

## ENTRADAS Y SALIDAS

Por Ing. Leonel Morales Díaz, leonel@ingenieriasimple.com

### RESUMEN

La Teoría General de Sistemas es sin lugar a dudas uno de los logros más importantes en términos de replanteamiento de las relaciones entre las disciplinas científicas y de análisis de las estructuras superiores de organización. Sin embargo, algunos de sus conceptos pueden ser revisados a la luz del trabajo de ingeniería que se ha desarrollado sobre ellos. En particular, el concepto de sistemas, tal y como se enuncia actualmente, presenta inconvenientes que pueden hacer necesaria su redefinición. Otros conceptos relacionados salen beneficiados en el proceso.

### DESCRIPTORES

Teoría General de Sistemas. Sistema. Computadora. Simulación. Principio de Incertidumbre.

### ABSTRACT

The General Systems Theory is one of the most important achievements regarding the integration and reinforcement of relationships among the different knowledge disciplines and for the analysis of high order organization structures. However, some of its concepts can be reviewed under the engineering framework that has evolved around them. Particularly, the definition of a system, in the way it is articulated today, presents inconveniences that could call for its revision and redefinition. Other related concepts would benefit as well in the process.

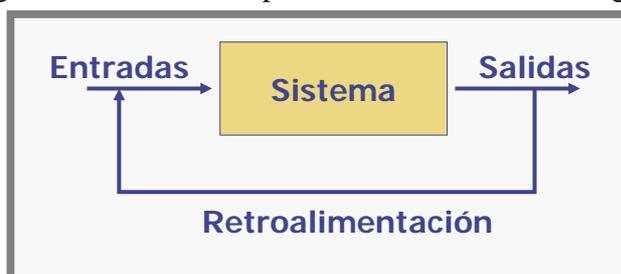
### KEYWORDS

General Systems Theory. System. Computer. Simulation. Uncertainty Principle.

## ENTRADAS Y SALIDAS

### INTRODUCCIÓN

La definición de sistema: “conjunto de elementos que interactúan para lograr un fin”<sup>1</sup> es quizás uno de los conceptos más generalmente aceptados de la ciencia moderna. Proviene de la Teoría General de Sistemas – TGS – de Ludwig Von Bertalanffy, quien originalmente lo enunció como “entidades complejas de elementos en interacción”<sup>2</sup>, el componente de finalidad proviene de las teorías teleológicas desarrolladas a partir de la TGS. Sin embargo, no puede decirse que toda la teoría de sistemas sea un trabajo original de Bertalanffy. Aristóteles hacía ya una distinción entre el *holon* (el todo, lo holístico) y en oposición al *pan* (la multiplicidad, la composición) y estableció el principio – de mucha utilidad para la TGS – de que el todo se caracteriza no solo por la unión de sus partes sino por la interrelación entre ellas.



**Figura 1. Gráficamente se suele representar a los sistemas ilustrando sus entradas, salidas y lazo de retroalimentación.**

En 1782 J. H. Lambert escribió un ensayo utilizando el concepto de sistema y definiéndolo como “un todo compuesto de partes de acuerdo a un propósito”<sup>3</sup>, que coincide admirablemente con el concepto utilizado actualmente a pesar de haber sido enunciado casi 200 años antes.

En el desarrollo de su trabajo Bertalanffy notó que los sistemas exhiben comportamientos y habilidades muy superiores y de diferente naturaleza que los de sus componentes considerados individualmente, por lo que concluyó que los sistemas como tales no son simplemente la suma de sus partes.

Lo mismo que su definición de sistema, la clasificación general que hizo de ellos ha permanecido a lo largo de los tiempos prácticamente sin cuestionamientos, por lo que se sigue enseñando en las universidades y escuelas de ingeniería, especialmente de ingeniería de sistemas y ciencias de la computación, en una versión más bien ligera.

Sin embargo, desde que se conoce el principio de incertidumbre de Heiderberg, que expresa que en la física cuántica, localizar una partícula en una región pequeña implica que su momento se hace incierto y análogamente, determinar su momento implica que su

<sup>1</sup> Esta es una definición recurrente en la literature, especialmente la de sistemas de información, confróntese por ejemplo: Stair, R., y Reynolds, G.: Principles of Information Systems. Sixth Edition. 2003.

