen, no podemos llegar a explicar el comportamiento del conjunto y mucho menos a predecirlo.

La sinergia entonces, es inherente a los sistemas, puesto que por definición, solamente se considerará sistema si la posee. Ya se ha mencionado, que un conjunto desprovisto de sinergia será denominado conglomerado.

Concluyendo, los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es menor o diferente del todo, o bien cuando el examen de alguna de ellas no explica la conducta del todo. Lo cual lleva a afirmar que para explicar la conducta global de ese objeto, es necesario analizar y estudiar todas sus partes y si se logra establecer las relaciones que existen entre ellos, se podrá predecir la conducta de dicho objeto al aplicarle un estímulo particular, que no será el resultado de la suma de los efectos en cada una de las partes¹¹.

Subsistema: conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. Como ya se mencionó al hablar de recursividad, el subsistema puede verse como un sistema dentro de un sistema mayor.

Variabilidad: indica el máximo de relaciones (hipotéticamente) posibles entre los

⁹ Johansen Bertoglio Oscar. Introducción a la teoría general de sistemas. Limusa, México. 2002.

¹⁰ Los conceptos de realimentación de refuerzo y compensación se tratarán de manera profunda en un apartado posterior.

elementos que constituyen el sistema. Según esto, podríamos hablar aquí de complejidad dinámica.

Variedad: comprende el número de elementos discretos en un sistema. En este sentido, aporta a la complejidad estática del sistema.

No se ha pretendido agotar todos los conceptos en este apartado, se ha buscado sí, presentar los más importantes y mencionados en el estudio de los sistemas.

A continuación, se presenta un capítulo en el cual se desarrollará el concepto de pensamiento sistémico como un pensamiento en círculos, rompiendo el esquema actual del pensamiento lineal y causal. Vamos entonces hacia un cambio de paradigma.

¹¹Johansen Bertoglio Oscar. Introducción a la teoría general de sistemas. Limusa, México. 2002.

INGENIERIA DE SISTEMAS: ORIGENES Y DEFINICION

LA CRISIS CONTEMPORANEA.

Vivimos en una sociedad caracterizada por la complejidad en aumento, la interdependencia y el cambio. Es evidente que la humanidad siente que ha entrado a la "crisis de crisis", ya que el aumento en el bienestar material y la sofisticación tecnológica, que son sus logros más directos, han traído consigo graves problemas y conflictos de difícil solución.

En el espacio de cien años, la tecnología moderna ha alterado por completo el contexto del material viviente, ha habido escasos desarrollos en las esferas culturales, sociales y políticas orientados al acoplamiento de las mismas a las nuevas sociedades tecnológicas. Esto ha ocasionado que las ciencias y las humanidades hayan tomado caminos separados cuando debieran ser partes iguales e interdependientes de la cultura moderna. La ausencia de una relación legítima entre estas dos subculturas ha originado que la crisis se plantea como un conflicto entre la tecnología y la sociedad actuales.

La crisis que confrontamos, es una crisis de ideología y de políticas; el problema mayor que tenemos que resolver es el de cómo administrar convenientemente a las sociedades tecnológicas modernas en sus varios estados de desarrollo e interdependencia, dentro de limitaciones y restricciones aceptables, ya que éstas existen porque los recursos son limitados, la gente se multiplica, y el mundo obstinadamente conserva su mismo tamaño. Los objetivos sociales parecen ser claros, pero el cómo lograrlos y las limitaciones y restricciones que las sociedades deben de imponerse a ellas mismas para el bienestar del individuo, la sociedad y la humanidad, son evasivas.

Si una civilización se tiene que adaptar a la tecnología como su fuente de sostenimiento, entonces las implicaciones de la ciencia deben de comprenderse, al menos en términos generales, por todos los involucrados; y los problemas sociales, éticos y morales deben replantearse en un contexto socio-tecnológico apropiado.

La presión en aumento a la sobre-especialización en áreas específicas del conocimiento, es un resultado de la fragmentación y departamentalización de las antiguas disciplinas, tanto en el campo de las artes como en el de las ciencias. La especialización proporciona la base para la profundización ortodoxa en un área del conocimiento.

Tanto la educación especialista como la generalista hacen uso de las mismas fuentes del conocimiento; es cómo ese conocimiento se usa y se presenta, lo que determina la naturaleza de la educación. Una educación generalista tratará con relaciones más amplias que pueden manejarse de una manera más trivial, o bien, usarse para construir una estructura cuya cobertura y complejidad pueden proporcionar labores intelectuales tan retadoras como cualquier exploración en un campo especialista. Por otro lado, una educación especialista conducirá al estudio organizado y detallado de un área específica que podría degenerar en un estudio rutinario de técnicas, o bien, proporcionar la base a partir de la cual la mente se esforzará a descubrir lo que todavía no se conoce.

Si el hombre quiere comprenderse a sí mismo y al mundo donde vive debe hacer algo más que estudiar y entender un amplio espectro de disciplinas en las que el conocimiento está

departamentalizado. El hombre debe darse cuenta de que el mundo y la civilización son partes de un todo en evolución y adaptación continua, con interacciones complejas entre sus partes influenciando el comportamiento de todas ellas y del todo.

La complejidad y la interdependencia se encuentran a cualquier nivel de escrutinio del que uno quiera partir. Los problemas complejos y multidisciplinarios que confrontamos en la actualidad no pueden discutirse sensatamente si los particionamos. Los problemas deben identificarse, analizarse y resolverse tomando en cuenta todas y cada una de sus partes, así como también la forma en que éstas interactúan. Básicamente el argumento que deseo plantear ante ustedes, es el desarrollo de una cultura que está basada en una filosofía y en un sistema educativo que permita la difusión de un punto de vista que ataque a los problemas de una manera integral, un punto de vista que esté fundamentado en lo que se ha llamado "el enfoque de sistemas".

