

# CAPITULO VI

## El enfoque sistémico

*MiguelAngel Ferreras -  
Aquiiles Gay*

Teniendo en cuenta que el enfoque sistémico se sustenta, como veremos mas adelante, en la idea de sistema, es importante comenzar aclarando lo que se entiende por sistema. En el libro *Dirección integrada de proyecto*, de Rafael de Heredia, leemos:

«Un sistema es un conjunto de dos o más elementos, de cualquier clase o naturaleza interrelacionados entre sí y con el medio o entorno que los contiene. Los elementos del conjunto y el conjunto de elementos que forman el sistema tienen las siguientes propiedades:

1. Las características o el comportamiento de cada elemento tienen efecto sobre las propiedades o comportamiento del conjunto tomado como un todo.
2. Las propiedades y el comportamiento de cada elemento y la forma que afectan al conjunto, dependen de las propiedades y comportamiento de al menos otro de los elementos del conjunto. Por consiguiente, ningún elemento tiene un efecto independiente sobre el todo y cada uno está afectado por al menos otro elemento.
3. Cada posible subgrupo de elementos del conjunto tiene las primeras dos propiedades: cada uno tiene un efecto no independiente sobre el todo. Un sistema no puede dividirse en subsistemas independientes. Pierde sus condiciones esenciales.

A causa de estas tres propiedades. un conjunto de elementos que constituyen un sistema tiene siempre alguna característica, o un modo de comportamiento, diferente del de sus elementos o subsistemas. *Un sistema representa más que la suma de sus componentes.»*

El concepto de sistema es muy amplio y abarca tanto sistemas estáticos como sistemas dinámicos.

Un recipiente con agua, en el que no entra ni sale líquido (y como consecuencia el nivel permanece constante) es, en principio, un sistema estático, otros sistemas estáticos podrían ser la estructura de un edificio, una piedra, etc.

Un depósito en el que entra y sale agua es un sistema dinámico, otros sistemas dinámicos son, por ejemplo, el sistema circulatorio sanguíneo, una célula viva, el motor de un automóvil funcionando, etc.

En el enfoque sistémico centramos el análisis en los sistemas dinámicos, y como planteo general decimos que:

*Un sistema es un conjunto de elementos en interacción dinámica, organizados en*

### *función de un objetivo.*

Los elementos de un sistema forman un todo y pueden ser conceptos, objetos y/o sujetos, es decir que un sistema está compuesto de elementos vivientes, o de no vivientes, o de ambos simultáneamente.

En todo sistema podemos señalar:

1. Elementos;
2. Interacción;
3. Organización;
4. Finalidad (objetivo).

Como vemos los sistemas tienen una finalidad (sirven para algo), es decir que diseñados por el hombre, o productos de la naturaleza, cumplen una función. La expresión, cumplen una función, es válida tanto para los concebidos por el hombre (en este caso el planteo es claro, pues todo lo hecho por el hombre tiene una finalidad; asumida consciente o inconsciente), como para los sistemas naturales, que también cumplen una función (mantener su estructura, su funcionamiento, su equilibrio, etc.), si no la cumplen se destruyen, desaparecen. La finalidad es el objetivo del sistema.

Los sistemas objeto de nuestro estudio, comparten una característica, la complejidad. La complejidad implica:

1. Variedad de elementos, dotados de funciones específicas y organizados en niveles jerárquicos;
2. Interacción de los elementos entre sí y con el medio; en general interacciones no lineales.

El tema de la complejidad, cada vez más creciente, de los productos tecnológicos, y como consecuencia lo difícil y laborioso que puede llegar a ser el estudio de su comportamiento, nos lleva, como veremos más adelante, a apelar a un enfoque más globalizador: el *enfoque sistémico*.

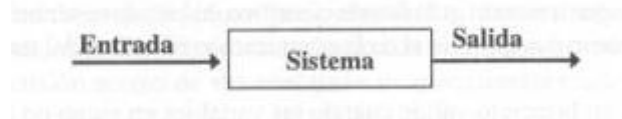
Un sistema puede estar compuesto de otros sistemas que llamamos subsistemas, y a su vez puede formar parte de un sistema más grande que podemos llamar supersistema, metasistema, sistema total o sistema global. Por ejemplo, el sistema de transporte de una ciudad está compuesto, entre otras cosas, de unidades de transporte, que por derecho propio son a su vez sistemas, y este sistema de transporte forma parte a su vez de un macrosistema: el sistema de servicios públicos de una ciudad.

El concepto de sistema, tal como está planteado en la actualidad, tiene sus orígenes en el trabajo sobre *Teoría de los Sistemas Abiertos*, que hizo público, allá por 1925, Ludwig von Bertalanffy, biólogo alemán, quien más tarde desarrolló el concepto de sistema para poder encarar la resolución de problemas complejos relacionados con seres vivos; pero hay que llegar al término de la Segunda Guerra Mundial, con los trabajos, entre otros de Norbert Wiener, W. Ross Ashby, Warren McCulloch, Jay Forrester, etc., además de los de L. von Bertalanffy, para que el concepto de sistema adquiera el alcance que hoy tiene. Para von Bertalanffy nada existe hasta que no exista un sistema.

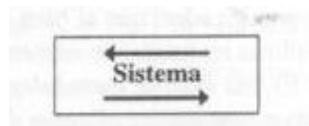
## SISTEMAS ABIERTOS Y SISTEMAS CERRADOS

Desde el punto de vista de su vinculación con el entorno podemos clasificar a los sistemas en abiertos y cerrados.

Los sistemas abiertos son aquellos que están en relación con su entorno (con su medio), con el que mantienen un permanente intercambio, este intercambio puede ser tanto de energía, de materia, de información, etc., como de residuos, de contaminación, de desorden, etc. En sistema abierto podemos hablar de una entrada y de una salida.



Un sistema cerrado es aquel que está totalmente aislado del mundo exterior, con el que, en consecuencia, no tiene ningún tipo de intercambio. Un sistema cerrado es un sistema que no tiene medio. Ahora bien, un circuito cerrado es una abstracción que no tiene vigencia en la vida real, pero que debido a la simplificación que significa manejarse con datos que están limitados dentro del sistema ha permitido establecer leyes generales de la ciencia.