<sup>2</sup> Tomada de Von Bertalanffy, L.: Teoría General de Sistemas, 1976. Sin embargo las primeras publicaciones de Bertalanffy en relación a la TGS datan de 1926.

<sup>3</sup> Ropohl, G.: Philosophy of Socio-Technical Systems, Phil & Tech 4:3 Spring 1999.

localización se hace incierta <sup>4</sup>, algunos autores han conjeturado que este principio se mantiene no solo en la física cuántica sino en toda ciencia experimental<sup>5</sup>, por lo que no es posible estudiar ningún objeto de la naturaleza sin influenciarlo en el proceso (conocido también como “el efecto observador”) y sobre esa base es posible cuestionar seriamente la distinción de Bertalanffy entre sistemas abiertos y sistemas cerrados.

Un sistema abierto es aquel que interactúa con su entorno mientras que uno cerrado no lo hace. De ello podría deducirse que no es posible conocer los sistemas cerrados ya que obtener información de ellos implicaría un intercambio de información y la realización de experimentos, con lo que el sistema dejaría de ser cerrado, estrictamente hablando.

Si se amplía el sistema cerrado para incluir al científico que lo estudia, para mantener el requisito de no interacción con el entorno, entonces el estudioso no podría salir del sistema y al salir, aunque sea para dar a conocer sus resultados, nuevamente cambiaría la naturaleza del sistema convirtiéndolo en abierto. Nuevas ampliaciones de las fronteras del sistema para incluir al grupo investigador, a la comunidad científica, a toda la comunidad académica, a la comunidad humana, etc., podrían continuar obteniendo siempre los mismos resultados: la necesidad de interacción con el entorno obligaría a ampliar más el sistema.

En último caso el único sistema cerrado posible sería el universo entero y aún a ese nivel podría generarse controversia sobre si en realidad está cerrado.

La segunda ley de la termodinámica indiscutiblemente influenció la concepción de los sistemas cerrados en la TGS, pero en ese momento no se conocían ampliamente los resultados de la física cuántica, particularmente el enmarañamiento cuántico.

## PROBLEMAS DE CONCEPTO

Más que problemas teóricos, la definición y conceptualización en uso de los sistemas tiene implicaciones prácticas o mejor, falta de implicaciones prácticas. El concepto de sistemas no tiene aplicación práctica tal y como se expresa actualmente. Ningún ingeniero que construya sistemas (industriales, mecánicos, informáticos o de cualquier tipo) se siente motivado a utilizarlo en las etapas definitorias o de diseño de su creación.

En mi opinión esto se debe a dos características del concepto que tienen efectos inconvenientes:

1. Ataca la unidad del sistema: a pesar de que casi ningún sistema puede considerarse simple en su composición, las interrelaciones entre sus componentes y su comportamiento y funcionalidad lo hacen identificable y distinguible de su entorno,

---

<sup>4</sup> Cfr. The Uncertainty Principle, Stanford Encyclopedia of Philosophy, <http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/>, consultada el 2 de abril de 2008.

<sup>5</sup> Cfr. por ejemplo la respuesta de Ted Pavlic a la pregunta “What is the significance of uncertainty principle in the real world?” en <http://www.physlink.com/Education/AskExperts/ae689.cfm>, consultado el 2 de abril de 2008.

incluso aunque sus fronteras no puedan ser plenamente marcadas. Por ello, si al describir un sistema se debe atender a su composición antes que a su unidad – puesto que la definición de sistemas como está actualmente empieza precisamente por ahí, diciendo que un sistema “es un conjunto de elementos...” – entonces se desnaturaliza como sistema (unidad) y se presenta como yuxtaposición de componentes (conjunto).