R.L. Ackoff ha observado (1): "Creo que nuestra sociedad está ahora en las etapas primarias de un cambio de era que resulta de un cambio radical en nuestro punto de vista, en nuestra forma de pensar, y en la clase de tecnología que ambos están produciendo. Estamos viviendo una revolución intelectual que es tan fundamental como la que ocurrió en el Renacimiento. El Renacimiento condujo a la "Era de la Máquina" que a su vez produjo la Revolución industrial. La Revolución intelectual que actualmente está emergiendo, trae consigo una nueva era que puede llamarse la "Era de Sistemas", la cual está produciendo la Revolución Post-industrial.

El pensamiento de la Era de la Máquina era analítico y basado en las doctrinas del reduccionismo y mecanicismo, las cuales mantienen que todos los objetos y eventos, sus propiedades; y las experiencias y conocimientos que tenemos de ellos, están formadas por partes que tienen que ser fraccionadas para poder ser explicadas. En la Era de sistemas tendemos a observar y explicar las cosas como partes de entidades más grandes. Esta es la doctrina del expansionismo, que trae consigo el modo sintético de pensamiento, así como el reduccionismo trajo consigo el modo analítico.

Cuando se hace uso del enfoque analítico, la explicación del "todo" se deriva a través de explicaciones de sus partes. En el caso del enfoque sintético, algo que se desea explicar se visualiza como parte de un sistema más amplio y se describe en términos de su incidencia en este sistema.

El modo sintético de pensamiento, cuando se aplica a la solución de problemas, se llama "el enfoque de sistemas". Con este enfoque, un problema no se resuelve fraccionándolo en sus partes sino visualizándolo como una parte de un problema mayor.

Ingeniería en Sistemas: Orígenes (2)

Ingeniería en Sistemas es la manifestación práctica de la ciencia de sistemas, un intento de usar los conceptos de sistemas para lograr y asegurar mejoramientos prácticos en sistemas reales. Para explicar la naturaleza de la Ingeniería en sistemas, debemos empezar con la ciencia de sistemas, que es parte de un cambio de perspectiva en el pensamiento científico.

La naturaleza se nos presenta como un flujo caótico. La entropía del mundo natural, su grado de desorden, inevitablemente y naturalmente aumenta con el tiempo. El caos se empeora a menos de que se haga algo para detenerlo. La ciencia y la tecnología fueron creadas para reducir ese desorden, y tradicionalmente han progresado tomando UNA SELECCIÓN ARBITRAIRA DE AREAS DE LA NATURALEZA que pueden ser investigadas independientemente. La física representa una de esas selecciones. La química otra.

En la Figura No. 2 se muestran algunas de las áreas de estudio científico que se han seleccionado tradicionalmente.

Al centro están las ciencias. Las Matemáticas es el lenguaje para su tratamiento formal. La Ingeniería es la manifestación de la ciencia en artefactos. Ambas están fuertemente relacionadas con la física y menos relacionadas con las otras ciencias, en orden descendente de la lista.

La ciencia está caracterizada por el hecho de que el conocimiento que de ella se tiene puede emplearse mediante la ejecución de experimentos repetibles. La repetibilidad es la esencia de la ciencia. Pero la ciencia también está basada en una técnica en la cual el efecto de cambiar alguna variable en una situación se examina ejecutando un experimento paralelo "controlado" en el cual la variable no se cambia. La comparación entre los dos experimentos revela entonces el efecto de la variable.

La ciencia más fundamental es la física, en el sentido de que estudia la masa, fuerzas y energía y de que está altamente cuantificada. La biología es menos cuantitativa y la psicología y ciencias sociales aún menos. En un sentido cada ciencia se esfuerza por convertirse en Física, el sueño es que al final todo puede re-escribirse en términos de la física, en términos de las interacciones fundamentales de fuerzas entre masas.

Pero como puede observarse, conforme descendemos en la lista de las ciencias:

- Disminuye el uso de las matemáticas.
- Aumenta la necesidad de descripciones cuantitativas.
- Se encuentra más dificultad de hacer planteamientos en términos de la física.

La ciencia, como método para investigar la naturaleza organizada en esta forma ha producido muchos conocimientos, los cuales han sido traducidos por los ingenieros en artefactos.

En efecto, la ciencia ha tenido tantos éxitos técnicos, que es muy fácil olvidarse de dos hechos:

1. Que las áreas de estudio de cada ciencia son SELECCIONES ARBITRARIAS del caos de la naturaleza.
2. Que la suposición básica de que áreas determinadas pueden investigarse independientemente de otras áreas es una suposición muy drástica. De hecho se empieza a reconocer que fue una suposición inadecuada.

Para ilustrar el cambio de perspectiva que está tomando lugar en el pensamiento científico, se discutirán dos problemas:

1. Conforme se desciende en la lista de las ciencias de la Figura No. 2, encontramos teorías de lo que en biología se llama "VITALISMO", la doctrina que sostiene que las propiedades de una entidad compleja pueden explicarse solamente suponiendo la existencia de un principio vital diferente de las fuerzas físicas y químicas.

Ha habido muchos argumentos sobre el vitalismo en biología, y aún en la química, donde se pensó que los compuestos producidos por organismos vivientes, que los químicos llamaron compuestos orgánicos, podían producirse solamente bajo la acción de una fuerza misteriosa "inmaterial": la fuerza vital.

Pero los experimentos de Wholer en 1828 y los de Kolbe en 1845, en los que convirtieron

compuestos inorgánicos conocidos en compuestos orgánicos, destruyó la teoría del vitalismo. Sin embargo, en biología, el "vitalismo" todavía ha sobrevivido ya que la esencia vital todavía no ha podido aislarse.