Al mundo físico, así como al social, se los puede concebir como organizados en torno a sistemas. Podemos decir que la vida humana transcurre en un gran sistema global, "el mundo", sistema complejo, tanto en su estructura como en su organización, en el que los sistemas que lo integran se caracterizan por una complejidad organizada que les permite su normal desenvolvimiento. Para entender y explicar el funcionamiento de estos sistemas -es decir el cómo y el porqué de los hechos y acciones, ya sean naturales o artificiales (consecuencia del accionar humano), que tienen lugar dentro de los mismos- el hombre, durante siglos ha buscado reducir el todo a una serie de elementos separables más pequeños, es decir descomponer ese todo en partes elementales para estudiarlas en condiciones ideales (sin entorno): es decir se ha centrado en el estudio de porciones reducidas de la realidad (con la correspondiente pérdida de la visión del conjunto), pensando que una vez conocidas las características y el comportamiento de cada elemento, la recomposición del sistema -teniendo en cuenta las relaciones entre las partes- le posibilitaría llegar a conocer el comportamiento del todo, es decir de la actividad global. Esto no corresponde con la realidad pues es imposible independizar el comportamiento de un elemento del contexto en el que está inserto.

## EL ENFOQUE ANALITICO

Esta forma de enfocar el estudio de los sistemas es la que ha prevalecido desde la Grecia clásica hasta nuestros días y es lo que llamamos el "enfoque analítico", que parte del principio de estudiar aisladamente y con gran detalle las diferentes partes de un sistema (es decir una porción muy reducida de la realidad, lo que, como hemos dicho, implica perder la visión del conjunto). Una excepción a esta forma de razonar

fue el planteo de Aristóteles que decía que “el todo es más que la suma de las partes”; proposición que fue ignorada por la visión mecanicista vigente hasta este siglo.

Recordemos que Descartes en su *Discurso del método*, plantea que para entender algo, «se lo debe descomponer en tantos elementos simples como sea posible»<sup>2</sup>.

Este enfoque analítico, reduccionista y determinista, y su correspondiente metodología, ha marcado y podemos decir posibilitado el gran desarrollo de las ciencias (física, química, biología, etc.), y sigue teniendo gran interés científico, habiéndose también hecho extensivo a otros campos, como por ejemplo el de la organización científica del trabajo (taylorismo).

Este enfoque, en principio válido cuando las variables en juego no son muchas, o sus relaciones son sencillas, es insuficiente cuando se trata de enfocar problemas complejos.

## EL ENFOQUE SISTEMICO

Buscando comprender y describir la complejidad organizada, ha surgido en el curso de los últimos años un enfoque unificador, que si bien no es una idea nueva, lo que es nuevo es la integración de disciplinas realizadas en su tomo. Este enfoque transdisciplinario se llama “enfoque sistémico”. Es una **«nueva metodología que permite reunir y organizar los conocimientos con vista a una mayor eficacia de la acción.»**<sup>3</sup>

El enfoque sistémico sirve como guía para interrogarse sobre el comportamiento de un sistema.

A diferencia del enfoque analítico, el enfoque sistémico engloba la totalidad de los elementos del sistema estudiado así como sus interacciones y sus interdependencias.

## COMENTARIOS SOBRE LOS DOS ENFOQUES

Resumiendo, podemos decir que el estudio de los sistemas se puede hacer desde:

**Una óptica diferenciadora o analítica;** o desde

**Una óptica integradora o sistémica.**

En el primer caso hablamos de un enfoque analítico, en el segundo de un enfoque sistémico.

En el enfoque analítico se parte del principio de considerar aisladamente y con gran detalle las diferentes partes del sistema, perdiendo la visión del conjunto. En el enfoque sistémico se prioriza la visión del conjunto a costa de perder los detalles.

Además es interesante destacar que uno de los objetivos del enfoque sistémico es buscar «similitudes de estructura y de propiedad, así como fenómenos comunes que ocurren en sistemas de diferentes disciplinas, con esto se busca *augmentar el nivel de generalidades de las leyes* que se aplican a campos estrechos de experimentación. El enfoque sistémico busca generalizaciones que se refieran a la forma en que están

organizados los sistemas, a los medios por los cuales los sistemas reciben, almacenan, procesan y recuperan información, y a la forma en que funcionan; es decir, la forma en que se comportan, responden y se adaptan ante diferentes entradas del medio»<sup>4</sup>.

A continuación transcribimos un párrafo, con su correspondiente cuadro, del libro *El macroscopio*, de Joël de Rosnay, en el que se señalan las características de cada uno de estos enfoques.

«Mejor que una descripción punto por punto de las características de cada uno de estos dos enfoques, es preferible presentarlas juntas en un cuadro, sin comprometerse ahora en una discusión acerca de sus ventajas e inconvenientes respectivos.

Enfoque analítico	Enfoque sistémico
Aísla: se concentra sobre los elementos	Relaciona: se concentra sobre las interacciones de los elementos
Considera la naturaleza de las interacciones	Considera los efectos de las interacciones
Se basa en la precisión de los detalles	Se basa en la percepción global
Modifica una variable a la vez	Modifica simultáneamente grupos de variables
Independiente de la duración: los fenómenos considerados son reversibles	Integra la duración y la irreversibilidad
La validación de los hechos se realiza por la prueba experimental en el marco de una teoría	La validación de los hechos se realiza por comparación del funcionamiento del modelo con la realidad
Modelos precisos y detallados, aunque difícilmente utilizables en la acción (ejemplo: modelos econométricos)	Modelos insuficientemente rigurosos para servir de base a los conocimientos, pero utilizables en la decisión y en la acción (ejemplo: modelos del Club de Roma)