2. Asume finalidad e intencionalidad: las razones de ser de un sistema (natural o artificial) no siempre resultan evidentes y mucho menos únicas o permanentes. Tratar de limitar los sistemas, sobre todo los más complejos, a un objetivo bien definido, no necesariamente es imposible, pero resulta en muchos casos, impráctico. Nuevas finalidades y objetivos aparecen constantemente en los sistemas, sustituyendo anteriores, en una dinámica que se deriva precisamente de la naturaleza de los sistemas. Es cierto que los sistemas más perfectos tienen finalidades bien identificadas, pero otros se constituyen evolutivamente y por tanto buscando y construyendo sus objetivos en un plazo temporal. En la definición en uso la ausencia de finalidad definida haría que el sistema perdiera su calidad como tal al no cumplir el “...para lograr un fin.”

El punto es que la existencia del sistema es anterior e independiente a su finalidad y a su composición, por lo que la inclusión de estos conceptos en la definición teórica la convierten en un concepto impráctico.

## EN BUSCA DE UNA DEFINICIÓN

Los escolásticos medievales tenían una fórmula bien definida para definir un concepto: género superior y diferencia específica, así el agua podría definirse como compuesto químico (género superior) con dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (diferencia específica) la leche podría ser compuesto nutritivo (genero superior) producido por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos (diferencia específica). El género superior establece la categoría general en la que entra el concepto y la diferencia específica indica cómo puede distinguirse de los demás de su clase.

Esta fórmula sigue funcionando bien, a pesar de que hoy en día también se acostumbra una forma más “descriptiva” de definir conceptos. El agua podría ser: líquido fundamental para la vida que cubre la mayor parte de la tierra y que se presenta mayormente en estado líquido, existiendo también en estado sólido y gaseoso, su fórmula química es H<sub>2</sub>O. La leche: primer alimento de las crías de los mamíferos que reciben de su madre a través de las glándulas mamarias. Este estilo es el que suelen seguir los diccionarios. Tiene el inconveniente de que no hay límite claro para su extensión, es decir, siempre se puede hacer más extenso e incluir aspectos muy relevantes mezclados con meras características accidentales. Por ejemplo, Internet: red mundial de computadoras interconectada mediante enlaces de alta y baja velocidad, que permite la transmisión, procesamiento, almacenamiento, acceso, intercambio, presentación, revisión, encadenamiento y actualización de información y datos accesibles públicamente desarrollada en la década... etc., etc.

El concepto de sistema, como se expresa actualmente, cae en el segundo caso ya que no puede decirse que “conjunto” sea un género superior ya que casi todo lo que existe puede de alguna forma y en algún sentido considerarse un conjunto (átomo: conjunto de partículas subatómicas..., persona: conjunto de cuerpo y alma que...) sin mencionar que decir “conjunto de elementos” resulta por lo menos redundante (¿Podría existir un conjunto de no-elementos?), muy probablemente Bertalanffy quiso reforzar la idea de que un sistema no puede ser un conjunto vacío, pero eso también resulta vano ya que no sirve dar una definición de forma negativa (diciendo lo que la cosa no es). Tampoco puede considerarse “que se organizan para conseguir una finalidad” como una diferencia específica, pues en realidad eso no distingue a los sistemas y como se dijo antes, al final no resulta una cualidad esencial de ellos.

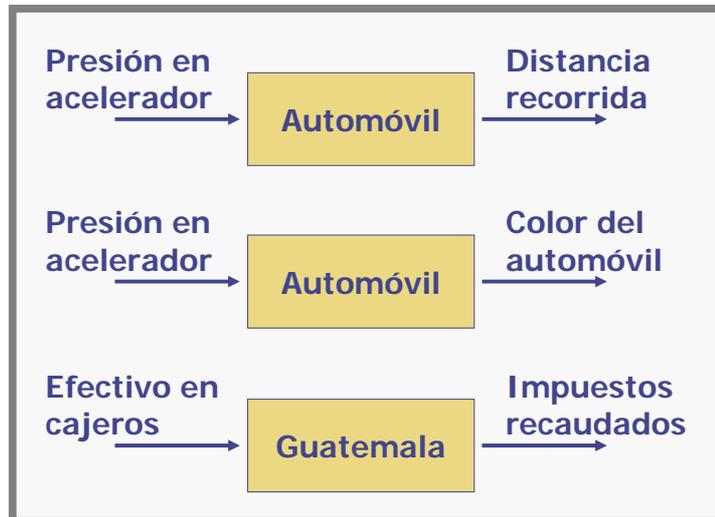
La dificultad con el concepto de sistema radica en que no es posible hacer una distinción de los sistemas versus los no-sistemas. ¿Puede alguien poner un ejemplo

de algo que no sea un sistema? Pero precisamente de esa dificultad puede derivarse la primera parte de una definición más exacta: un sistema es cualquier cosa. Los sistemas no son distinguibles del resto de cosas, la distinción solo puede hacerse en atención al enfoque o a la forma de considerar las cosas cuando se ven como sistemas.