2. Fue sorprendente el descubrir que leyes científicas similares aplicaran en áreas muy diferentes de la ciencia.

La curva de una gráfica en donde aparece la descomposición de un elemento radioactivo vrs. tiempo, es la misma que la que describe la pérdida de peso de un animal sin comer.

La misma ley que aplica al crecimiento de una población en la que el número de nacimientos excede el número de muertos, aplica al número de computadoras instaladas en un país.

El punto de vista tradicional de la ciencia, difícilmente puede explicar porqué los átomos de radio, los animales, las poblaciones y el aumento en el número de computadoras obedecen la misma ley.

Ambos problemas conducen a un nuevo concepto, a una nueva forma de ver el problema. Ambos problemas están relacionados con entidades consideradas como un todo, por lo que requieren el estudio de la ESTRUCTURA DE ENTIDADES COMPLEJAS DE SISTEMAS, y no el estudio de partes aisladas del sistema.

Hubo entonces un cambio en el punto de vista científico: la ciencia que antes se concentraba en el estudio de propiedades de unidades individuales, ahora trata de estudiar entidades completas, organización como tal; independientemente de lo que está organizando.

Ahora, el punto de vista es que la ley que aplica a los átomos de radio o a los animales sin comer, es generalmente válida, para ciertos tipos de sistemas, independientemente de la clase de unidades que tenga el sistema: ES UNA PROPIEDAD DEL SISTEMA CONSIDERADA COMO UNA ENTIDAD COMPLETA, COMO UN TODO.

En forma similar, el punto de vista actual es que la "esencia vital" en un material viviente no es un ingrediente inmaterial misterioso; sino un ALTO GRADO DE ORGANIZACIÓN.

Esto puede ser, o no ser cierto, pero ilustra la aceptación de la idea de que:

LAS ENTIDADES COMPLEJAS, LOS SISTEMAS, SON MAS QUE LA SUMA DE SUS PARTES. ESAS ENTIDADES TIENEN PROPIEDADES QUE SE DERIVAN DE SU GRADO DE ORGANIZACIÓN GLOBAL, Y DEBEN ESTUDIARSE COMO ENTIDADES COMPLETAS.

El reconocimiento de la necesidad de estudiar SISTEMAS, como tales, se acumuló gradualmente. En 1950 L. Von Bertalanffy publicó un artículo titulado "An Outline of General Systems Theory" en el que reconoció la necesidad de estudiar sistemas, discutió algunas de sus propiedades usando el lenguaje matemático del cálculo diferencial y enunció que EL ESTUDIO DE LA TEORÍA DE SISTEMAS ERA UNA NUEVA DISCIPLINA CIENTÍFICA BÁSICA.

Desde entonces se ha desarrollado una cantidad considerable de trabajo tipo teórico-matemático en la teoría de sistemas, pero muy enfocado hacia el desarrollo de herramientas matemáticas para describir el comportamiento de sistemas en general.

Debe admitirse que se ha tenido un progreso lento hacia la aplicación práctica de estos estudios. Sin embargo, el impacto de las ideas de Bertalanffy desde el punto de vista cualitativo, ha generado otros caminos para la aplicación de ideas y conceptos de sistemas. La Figura 3 actualiza el argumento

expuesto.

Una de las aportaciones más valiosas de la Teoría General de Sistemas, es la del concepto de un **SISTEMA COMO UNA ENTIDAD ORGANIZADA**.

Al final de los 1,940's encontramos la noción sofisticada de la "retroalimentación" en el "termostato". Nace la **CIBERNÉTICA** en 1,947, con Wiener, quien descubre que mecanismos de control similares aplican tanto al animal como a la máquina, y fundamentalmente la **CIENCIA DEL CONTROL EN ANIMALES Y MAQUINAS**.

La cibernetica parece consistir en dos ideas y un sueño. Las ideas son las de

- Retroalimentación y
- Homeostasis (el equilibrio auto-renovador que un ser viviente mantiene con su medio ambiente).

El sueño es el de crear la Inteligencia Artificial.

Es importante mencionar ahora la importancia que los conceptos de "retroalimentación" y "control" han tenido en Ingeniería de Sistemas.

Ingeniería de Sistemas no es parte de la Ingeniería, la palabra Ingeniería es usada aquí en el sentido "creativo" del Ingeniero. El Ingeniero de Sistemas "crea" sistemas. Sin embargo, hay una parte de la Ingeniería que es particularmente relevante a la Ingeniería de Sistemas, la Ingeniería de Control.

El Ingeniero de Control estudia el proceso entero y establece procedimientos de control en los que la manipulación automática de unas cuantas variables asegura que el proceso global opera correctamente.

Es obvio que los Ingenieros de Control tienen que pensar en términos de sistemas. Su interés está en el proceso total de una planta industrial y no con una sola parte del mismo. No es sorprendente que la forma de pensar, los métodos y las matemáticas del Ingeniero de Control hayan tenido una influencia muy significativa en la Ingeniería de Sistemas.

De hecho el concepto de Ingeniería de Sistemas se derivó de la Ciencia de Sistemas y de los principios de Ingeniería de Control. (Ver Figura No. 4).

LA PROPOSICION DE SISTEMAS

Se puede postular razonablemente que cualquier disciplina intelectual descansa últimamente en alguna proposición que debe ser verdadera si la disciplina es válida. En el caso de las disciplinas científicas esto es muy claro; las proposiciones en las que se basan el desarrollo de las ciencias son de la forma: "es razonable estudiar juntos, fenómenos caracterizados por".