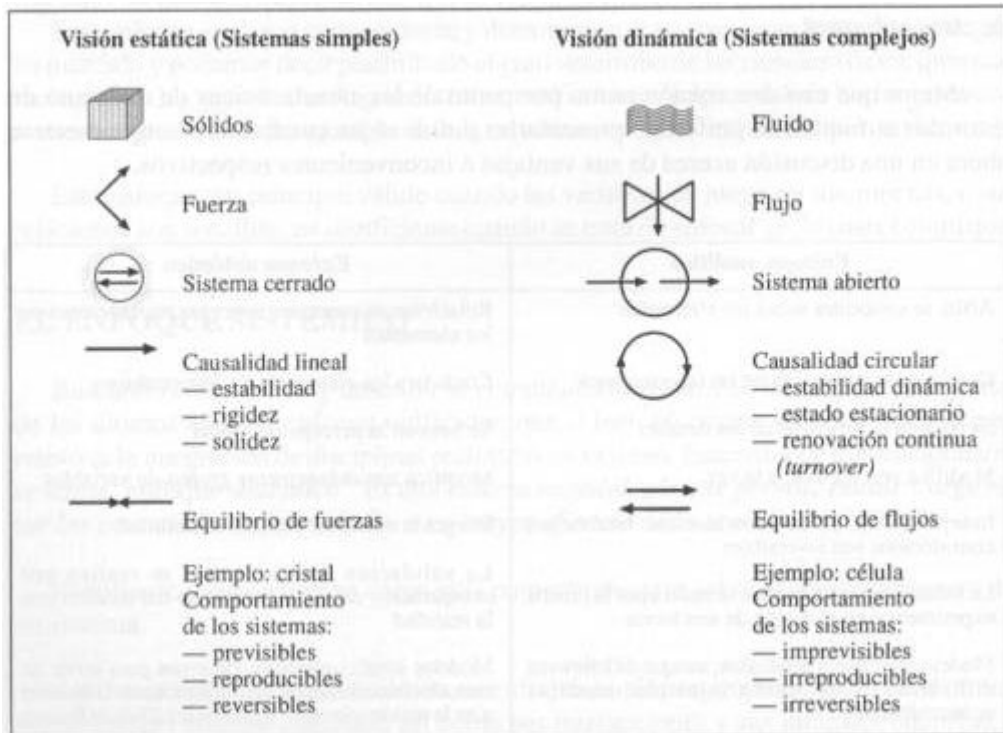
Enfoque analítico	Enfoque sistémico
Enfoque eficaz cuando las interacciones son lineales o débiles.	Enfoque eficaz cuando las interacciones son no lineales y fuertes
Conduce a una enseñanza por disciplinas (yuxta-disciplinaria)	Conduce a una enseñanza pluri-disciplinaria
Conduce a una acción programada en sus detalles	Conduce a una acción por objetivos
Conocimiento de los detalles, objetivos mal definidos	Conocimiento de los objetivos, detalles borrosos

Este cuadro, útil por su simplicidad, no representa de hecho sino una caricatura de la realidad. [ ] Sin ser exhaustivo, este cuadro tiene la ventaja de situar dos enfoques complementarios, de los que uno (enfoque analítico) ha sido favorecido de forma casi desproporcionada en toda nuestra enseñanza.»<sup>5</sup>

Continuando con *El macroscopio*.

«A la oposición entre analítico y sistémico, se le añade la oposición entre visión estática y visión dinámica. [...]

De nuevo un cuadro, para presentar, esclarecer y enriquecer los conceptos más importantes asociados al “pensamiento clásico” y al “pensamiento sistémico” »<sup>6</sup>



En todo sistema podemos señalar, su estructura y su funcionamiento.

Estructuralmente un sistema puede ser divisible, pero funcionalmente, un sistema es indivisible ya que alguna de sus propiedades esenciales se perderían con la división. Cada elemento aislado pierde las características que tenía en su conjunto original, pues de la interacción entre elementos surgen nuevas propiedades que no son la simple suma de las propiedades de cada elemento. Pero cada sistema sí puede a su vez, agruparse con otros para constituir un sistema superior. Y así, los problemas se resuelven no aislándolos sino considerándolos parte de un problema superior, o sea dentro de un sistema de mayor alcance y extensión.

La noción de sistema permite

1. Organizar los conocimientos;
2. Hacer la acción más eficaz.

## ALGUNOS CONCEPTOS VINCULADOS A LOS SISTEMAS

### Elementos

Los elementos son los componentes de un sistema.

Los elementos pueden ser representación o conceptualización de características de la realidad.

Los elementos pueden a su vez ser sistemas (subsistemas).

Los elementos pueden ser no vivientes o vivientes (en muchos casos combinación de ambos).

Hay elementos que entran al sistema: las entradas.

Hay elementos que dejan el sistema: las salidas o resultados.

Como ejemplo de elementos podemos mencionar: las moléculas de una célula; los alumnos de una escuela; las máquinas de una fábrica; las mercancías; el dinero: etc.

### **Proceso de conversión**

Dentro de un sistema tienen lugar procesos de conversión que cambian las características de los elementos de entrada convirtiéndolos en elementos de salida.

### **Entradas y recursos**

Las entradas son los elementos que entran a un sistema; como planteo general son: materia, energía e información. Para que un sistema abierto pueda funcionar debe importar ciertos recursos del medio. Se llaman recursos los elementos que normalmente se aplican o actúan sobre los elementos de entrada para modificar sus características. Los recursos son también entradas al sistema. La diferencia entre recursos y entradas depende del punto de vista del que se los mire. Los recursos pueden ser materiales, financieros, humanos, etc.

### **Salidas o resultados**

Son el resultado del proceso de conversión

Las salidas pueden ser: materia, energía, información, productos acabados, desechos, etc.

### **Límites**

Los límites son las fronteras que enmarcan a un sistema y lo separan del mundo exterior (los límites pueden ser físicos, como también jurídicos o mentales). La fijación de los límites es un punto clave en el enfoque sistémico, pues delimita el campo de estudio. Tomemos como ejemplo el sistema 'bicicleta', si lo que nos interesa es su funcionamiento desde el punto de vista mecánico, centraremos nuestro análisis en la bicicleta en sí, pero si nos interesa la bicicleta como medio de transporte tenemos que ampliar el límite y tener en cuenta el suelo sobre el que se desplaza, pues sin la fricción sobre el mismo no puede haber movimiento; como consecuencia no habría desplazamiento del cuadro, ni tampoco movimiento de giro de la rueda delantera. En nuestro caso la ampliación de los límites del sistema nos lleva a la necesidad de ir teniendo en cuenta muchas otras variables: el hombre, la carretera, el tránsito, etc.