Sin embargo sí hay un elemento esencial que confirma la naturaleza sistémica de algo: entradas y salidas. Sin entradas o sin salidas el sistema pierde sentido como tal, de hecho se desnaturaliza.

El ingeniero, cuando considera alguna cosa como sistema lo hace atendiendo a las entradas que necesita y a las salidas que produce, y las reconoce porque identifica y distingue la unidad del sistema (aunque sus fronteras sean difusas) y puede afirmar que tales entradas y salidas lo son de ese sistema particular. La finalidad y la composición vienen después.

Del proceder del ingeniero también se desprenden criterios que ayudan a identificar las entradas y salidas. Usualmente se privilegian las características del sistema que exhiben mayor dinamismo en el contexto del problema a resolver o de la técnica aplicada. La masa de un sistema solo podría considerarse como entrada o salida si varía sensiblemente en un periodo de tiempo razonable. El color, peso, tamaño, y otras características físicas, o bien el capital contable, el activo circulante, la tasa de interés, y otras variables financieras, el número de líneas de código, los megabytes de una base de datos, etc., son todas particularidades de cosas que pueden funcionar como entradas o salidas siempre que cambien sus magnitudes significativamente en el contexto del sistema estudiado. Si no



**Figura 2. Ejemplos de "cosas" que pueden ser consideradas "sistemas". Nótese que basta con seleccionar entradas y salidas para iniciar el análisis en el enfoque sistémico.**

cambian o si su cambio no es significativo o relevante pierden utilidad práctica como entradas o salidas.

Determinar si una característica dinámica es una entrada o una salida puede resultar un poco más impredecible. En general, si el ingeniero tiene cierto control sobre la variable entonces es probable que la tome como una entrada, mientras que si el control lo ejerce indirectamente e incluso de una manera no determinística mediante la manipulación de las entradas, entonces se trata de una salida. Esta elección expresa la expectativa que se tiene de que sea posible controlar las salidas mediante las entradas.

Si el sistema es una empresa, o si se considera una empresa como sistema <sup>6</sup>, y se toman las utilidades anuales como salida, podría considerarse el capital contable como entrada, si el contexto del problema se adecua a esta visión, por ejemplo en una empresa familiar pequeña donde la inversión es una variable controlada pero se espera que nuevas aportaciones redunden en mayores ganancias.

En otro contexto, por ejemplo al estudiar el comportamiento de las sociedades anónimas que hacen nuevas emisiones de acciones al portador, el capital puede ser la salida y las utilidades de años anteriores la entrada, a pesar de que el control que se puede tener ellas es mínimo, salvo que se trate de un simulador de negocios.

Lo importante es que la distinción entre entradas y salidas – y la elección de las variables que las representan – tiene cierto carácter arbitrario que requiere experiencia, criterio y una dosis de instinto en el ingeniero que analiza o diseña el sistema.

Hechas todas estas consideraciones puede plantearse una nueva definición de sistema como: cualquier cosa cuando se considera alguna de sus características dinámicas como entrada y otra como salida.

Esta definición no corresponde a la fórmula “género superior, diferencia específica” ya que no se puede decir que “cualquier cosa” sea un género superior ni que “cuando se considera alguna de sus características dinámicas como entrada y otra como salida” sea una diferencia específica. Como se dijo anteriormente, esta fórmula de definición es útil cuando se necesita primero ubicar la clase a la que el objeto pertenece y luego se da la guía para distinguirlo del resto de elementos de esa clase. Los sistemas no son una clase de cosas sino una forma de analizar cualquier cosa. Nuevamente encontramos que el concepto de cosa es anterior al concepto de sistema, es decir, antes de ser sistema es necesario que lo que se analiza sea una cosa.