Así, desarrollar una disciplina llamada "física", supone que es razonable estudiar fenómenos en los que existen cambios de energía, momentum y posición, pero en forma molecular. El hacer a la "química" una disciplina supone la similaridad fundamental de fenómenos en los que consideraciones de energía libre conducen a re-arreglos espontáneos de moléculas o compuestos para formar otras moléculas o compuestos.

En el caso de las disciplinas más recientes del siglo 20, que están enfocadas no tanto a describir

y a comprender el mundo natural, sino a resolver los problemas que se generan en situaciones de la vida real, las proposiciones en las que se basan son menos obvias, pero no menos reales.

Un exámen de la literatura sobre Investigación de Operaciones y las actividades de sus practicantes, por citar un ejemplo, revela un énfasis en la naturaleza científica de la actividad y especialmente del valor de los modelos cuantitativos, en situaciones que involucran toma de decisiones. La proposición en la cual se basa Investigación de Operaciones es:

Los métodos cuantitativos de la ciencia son medios apropiados para estudiar problemas que se generan en las operaciones de las organizaciones.

Cuando examinamos las ciencias sociales aplicadas y las actividades de los científicos conductistas en el contexto de problemas en organizaciones, naturalmente encontramos una concentración en los componentes humanos. El interés por el ser humano dentro de una organización, es como una clase muy particular de ser, uno que posee no solamente habilidades para hacer los trabajos requeridos por la organización, sino también necesidades emocionales que deben satisfacerse dentro de los grupos diferentes a los cuales pertenece. Así, la proposición sobre la cual se basan las ciencias sociales es:

Los problemas en organizaciones requerirán para su solución métodos basados en el conocimiento de psicología individual y de grupo.

La proposición en la que se basa el desarrollo de Ingeniería de sistemas, definida como la aplicación del "Enfoque de Sistemas" puede comunicarse como sigue:

Es razonable y útil tomar el universo aparentemente caótico, como un complejo de sistemas interactuando. Si un sistema tiene objetivos definibles, entonces ese sistema puede "ingeniarse", de tal forma que sus objetivos puedan lograrse. Aún si esto no fuera posible, el punto de vista de sistemas proporciona la mejor estructura para un debate relevante de los problemas que se generan en la vida real.

Esta proposición puede extenderse como sigue:

1. Es una proposición general. Los problemas son multifacéticos; la meta de los conceptos de sistemas es poder definir un problema sin distorsionarlo ni sobresimplificarlo. El problema se plantea de tal manera que medios racionales pueden usarse para atacarlo. El método involucra el planteamiento del problema en términos de sistemas: ¿Cuáles son los sistemas y subsistemas dentro de los cuales está el problema? ¿Cómo pueden ingenierarse esos sistemas para resolver el problema?
2. El hecho de que el mundo pueda visualizarse como un conjunto de sistemas interactuando no implica que el "enfoque de sistemas" necesariamente involucre la construcción de un modelo de los sistemas relevantes en la situación problemática que se estudia. Más bien, esta encaminado a definir un contexto dentro del cual la construcción de modelos específicos sea relevante. Desde este punto de vista, el concepto de un "sistema" es más poderoso que el de un "modelo".
3. La proposición no dice que el mundo "es" un conjunto de sistemas interactuando (últimadamente, no se puede decir lo que el mundo es), solamente establece que podemos estructurar problemas no estructurados, bajo la suposición de que el mundo puede considerarse como un complejo de sistemas interactuando.

Si esta proposición es válida, entonces es posible representar el mundo (y aún al universo) en un "mapa sistémico", que es una representación diagramática de los sistemas que en sus combinaciones

complejas forman la noción del mundo real tal como lo conocemos.

UN MAPA SISTÉMICO DEL UNIVERSO

El mapa sistémico de Checkland, ve el universo como una combinación de diferentes tipos de sistemas: físicos y abstractos, naturales y hechos por el hombre, colocando a los "sistemas sociales" en un lugar especial.

La definición básica de un sistema en la cual está basado el mapa es la definición del diccionario comúnmente aceptada: *Un sistema es un conjunto estructurado de objetos y/o atributos, junto con las relaciones entre ellos*"

El mapa combina sistemas clasificados de acuerdo a la naturaleza de sus componentes y a la naturaleza de su actividad. Los sistemas en el mapa no son mutuamente excluyentes y cualquier sistema en el mundo real puede ser una combinación de los diferentes sistemas mencionados.

El mapa se divide en 4 áreas básicas:

- Sistemas Naturales
- Sistemas Físicos Diseñados
- Sistemas Abstractos Diseñados
- Sistemas de Actividad Humana

Es importante reconocer la naturaleza diferente de estas clases de sistemas, para poder aclarar el papel del Ingeniero en Sistemas en relación a ellos.

- Un Sistema Natural es simplemente un sistema natural. Existe implacablemente, ya que representa cuando menos un balance temporal de fuerzas que condujo a una estructura en equilibrio. La suma total de los cambios en sistemas naturales, si no hay intervención humana, estará en dirección de desorden creciente, de entropía creciente. No puede decirse que los sistemas naturales tengan objetivos (sin embargo, pueden exhibir comportamientos que van en búsqueda de un fin) y postular objetivos para sistemas naturales es caer en especulación teológica.
- Un Sistema Físico Diseñado se parece a un sistema natural solo que está hecho por el hombre. Este tipo de sistema existe porque es necesitado por un sistema de actividad humana y no existe en el mundo natural. El enfoque de sistemas puede usarse en el diseño de sistemas físicos de ésta clase, pero una vez que el artefacto existe, no puede decirse que tenga objetivos.
- Un Sistema Abstracto Diseñado es un sistema de pensamientos, una filosofía, un conjunto estructurado de ideas. Como en el caso de un sistema físico diseñado, un sistema abstracto será construido teniendo en mente algún objetivo relacionado a su uso. Puesto que un objetivo es a sí mismo una idea, podría decirse que un sistema abstracto diseñado puede tener un objetivo en un sentido intrínseco.
- Los Sistemas de Actividad Humana comprenden el área donde los objetivos pueden originarse. Si estos pueden identificarse con claridad, entonces es el área en donde los sistemas pueden "ingenierarse" de tal forma que los objetivos puedan lograrse. Ingeniería de sistemas está interesada en desarrollar formas de lograr esto. Un estudio de sistemas físicos y de actividad humana en una interrelación compleja puede también requerir sistemas abstractos del conocimiento y el conocimiento de sistemas naturales.