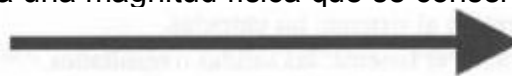
### **Flujos**

Se entiende por flujo la circulación de elementos que intervienen o que forman parte de un sistema. **Los flujos pueden ser de materia, de energía o de información.**

En un diagrama de bloques:

#### **Los flujos de materia se representan gráficamente con flechas negras**

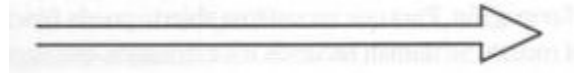
Hay que tener en cuenta que cuando hablamos de flujo de materia nos referimos a algo que se conserva como tal, si entra al sistema debe salir (transformada, convertida en producto final, etc.) o acumularse en el mismo, pero no puede salir materia donde no entró materia, o donde no estaba acumulada. Al hablar de flujo de materia nos referimos a una magnitud física que se conserva.



#### **Los flujos de energía se representan con flechas dobles**

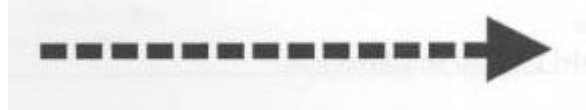
En este caso también es válido el tema de la conservación de la magnitud física.

Puede haber una conversión de energía, pero un sistema no puede generar energía; si hay energía de salida (normalmente siempre la hay bajo forma de calor - pérdidas por fricción, etc.) tiene que haber energía de entrada, o energía acumulada en el sistema; esto es muy importante a tener en cuenta cuando se representa en un diagrama de bloques el funcionamiento de un sistema. El análisis de los flujos de energía es un recurso didáctico interesante para visualizar con claridad la noción de rendimiento, que es clave en tecnología.



### **Los flujos de información se representan con flechas de línea entrecortada**

En este caso no es necesario que la información se conserve como tal.



### **Flujos de materia y energía (flechas negras gruesas)**

Teniendo en cuenta que en ciertos casos (por ejemplo, combustibles sólidos, líquidos o gaseosos), materia y energía están íntimamente asociados planteamos una flecha negra gruesa que integre el flujo de materia y de energía, lo que evita cometer incorrecciones como podría ser, colocar a la entrada de un sistema materia (el combustible, por ejemplo) y a la salida energía, pues se prestaría a interpretar que el sistema convierte materia en energía, lo que no es el caso. Esto, por ejemplo, se presenta concretamente en los motores de combustión interna en los que entra combustible (materia más energía química) y a la salida tenemos energía mecánica y térmica por un lado y materia (gases y residuos de la combustión) por el otro.



### **Depósitos**

Los depósitos son lugares de almacenamiento de materiales, energía, información, etc. Como ejemplos podemos mencionar: contenedores de hidrocarburo, grasa del organismo, bibliotecas, memoria de computadoras, filmes, etc.

### **Redes de comunicación**

Las redes de comunicación son las que posibilitan las relaciones e interacciones entre elementos y permiten los intercambios de materia, energía e información dentro de un sistema y con otros sistemas. Las redes de comunicación pueden ser físicas (redes eléctricas, carreteras, canales, gasoductos, nervios, arterias, etc.) o mentales (órdenes).

### **Elementos de control (válvulas)**

Son los elementos que controlan la circulación y el caudal del flujo. Los elementos de control transforman las informaciones que reciben en acciones. Como ejemplo de elementos de control podemos mencionar: una llave, una válvula hidráulica, una canilla, un interruptor, un semáforo, el director de una empresa, etc.

Su representación simbólica suele tener el aspecto de un grifo colocado en la línea de flujo.





## Retardos

Los retardos son consecuencia de la velocidad de circulación de los flujos, de los tiempos de almacenamiento, etc. En otras palabras están vinculados con el tiempo de transmisión o circulación de materia, energía o información. Desempeñan un papel importante en el comportamiento de los sistemas complejos.

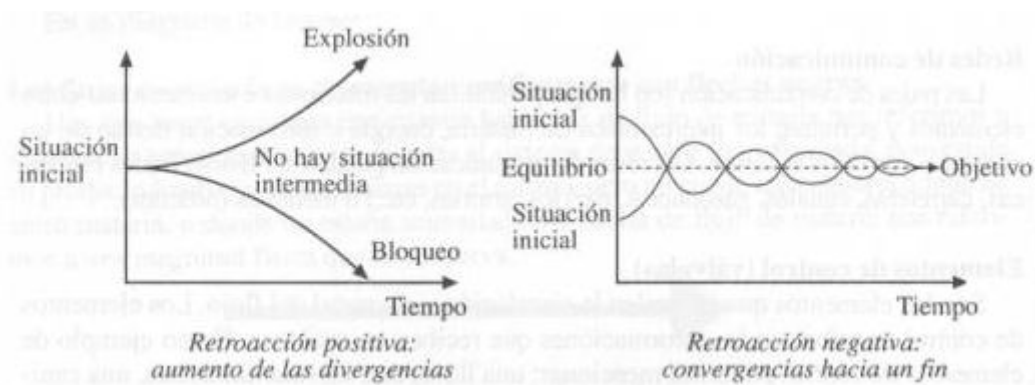
## Bucles de realimentación (feedback)

Se dice que en un sistema hay realimentación (o retroalimentación) cuando la salida actúa sobre la entrada. Los bucles de realimentación cumplen esa función, son estructuras bastante frecuentes en los sistemas y desempeñan un papel determinante en el funcionamiento de los mismos.

En base a su comportamiento, podemos decir que existen dos tipos de bucles:

- Los **bucles de realimentación positiva (aumento de la divergencia);**
- Los **bucles de realimentación negativa (convergencia hacia un fin).**

A continuación transcribimos un diagrama del libro *Macroscopio*, que ilustra con bastante claridad el tema.<sup>7</sup>



En general los sistemas tienden a mantenerse en equilibrio (mecánico, térmico, homeostático, etc.), y para que este equilibrio tenga lugar es necesario contar con mecanismos necesarios para modificar su comportamiento cuando las exigencias del medio lo requieran, los bucles de realimentación negativa son, en estos casos, los mecanismos idóneos.