En este punto uno podría verse tentado a modificar la definición reduciendo los sistemas a una metodología de análisis, que de hecho se ha conocido como “el enfoque sistémico”. Tal definición quedaría así: enfoque sistémico es la metodología que permite analizar cualquier cosa como sistema. Personalmente creo que se perdería el valor práctico del concepto de sistemas y su aplicabilidad en ingeniería si solo se buscara el método de sistemas.

---

<sup>6</sup> Como lo hace Balestri et al: La empresa como sistema y el empresario tradicional. Ciencia Veterinaria, 2003.

Por otra parte, alguien podría argumentar que el concepto mismo de “cosa” en el que se está basando la descripción de los sistemas, no es una idea sólida ya que precisamente hablamos de una “cosa” cuando se desconoce aquello de lo que se habla. “Es una cosa” es una frase usada para indicar indeterminación, ignorancia de la naturaleza y posibilidad de refinamiento.

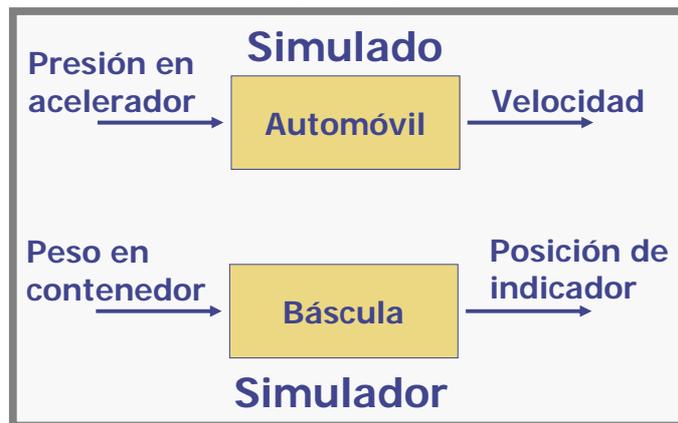
Pero precisamente estas características son las que hacen idóneo utilizar el término “cosa”. Al hablar usando esa palabra asumimos únicamente una condición para aquello de lo que estamos hablando: existe – en el mundo real, en el virtual o en el del pensamiento. De esa forma, alternativamente se podría decir que un sistema es cualquier objeto existente cuando se considera alguna de sus características dinámicas como entrada y otra como salida.

El concepto de sistemas así expresado es aplicable sin importar la complejidad o simplicidad del objeto de análisis<sup>7</sup>. Por ejemplo, un avión moderno – como el Boeing 747 – puede estudiarse como un sistema muy complejo, con innumerables componentes heterogéneos entre los que se incluye seres humanos – piloto, copiloto, sobrecargos, azafatas, etc. – para ello basta con considerar alguna de sus características dinámicas – por ejemplo su velocidad – como salida y otra como entrada – su altitud. Un sistema más sencillo se analiza de forma similar: una moneda lanzada al aire puede considerarse un sistema cuya salida es la posición final y entrada la velocidad inicial a la que se lanza.

De la misma forma pueden buscarse similitudes o analogías entre sistemas que sirvan para estudiarlos de mejor manera. No importa que las “cosas” estudiadas sean de muy diferente naturaleza – un avión y una moneda – si se están estudiando con entradas y salidas similares los resultados en uno pueden servir para analizar el otro. Se volverá a esta idea más adelante.

## CONCEPTOS Y TÉCNICAS DERIVADOS

Una vez se tiene a disposición una definición cómoda de sistemas, se puede estudiar su aplicabilidad en otros campos de la ingeniería, y ver qué otros conceptos se relacionan con él o se derivan del mismo.



**Figura 3. Ejemplo de un sistema simulado y su simulador. Con una báscula, siempre que las entradas y salidas sean similares, se puede simular un automóvil.**

<sup>7</sup> Un ejemplo de cómo usarlo para analizar escuelas: Aloyzy Zera, D.: What is a System and a System Perspective. Educational Horizons. Fall 2002.