El mapa indica la posición muy especial de los Sistemas Sociales en la frontera entre los sistemas de actividad humana y los sistemas naturales. Los Sistemas Sociales forman el contexto de todos los sistemas de Actividad Humana, pero al mismo tiempo son también naturales debido a la necesidad básica del hombre de las ventajas que proporciona la vida en comunidad. No es sorprendente que los estudios de sistemas en los sistemas sociales sean excepcionalmente difíciles y que en esta área el enfoque de sistemas conduzca al "Análisis de sistemas" más bien que al "Ingenio de sistemas" para el logro de sus objetivos. Esto ilustra el hecho de que en los sistemas de actividad humana exista una dificultad creciente en definir objetivos y medidas de eficiencia conforme nos alejamos de sistemas "duros" hacia sistemas "suaves".

En resumen se puede decir que:

- El "enfoque de sistemas" se basa en la proposición de que el mundo puede visualizarse como un complejo de sistemas interactuando.
- El concepto del mundo como un complejo de sistemas conduce a un mapa sistémico del universo.
- El mapa define el contexto de la Ingeniería de Sistemas como una actividad aplicable dentro de un área de sistemas particular que es capaz de formalizarse en mayor grado si se trata de sistemas duros y en menor grado si se trata de sistemas sociales (sistemas "suaves").
- En el caso de sistemas sociales, el enfoque de sistemas puede usarse como un medio para el "análisis estructurado de situaciones problemáticas", permitiendo visualizar mejoramientos dentro de una estructura común.
- En general, podemos:

APRENDER de los Sistemas Naturales.

USAR Sistemas Diseñados (Físicos y Abstractos).

BUSCAR COMO INGENIAR Sistemas de Actividad Humana.

EL ENFOQUE DE SISTEMAS Y LA INGENIERÍA DE SISTEMAS: DEFINICIÓN

El Ingeniero en Sistemas confronta la complejidad de los problemas de la vida real. El tiene el concepto de que el mundo puede visualizarse como un conjunto de sistemas y subsistemas interrelacionados e interactuando. Tiene además el conocimiento de técnicas que pueden usarse para completar las diferentes etapas en el "ingenio de un sistema", para que este logre las metas definidas.

Haciendo uso de esto, el Ingeniero en Sistemas analiza las situaciones problemáticas y usa metodologías basadas en conceptos de sistemas para resolver los problemas, ya sea a través del diseño e implantación de un nuevo sistema, o bien, a través de la definición e implantación de un mejoramiento en la situación problemática existente.

El Ingeniero en Sistemas debe estar dispuesto a apreciar su solución y reingeniarla en caso de que sea necesario. Y aprenderá de esta experiencia, porque todo este proceso es en sí un Sistema de Aprendizaje, a través del cual la experiencia se retroalimenta para desarrollar los conceptos de sistemas y el conocimiento y uso de las técnicas.

Un "enfoque de sistemas" es un intento por evitar el enfoque reduccionista que solo ataca una parte del problema total. En problemas reales no es siempre posible aplicarlo y aún cuando pudiera

aplicarse, ciertamente no es fácil hacerlo. La mayor crítica al enfoque de sistemas es que no es posible asegurar si los resultados serán útiles en términos de la situación problemática global, ya que esta situación global generalmente es dinámica y muy difícil de identificar y delimitar.

Sin embargo, siempre es posible tratar de usar un enfoque de sistemas a la solución de problemas en el sentido categórico de la siguiente definición:

UN ENFOQUE DE SISTEMAS ES UN PUNTO DE VISTA, UNA FORMA DE PENSAR, QUE EN LA CONFRONTACIÓN DE UNA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA, BUSCA NO SER REDUCCIONISTA.

Antes de definir Ingeniería en Sistemas, es útil lo que no es:

- No es exclusivamente el diseño de configuraciones y programas computacionales (Hardware y Software de computadoras digitales electrónicas). Las personas que hacen este tipo de trabajos son Ingenieros en Sistemas Computacionales.
- No es exclusivamente Ingeniería de Control, aunque esta rama de Ingeniería engloba las aplicaciones del pensamiento de sistemas a un trabajo particular.
- No es exclusivamente la planeación y administración de proyectos tecnológicos encaminados a traer nuevas investigaciones del conocimiento a la etapa de aplicación exitosa, aunque este fue uno de los conceptos principales que en los 1960's, cuando el término de Ingeniería de Sistemas empezó a usarse generalmente.

Según las definiciones de G. M. Jenkins de la Universidad de Lancaste, Inglaterra:

UN SISTEMA ES UNA AGRUPACIÓN DE RECURSOS CON UN OBJETIVO DEFINIDO.

INGENIERÍA DE SISTEMAS ES EL ESTUDIO DE SISTEMAS COMPLEJOS EN SU TOTALIDAD, DE TAL FORMA QUE SUS SISTEMAS COMPONENTES PUEDAN DISEÑARSE Y ENSAMBLARSE PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS GLOBALES DEL SISTEMA EN LA FORMA MÁS EFICIENTE.