## DIAGRAMA DE BLOQUES

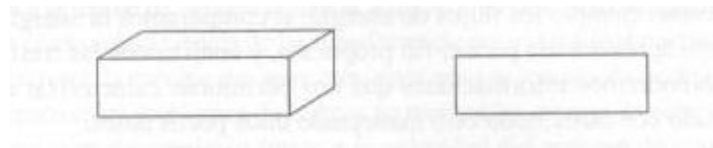
El diagrama de bloques es una de las herramientas importantes del enfoque sistémico, y una de las que nos interesa mucho desde la óptica de la educación tecnológica, porque nos permite visualizar las relaciones entre los elementos de un sistema a través de los flujos de materia, energía e información.

Los diagramas de bloques ilustran, mediante bloques, rectángulos o símbolos similares, los distintos elementos de un sistema (piezas de una máquina, fases de un proceso, etc.), los que a su vez pueden ser sistemas, y mediante flechas, las relaciones entre los mismos.

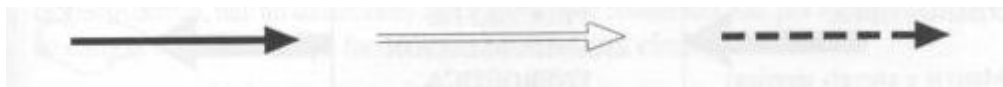
Los diagramas de bloques son modelos que representan, en lo esencial, los aspectos estructurales y funcionales de los sistemas, y permiten estudiar su comportamiento. Un modelo no es único y es función de los que se quiere estudiar, de los límites del sistema, etc.

En la construcción de los diagramas de bloques utilizaremos los siguientes símbolos:

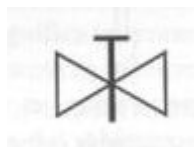
Bloques o rectángulos para representar los elementos de un sistema, o los subsistemas; estos elementos cumplen funciones determinadas (transformación, depósito, etc.);



Flechas para representar los flujos de materia, energía e información (ver el tema flujos);



Dibujos que representan válvulas para identificar elementos de control (ver elementos de control);



Nubes para representar fuentes o sumideros fuera de las fronteras del sistema.



## EL ENFOQUE SISTEMICO COMO INSTRUMENTO DE ESTUDIO

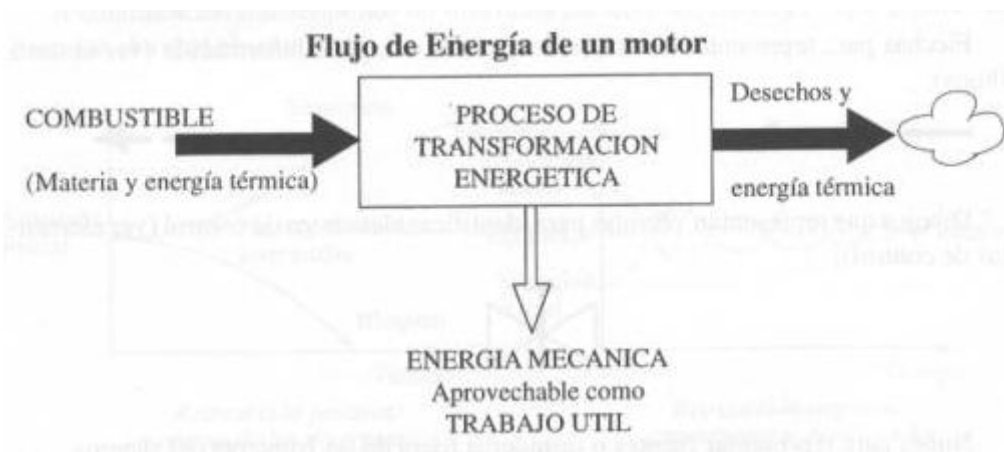
El enfoque sistémico es un poderoso instrumento de estudio que tiene múltiples

posibilidades de utilización. Aplicado al funcionamiento de un sistema, permite obtener importantes conclusiones, sin profundizar en detalles técnicos que complicarían o dificultarían el análisis; en este caso se priorizan los aspectos más globales que posibilitan sacar conclusiones no solamente desde el punto de vista técnico, sino también desde el social, el ecológico, etc.; además se busca encontrar criterios que permitan efectuar comparaciones con otros sistemas.

Para la educación tecnológica, el enfoque sistémico (herramienta conceptual) interesa como contenido, en tanto pueda contribuir a una mejor comprensión y conocimiento del mundo construido. Su uso permite, entre otras cosas, interpretar y jerarquizar el papel de las interacciones, tanto entre los subsistemas que componen el sistema, como con el metasistema que integra. Evaluar su función como herramienta, preguntándose por ejemplo ¿qué aporta su uso?, evita reducir su estudio a la mera descripción de la herramienta y sus “aplicaciones tipo”.

El enfoque sistémico, aplicado al análisis de los flujos en juego en un sistema, permite sacar conclusiones importantes sobre el comportamiento del sistema, estos flujos pueden ser de materia, de energía y/o de información.

Tomemos como ejemplo los flujos de energía; si comparamos la energía entrante y la efectivamente aprovechada para el fin propuesto, y analizamos las transformaciones energéticas, obtendremos informaciones que nos permitirán caracterizar el sistema y poder compararlo con otros; todo esto manejando unos pocos datos.



Como caso particular podemos analizar los “medios de transportes” concebidos como sistemas. El medio de transporte primigenio del hombre es su propio cuerpo; para autotransportarse utiliza parte de la energía química acumulada en su organismo como resultado del procesamiento de los alimentos ingeridos. La energía química puesta en juego por el sistema locomotor se degrada bajo forma de energía térmica, con una mínima generación de agentes contaminantes ambientales, que son biodegradables. Es un proceso con una relación “trabajo realizado/energía degradada” buena, de gran rendimiento si no se tiene en cuenta la energía que se degrada como consecuencia del metabolismo basal. Por otra parte el ejercicio físico que supone el autotransportarse va incrementando la posibilidad de acumular energía en el sistema locomotor y agiliza su funcionamiento.

Cuando el hombre transfiere a un animal la función de transportarlo, o de transportar cargas, traslada al animal el proceso de transformación energética que realizaba su cuerpo, y además se libera de la fatiga que también la transfiere al animal. por otra parte puede incrementar la velocidad de desplazamiento y el peso a

transportar. Pero la multiplicación

de los medios de transporte animal presentan, junto a sus ventajas, sus inconvenientes, algunos, como por ejemplo las excreciones de los animales, que acontecen en cualquier momento y lugar, llegaron a ser graves problemas en las ciudades del siglo XIX.