Personalmente considero que un concepto que necesita una definición más exacta y menos dependiente de la tecnología del momento es el de computadora (o computador), ya que a medida que la instrucción en informática se ha ido incorporando en las escuelas secundarias y primarias, ha sido necesario desarrollar textos introductorios que deben en sus primeras páginas presentarlo al estudiante.

Es penoso ver que para definir un computador se recurre a descripciones que tienen por lo menos el defecto de tener una validez efímera por depender de componentes que pierden vigencia: se habla de discos *floppy*, pantallas CRT, impresoras, CDRÓM, etc., sin tomar en cuenta que todo eso es tecnología que se ha vuelto o se volverá obsoleta en el corto o mediano plazo. Procediendo así se corre el riesgo de que antes de que el alumno termine su educación primaria lo que se le enseñó y reforzó ya haya perdido relevancia.

Lo esencial de la computadora reside en su habilidad de parecerse a otros sistemas, de permitir construir cualquier sistema sobre ella, de simular las entradas y salidas de otros. Con esa idea presente puede reformularse el concepto así: primero un concepto auxiliar – el de simulación – y luego sobre él, el de computadora.

Simulación: Un sistema – el simulador – cuyas entradas y salidas son similares a las de otro – el simulado.

Computadora: Sistema capaz de simular múltiples sistemas. Sistema de propósito general.

Algo interesante de esta definición es que ni siquiera es necesario hacer definiciones distintas para computadoras análogas y digitales, ya que esa distinción solo proviene del tipo de variables que cada una es capaz de manejar, no de su función esencial.



**Figura 4. El mismo ejemplo de la Figura 3, pero utilizando una computadora como simulador. Esto es posible gracias a que la computadora es un sistema de propósito general que puede simular múltiples sistemas.**

Por último, una de las técnicas de análisis de sistemas, de uso más común en ingeniería es la construcción de Diagramas de Flujo de Datos, que precisamente se basan en la descripción gráfica de las entradas y salidas como flujos de información.

## CONCLUSIÓN

A pesar de que las contribuciones de la TGS a la armonización de las ciencias y su influjo en el desarrollo científico observado en la segunda mitad del siglo XX son incuestionables, es necesario revisar algunos de sus conceptos y generar en el proceso nuevas visiones que contribuyan a desarrollar el trabajo de ingeniería de una mejor manera, especialmente en los campos de informática y sistemas.

## REFERENCIAS

1. **ALOYZY ZERA, D.**(2002). What is a System and a System Perspective. Educational Horizons. Fall 2002.
2. **BALESTRI ET AL.** (2003). La empresa como sistema y el empresario tradicional. Ciencia Veterinaria.
3. **DRACK, M. Y APFALTER, W.** (2006). Is Paul Weiss' and Ludwig von Bertalanffy's System Thinking still valid today? Proceedings of the 50th Annual Meeting of the International Society for the Systems.
4. **JUTORAN, S.** (2005). The Process From Observed Systems To Observing Systems. Nova University, School of Humanities and Social Sciences.
5. **POUVREAU, D.** (2006). Ludwig von Bertalanffy's complete works. Listado presentado como parte de su tesis doctoral.
6. **ROPOHL, G.** (1999). Philosophy of Socio-Technical Systems, Phil & Tech 4:3 Spring.
7. **STAIR, R., Y REYNOLDS, G.** (2003). Principles of Information Systems. Sixth Edition.
8. **STANFORD ENCYCLOPEDIA OF PHYLOSOPHY.** The Uncertainty Principle. <http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/>, consultada el 2 de abril de 2008.
9. **VON BERTALANFFY, L.** (1976). Teoría General de Sistemas.

### MORALES DÍAZ, LEONEL VINICIO



Ingeniero de Sistemas e Ingeniero Electrónico, graduado de la Universidad Francisco Marroquín. Con estudios de maestría en Sistemas de Información y Bases de Datos por la Universidad Galileo. Docente universitario, ha sido Director de la Carrera de

Informática y Sistemas de la Universidad Rafael Landívar. Actualmente se desempeña como consultor independiente en desarrollo de sistemas e interacción humano-computador.