Esta no es la definición de "un sistema", sino de "un sistema de Actividad Humana". Es lo suficientemente amplia para cubrir como un sistema: un hombre usando una herramienta, una planta industrial, un complejo petroquímico, una compañía entera, un partido político, junto con sus objetivos.

Así mismo, la definición no es una descripción neutral de lo que se está definiendo. Más bien es una definición tecnológica, indicando la actividad particular del Ingeniero de Sistemas hacia un sistema. Es un enunciado de intento, una indicación de que se tiene un propósito práctico: el Ingeniero de Sistemas va a ingeniar el sistema para el logro de unos objetivos definidos,

Sin embargo, en el mundo real existen agrupaciones de seres humanos y otros recursos que no tienen objetivos muy bien definidos y aún en algunos casos llegan a tener objetivos en conflicto. Para tales sistemas la definición de objetivos puede llegar a ser imposible de lograr, y por esto las metodologías para el uso de conceptos e ideas de sistemas no deben depender de la definición de los objetivos como punto de partida.

En los términos más generales que son ahora esenciales, dado el amplio alcance del pensamiento de sistemas, la definición de Ingeniería de Sistemas se simplifica a:

INGENIERÍA DE SISTEMAS ES LA APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA

CONFRONTACIÓN DE UNA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

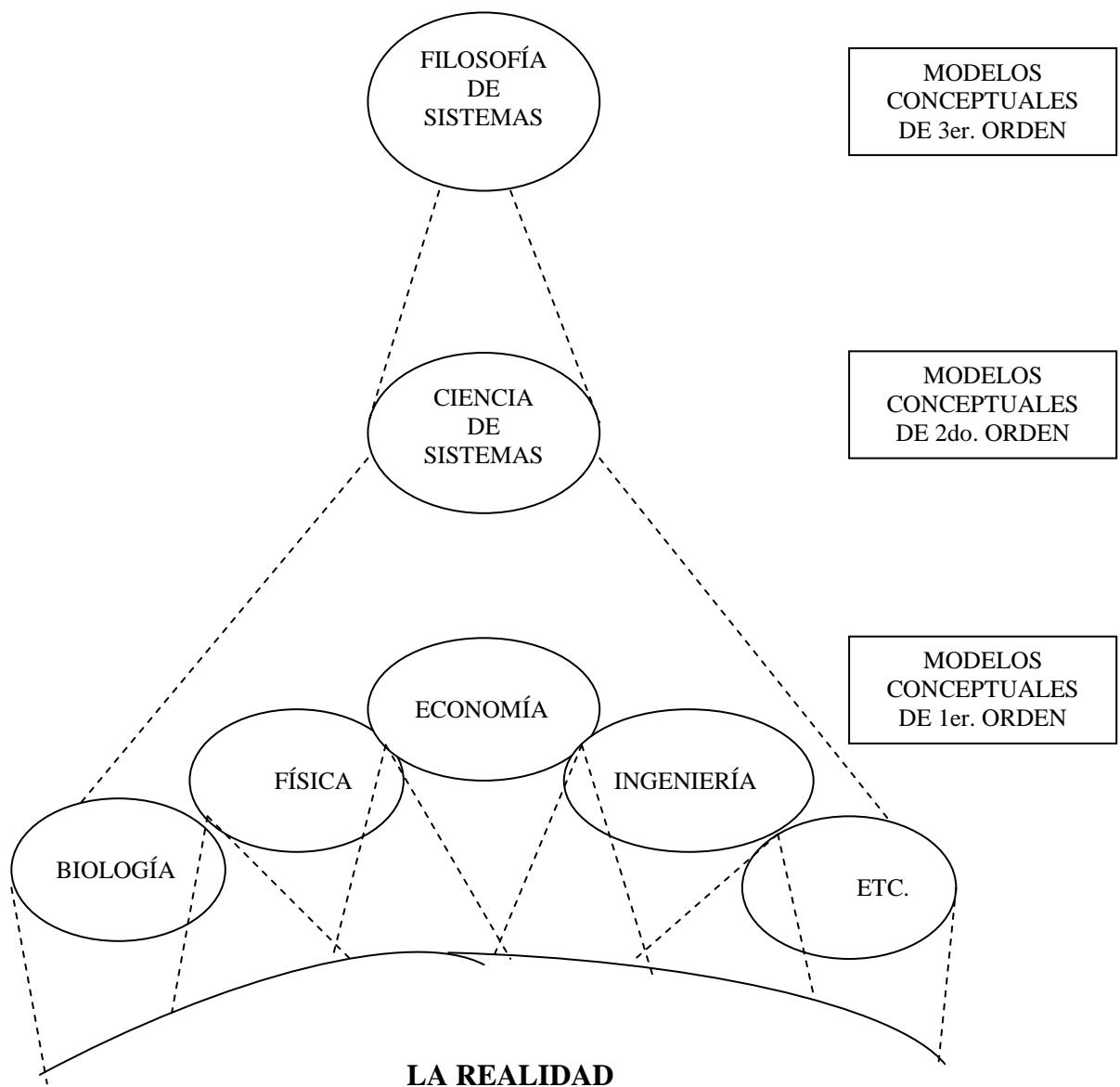


Figura No. 1 Jerarquía de Modelos Conceptuales de la Realidad

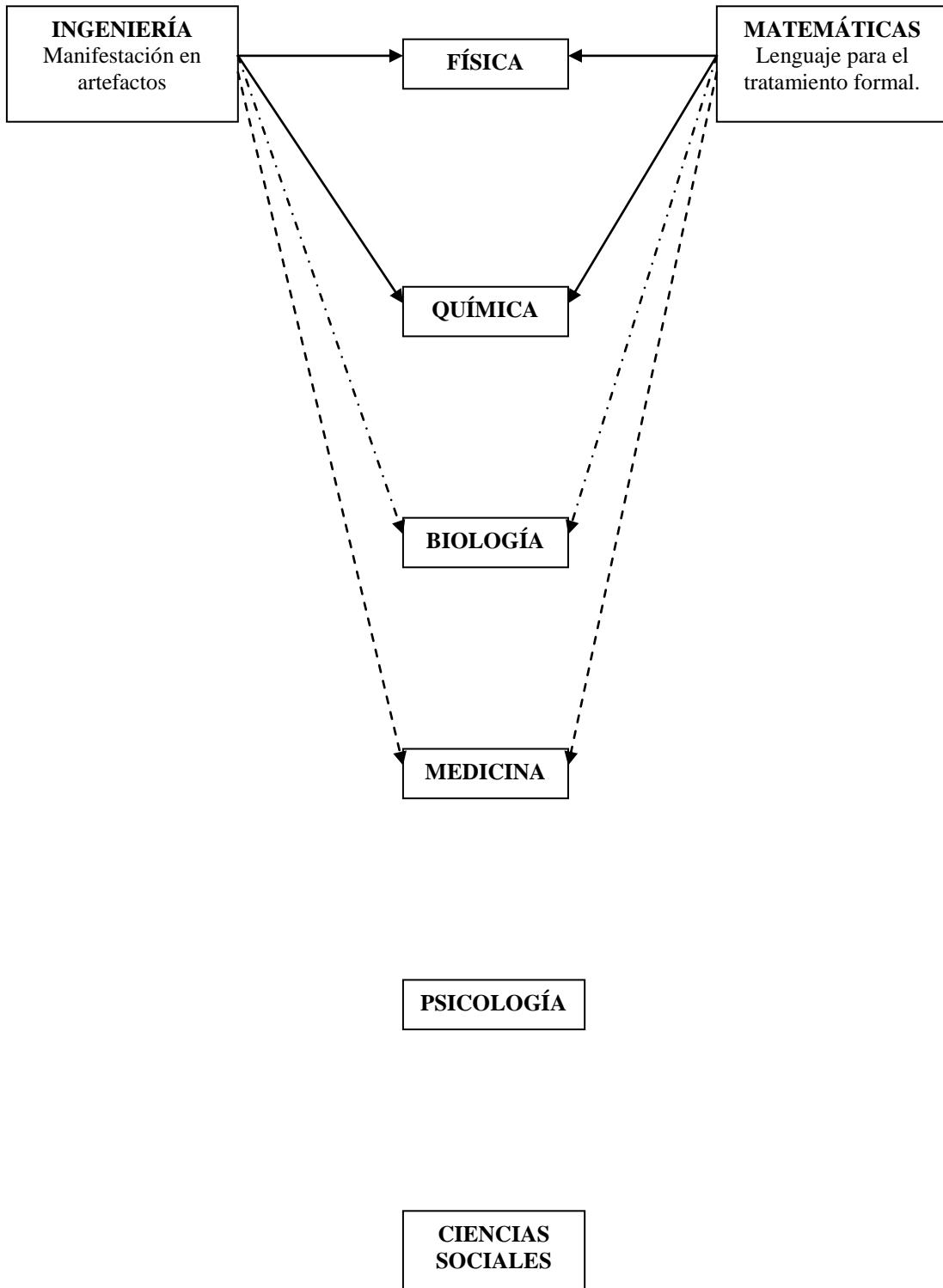


Figura No. 2 Areas de Estudio Científico

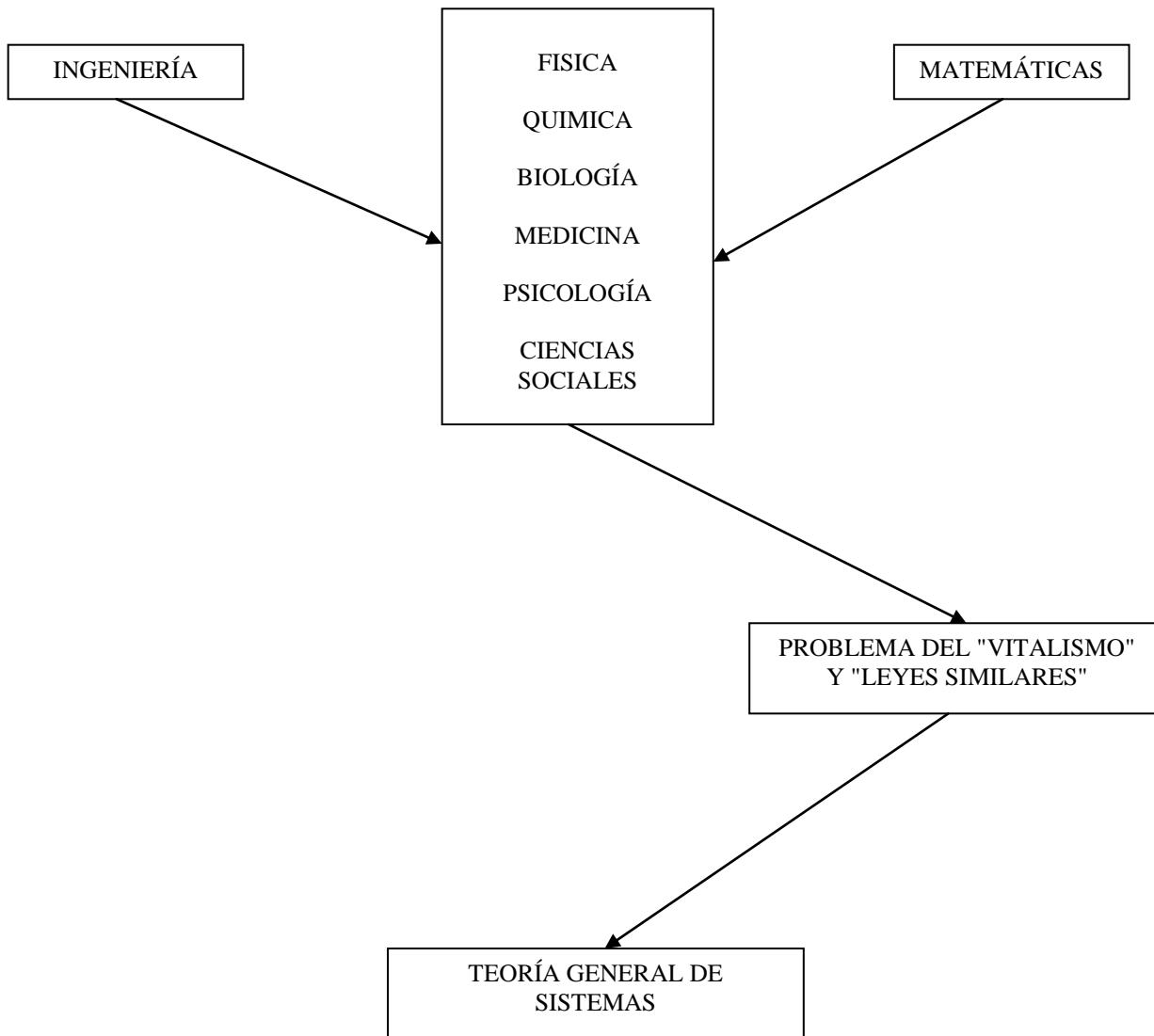


Figura No. 3

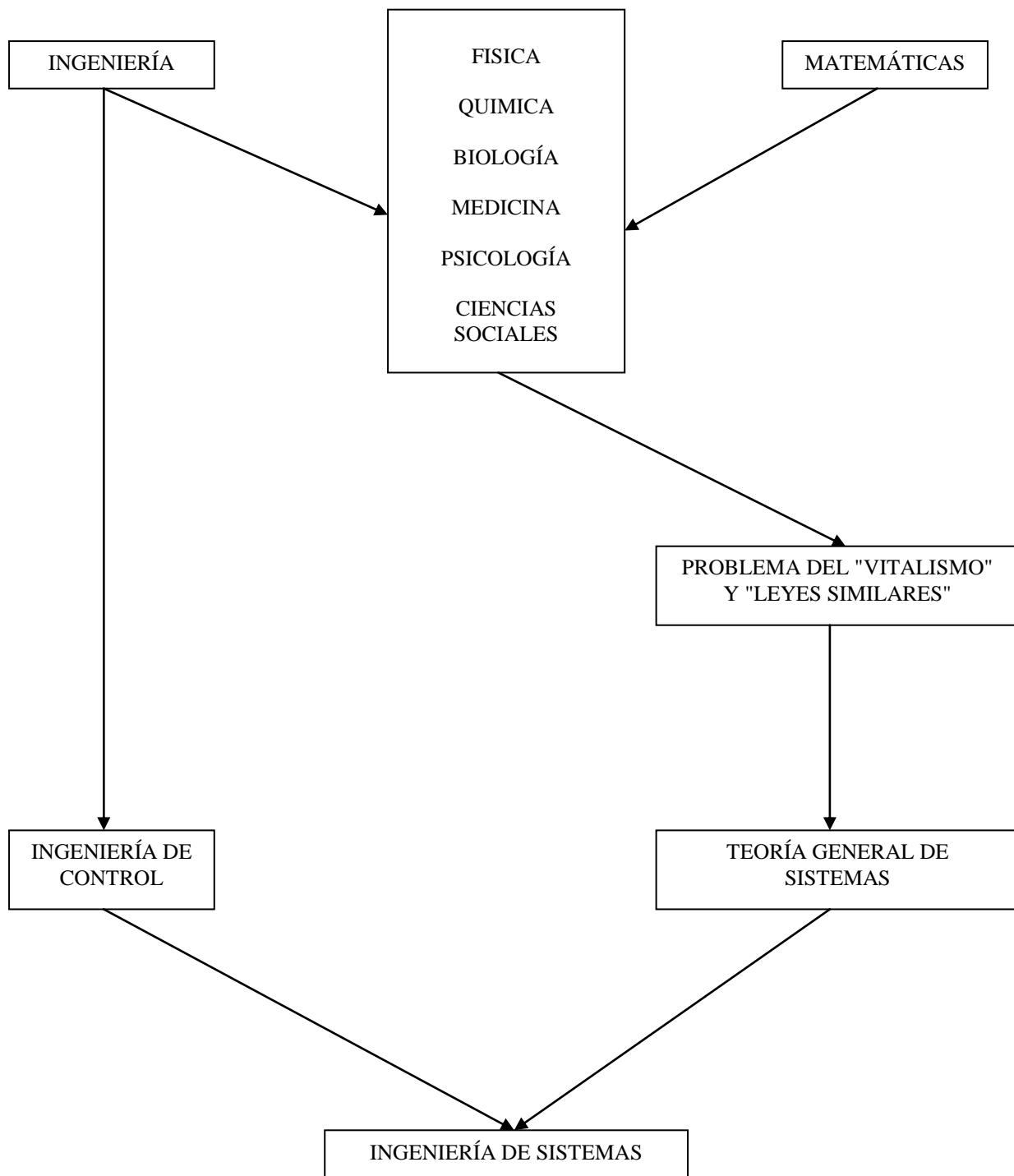


Figura No. 4