Otra forma de autotransporte es la bicicleta, que utiliza la energía del aparato locomotor, pero potenciando el trabajo muscular mediante artificios de construcción humana, la bicicleta permite obtener mayor velocidad de desplazamiento y trasladar cargas moderadas con menor esfuerzo, pero plantea el problema de requerir el desarrollo de nuevas habilidades y destrezas vinculadas al equilibrio y a la conducción del vehículo (esta última también está presente en los vehículos tirados por animales).

Un cambio substancial se produce con la aparición y multiplicación del automóvil: cambio en cuanto a la fuente de energía utilizada, a los insumos, y a los efluentes y desechos que aparecen como consecuencia de las transformaciones energéticas puestas en juego. Las fuentes que proveen la energía que requieren estos nuevos medios de transporte son prácticamente no renovables (hablamos de fuentes no renovables, porque la velocidad del proceso de renovación es despreciable frente a la velocidad del proceso de consumo), lo que plantea límites en lo referente a su utilización. La explotación del petróleo tiene límites en el tiempo, al ritmo actual, posiblemente menos de un siglo; existen disparidades en las estimaciones. Además, hay un incremento de los factores de contaminación, por ejemplo del dióxido de carbono, que contribuye fuertemente a potenciar el efecto invernadero.

Como lógica extensión del automóvil aparecen el ómnibus y el camión, que amplían la capacidad, tanto en cuanto a la cantidad de personas como a la carga transportada; en términos energéticos significa un avance frente al automóvil, ya que el consumo de combustible no se incrementa en la misma medida que la carga transportada, en parte por un mayor rendimiento de los motores más grandes, y en parte por una menor incidencia de la carga fija propia del vehículo.

El enfoque sistémico permite, conociendo pocos datos, obtener en forma sintética los valores de magnitudes vinculadas a importantes conceptos como pueden ser: el rendimiento de los procesos de utilización de la energía, los límites económicos del sistema (en cuanto a costos), los límites ecológicos (vinculados a la contaminación y al uso de recursos naturales finitos), etc.

Con muy pocos datos se puede determinar, la eficiencia, los límites del ecosistema natural, la incidencia de la contaminación ambiental, la relación costo beneficio, el uso racional de la energía, etc. Todo esto nos autoriza a decir que, desde el punto de vista del conocimiento, el enfoque sistémico es una herramienta conceptual altamente eficiente.

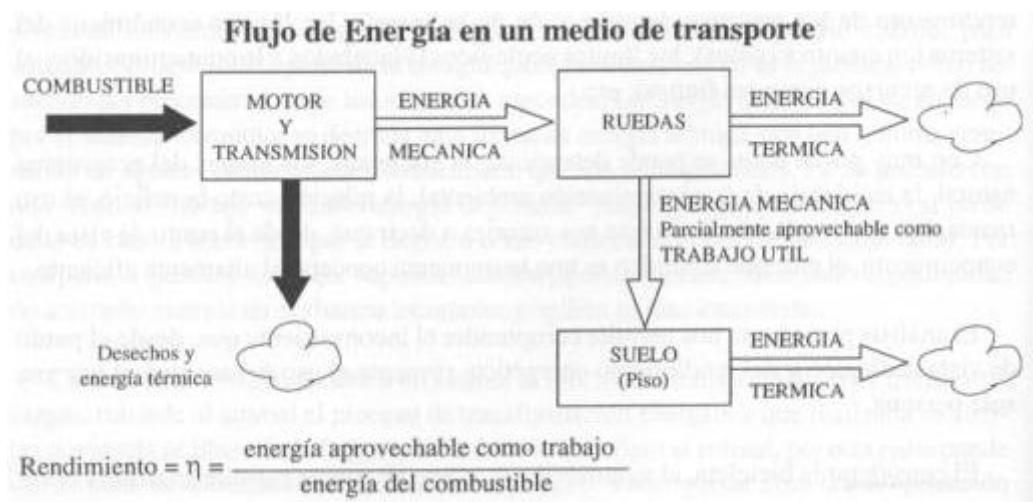
El análisis precedente nos permite comprender el inconveniente que, desde el punto de vista ecológico y del rendimiento energético, presenta el uso del automóvil por una sola persona.

El considerar la bicicleta, el automóvil, etc. como sistemas, permite analizar y comprender muchas de las interacciones entre los subsistemas que lo componen. Por ejemplo, en el caso del automóvil, las restricciones mutuas o los condicionamientos espaciales que se establecen entre el motor y el o los habitáculos destinados a los

pasajeros y a las cargas, y las demandas recíprocas que se plantean (insonorización, aislación de las vibraciones, resistencia mecánica, pesos, tamaños, etc.), a las que habría que agregar el peso de la tradición, la imagen que tenemos de la forma de los artefactos (recordemos la similitud de algunos de los primeros automóviles, o de los primeros vagones de ferrocarril, con las carrozas tiradas por animales).



Pero para analizar y comprender la bicicleta o el automóvil como medio de transporte es necesario introducir sus interacciones con el suelo y con el conductor. De la interacción vehículo-suelo surge la posibilidad de desplazamiento; y de la interacción vehículo-conductor surge la finalidad del desplazamiento (el transporte) y todas las alternativas que pueden presentarse (recorrido a efectuar, velocidad, etc.). Aisladamente, y sin contacto con el piso, la bicicleta o el automóvil solamente pueden imprimirle movimiento a alguna de sus partes (o a todas), pero el desplazamiento surge cuando se produce un particular tipo de contacto entre la rueda y el piso (la fricción).



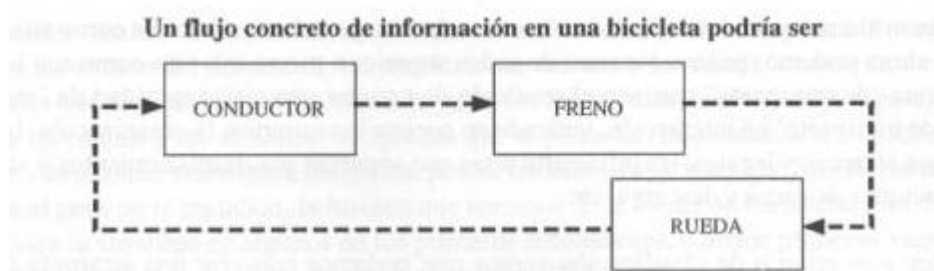
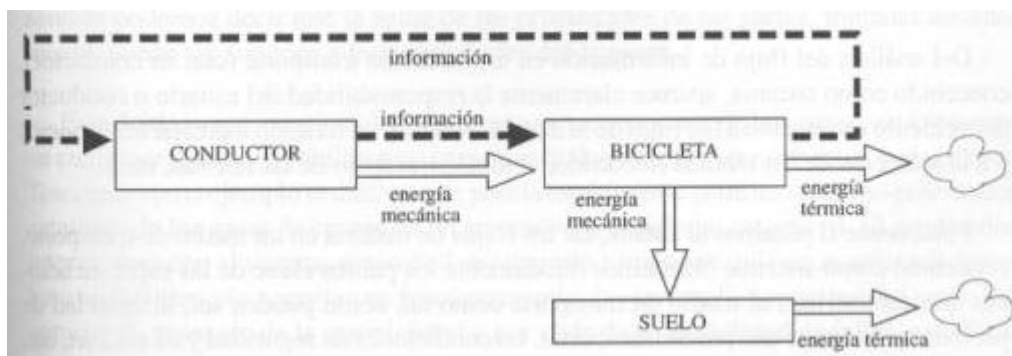
Hasta ahora hemos hablado de los “medios de transporte” considerados como sistemas, ahora podemos pasar a sistemas de orden superior o macrosistemas como son los “sistemas de transporte”, que son el resultado de agrupar una cierta cantidad de “medios de transporte” en interacción, teniendo en cuenta: los usuarios, la organización, las normas técnicas y legales, las infraestructuras que soportan sus desplazamientos y sus operaciones de carga y descarga, etc.

Con este criterio de clasificación vemos que podemos concebir una jerarquía de sistemas concatenados y contenidos unos en otros en una secuencia que tendría como límite el Cosmos en su totalidad.

Esta jerarquización puede servir de base para una secuenciación de contenidos en la educación tecnológica. Partiendo de un sistema que se considere pertinente para el abordaje de una temática dada, se pueden trabajar los subsistemas más especializados que lo constituyen, así como el sistema más complejo que integra.

La relevancia y presencia social de las unidades vehiculares (bicicletas, autos, trenes, etc.) es un argumento importante para considerar estas unidades como sistemas iniciales, a partir de los cuales se puede ir profundizando el estudio y comprensión de los subsistemas que los integran (sistemas mecánicos, eléctrico, electrónicos, etc. - lo que requerirá avanzar en contenidos técnicos específicos), así como analizar los metasistemas que integran (lo que plantea profundizar interacciones más complejas y variadas). El enfoque sistémico permite utilizar, en medios de transporte muy diversos, conceptos y representaciones comunes.

Hasta ahora hemos analizado los flujos de energía, si ahora centramos nuestra atención en los flujos de información, en nuestro caso en los medios de transporte, vemos que a los mismos ingresan datos proporcionados por el hombre: por ejemplo, la posición del manubrio de una bicicleta, la posición del acelerador de un automóvil, etc., todas estas son informaciones que el conductor aporta al vehículo para que las procese y actúe en consecuencia. El vehículo a su vez también entrega información, ya sea en forma directa, indicación de la velocidad, ruidos, vibraciones, etc., como en forma indirecta, por ejemplo, la información proveniente de cambios del espacio físico (del paisaje) donde se desplaza el vehículo. Todas estas informaciones que suministra el vehículo pueden o no ser procesadas por el conductor. Los cementerios están poblados de conductores que no procesaron la información suministrada por el vehículo, la de los velocímetros, las provenientes de los cambios del espacio físico (del paisaje), etc.



Esta forma de concebir los flujos de información nos permite, tanto captar similitudes y diferencias de un vehículo a otro, y tendencias o características de la evolución histórica de los vehículos, como reconocer el papel y las responsabilidades que tiene el conductor en el procesamiento de la información que recibe, en relación a los fines que se propone. En todo vehículo hay siempre una información de entrada que determina la velocidad de desplazamiento, esta información puede ser, el movimiento más o menos rápido de las piernas de un ciclista, la selección de la relación de transmisión de la bicicleta, la posición del dispositivo que regula el ingreso de la mezcla aire-combustible en un motor de combustión interna, la tensión o la frecuencia de alimentación de un motor eléctrico, o en un vehículo de un futuro próximo, los datos que envía el sistema de reconocimiento de la voz del conductor actuando 'inteligentemente' sobre los sensores de control, etc.

Si comparamos los intercambios de información en un Ford T y en un automóvil moderno aparece en forma evidente una tendencia a vehículos progresivamente más "inteligentes", en el sentido que pueden generar información y tomar algunas decisiones por si mismos (como ejemplo podemos mencionar el inflado de los *air bags* de los automóviles en caso de impacto, el aviso de fallas utilizando el lenguaje humano, etc.), esta tendencia es más evidente en los aviones o en las naves espaciales. Estas últimas nacen cuando se dispone de sistemas de control suficientemente autónomos como para reemplazar, en muchos casos con ventajas, la acción humana. Todo esto plantea, una vez más, la importancia de considerar al conductor como parte del sistema "medios de transporte", para poder analizarlos y comprenderlos como tales.

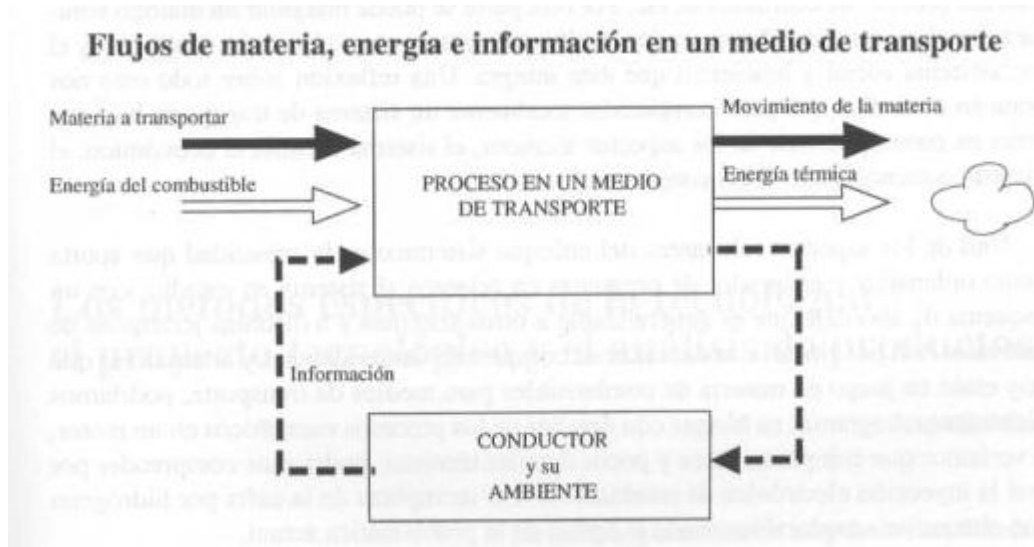
Es interesante destacar que la información, tanto la directa (mido, vibraciones, etc.) como la indirecta (la proveniente de cambios del espacio físico -del paisaje- como consecuencia del desplazamiento) que proporciona el vehículo, tienen gran importancia en la orientación de los cambios en los medios de transporte.

Del análisis del flujo de información en un medio de transporte (con su conductor), concebido como sistema, aparece claramente la responsabilidad del usuario o conductor del vehículo en relación a los fines de la acción (efectuar un traslado o prestar un servicio) y a la selección de los medios (recorrido, velocidad, respeto de las normas, etc.).

Finalmente si pasamos al estudio de los flujos de materia en un medio de transporte, concebido como sistema, obtenemos rápidamente los puntos clave de las especificaciones que caracterizan al medio de transporte como tal, como pueden ser, la cantidad de personas y/o el peso que puede transportar, las condiciones de seguridad y de confort, etc.

Desde el punto de vista de la educación tecnológica, puede ser interesante analizar el flujo de materia durante el proceso de producción de los medios de transporte, esto permitirá identificar las problemáticas vinculadas a este proceso productivo: residuos, reciclado de material, contaminación, etc. También es útil relacionarlo con la energía en juego, considerando el flujo de materia como trabajo útil deseado.

## **Flujos de materia, energía e información en un medio de transporte**



El enfoque sistémico es una herramienta para la comprensión global de acciones, procesos y artefactos, y no debe reducirse a la aplicación rutinaria de esquemas de representación, sino que debe explorarse en su potencialidad, analizando las interacciones que se producen en un sistema, de las cuales emergen propiedades no reconocibles en ninguno de sus elementos o partes (sinergia). Por ejemplo, el motor de un automóvil, puesto sobre una mesa, puede funcionar pero no puede cumplir funciones de transporte, tampoco el sistema de iluminación de un automóvil puede cumplir la función de fuente de luz transportable, si no está integrado al sistema automóvil. La pertenencia a un sistema implica también restricciones para los elementos o partes, ello explica por qué algunos accesorios de los vehículos de transporte han sido incorporados tiempo después de su creación, es decir cuando han sido adaptados para responder a las exigencias impuestas por las características del sistema, estas características pueden ser: tamaño, peso, precio, consumo de energía, resistencia a las vibraciones, etc. En este sentido podemos decir que la suma de las propiedades de las partes, tomadas aisladamente, puede ser superior a las propiedades del sistema.

Este doble juego, propiedades emergentes y restricciones de las partes, está presente en cualquier sistema y habilita para imaginar diálogos entre los elementos y el sistema. Tomemos como ejemplo el diálogo que podría establecerse entre un moderno procesador catalítico de los gases de escape de un automóvil y el sistema automóvil. El catalizador interactúa con el sistema automóvil requiriendo e imponiéndole accesorios adicionales que faciliten y/o permitan su funcionamiento, lo que implica aumento del costo del automóvil, aumento de la complejidad y por ende de la posibilidad de fallas, uso de un combustible de características especiales, etc.; pero por otro lado, le aporta una reducción de la emisión de gases contaminantes, un argumento de venta adicional, la adecuación a normas de protección ambiental, etc. El sistema automóvil interactúa con el catalizador requiriéndole tamaño y peso adecuado, resistencia a las vibraciones, adaptación a las condiciones de transporte, etc. y le aporta, transportabilidad, mayor difusión del proceso de catalización, etc. Por otra parte se puede imaginar un diálogo similar (vinculado también al procesador catalítico de gases) entre el sistema automóvil y el metasistema social y ambiental que éste integra. Una reflexión sobre todo esto nos pone en evidencia que para comprender totalmente un sistema de transporte hay que tener en cuenta, además de los aspectos técnicos, el sistema urbano, el económico, el científico-tecnológico, el



ecosistema ambiental, etc.

Uno de los aspectos relevantes del enfoque sistémico es la capacidad que aporta como ordenador y generador de preguntas en relación al sistema en estudio, con un esquema de abordaje que es generalizable a otros sistemas y a distintas jerarquías de sistemas. Así, por ejemplo, si deseáramos comprender las tendencias y alternativas que hoy están en juego en materia de combustibles para medios de transporte, podríamos plantear diagramas en bloque con detalles de los procesos energéticos en un motor, y veríamos que con pocos datos y pocos detalles técnicos, podríamos comprender por qué la inyección electrónica de combustible o el reemplazo de la nafta por hidrógeno son alternativas explorables desde la óptica de la problemática actual.

## REFERENCIAS

1. HEREDIA, R. *Dirección integrada de proyecto*. Madrid, Alianza Editorial, 1985, p. 24- 25.
2. DESCARTES, R. *Discurso del método*. Madrid, Alianza Editorial, 1980, p. 83.
3. ROSNAY, J. de. *El microscopio*. Madrid, Ediciones AC. 1978, p. 72.
4. HEREDIA, R. *Op. Cit.*
5. ROSNAY, J. de. *Op. Cit.*, p. 98.
6. *Ibid*, p. 99.
7. *Ibid*. p. 89.