

CAPÍTULO I

Sistemas, Modelos y Simulación

Sistemas

El concepto de sistema es bastante amplio, evidente por el uso cada vez creciente de este enfoque en las últimas décadas, en casi todos los campos del saber humano. Esta situación “ha facilitado que se hable de la *Ubicuidad de los Sistemas*, lo que significa que los sistemas están presentes en todas partes” (Méndez, 2016: 32).

El ser humano vive y trabaja dentro de los sistemas sociales, así que cuando realiza labores creativas específicas está en contacto directo con sistemas, esto es, por ejemplo:

- *La Investigación Científica: tiene el propósito de explorar y exponer la estructura de los Sistemas Naturales.*
- *La Investigación Aplicada o Generación de Tecnología: se propone la producción de Sistemas Físicos complejos.*

A pesar de lo anterior, los principios que rigen el comportamiento de los sistemas no están ampliamente entendidos y mucho menos aplicados por quienes los dirigen o los administran. Según el uso que se da en este libro a la palabra sistema se entiende como *una agrupación de partes que funcionan juntas para lograr un objetivo común*. Ejemplos diversos de sistemas serían:

- *Un automóvil es un sistema de componentes que trabajan juntos para proporcionar transporte.*
- *El avión y su piloto constituyen un sistema para volar a una altura determinada.*
- *Un almacén y su plataforma de carga forman un sistema destinado a cargar camiones con mercancías. Un sistema puede incluir personas y componentes físicos. Tanto el almacenista como los despachadores y los operadores de equipo forman parte del Sistema de Almacén.*
- *La administración o gerencia de cualquier organización son sistemas compuestos por seres humanos, con el propósito de asignar recursos a los negocios y controlar las actividades de los mismos (Torcat, 2011: 7).*

- *La familia es un sistema cuyos objetivos principales son los de proporcionar medios de vida a sus componentes, amor a sus miembros y, además de la procreación, darles protección y orientación a los hijos.*
- *La escuela es un sistema orientado a proporcionar conocimientos a sus estudiantes y a formar ciudadanos(as) adaptables a la sociedad en cualquier contexto.*

De los ejemplos anteriores, tan comunes para cualquier ser humano, surge una pregunta muy simple: ¿Si los sistemas son tan frecuentes para la vida de las personas y se encuentran presentes en todas partes (ubicuidad), por qué los conceptos y principios de sistemas no aparecen más claros y con mayor profusión en la literatura y en la educación básica?

Hay tres respuestas fundamentales a esta pregunta, que al unir las constituyen la solución correcta; estas son:

- No ha sido necesario entender la naturaleza básica de los sistemas.
- Pareciera que los sistemas adolecen de una teoría y un significado generales.
- Los principios de sistemas, como suelen ser mostrados, son tan complejos que se prefiere evadir su estudio.

Los sistemas naturales han existido desde el comienzo de los tiempos, y los físicos y sociales, creados por los humanos, han venido apareciendo paulatinamente con el desarrollo de la civilización. En la sociedad primitiva los sistemas existentes fueron aquellos proporcionados por la naturaleza y sus características fueron aceptadas por el hombre como un don divino, las cuales estaban fuera de su alcance, su comprensión y su control.

En este ambiente, las personas se limitaron a ajustar su existencia a los sistemas naturales que las rodeaban, así como a los sistemas sociales tribales y de familia que se fueron creando gradualmente por la evolución de la especie, más que por un diseño y planificación apropiados. El ser

humano se adaptó a esos sistemas sin haber sentido la necesidad forzosa de lograr su entendimiento.

En la medida en que emergen las sociedades industriales y de consumo, los sistemas socioeconómicos empiezan a dominar la vida, manifestándose por sí mismos en ciclos económicos, en disturbios políticos, en pánicos financieros recurrentes, en fluctuaciones de la demanda y oferta de empleos, y en la inquietante inestabilidad de los precios de los artículos de consumo masivo.

Estos sistemas socioeconómicos, repentinamente, se convirtieron en sistemas demasiados complejos y de comportamiento muy confuso, de tal forma que no parecía posible poder hallar una teoría general para su representación y análisis. Es así como se llega al análisis de una estructura ordenadora para las relaciones de *causa y efecto*, con el propósito de lograr una teoría que explique el comportamiento de los sistemas, surgiendo la alternativa para creer a veces en la *aleatoriedad* y otras en las *causas racionales*.

Progresivamente, durante los últimos cien años, se ha esclarecido que la barrera para entender los sistemas ha sido, no la ausencia de conceptos generales importantes, sino la dificultad de identificar y expresar en un cuerpo homogéneo dicho modelo, el cual, al estar constituido por los Principios Universales, pueda explicar el éxito o las fallas de los sistemas de los cuales aún nosotros mismos formamos parte.

La economía ha identificado muchas de las relaciones físicas que se dan dentro de nuestros sistemas industriales y sociales; la psicología y la religión han descrito algunas de las interrelaciones dentro de los sistemas compuestos por seres humanos; la medicina ha tratado los sistemas biológicos; las ciencias políticas han explorado los sistemas de gobierno y los sistemas internacionales, pero muchos de estos análisis han sido meramente verbales, casi siempre cualitativos, y fundamentalmente estáticos.

Una descripción no es suficiente para exponer la verdadera naturaleza de los sistemas. Las matemáticas, que han sido usadas para estructurar

el conocimiento de las ciencias, no han sido adecuadas para manejar las relaciones esenciales de nuestros importantes sistemas sociales; hemos sido ahogados por fragmentos del conocimiento, pero no hemos podido hallar el camino que nos conduzca a suministrar una estructura ordenada y lógica de estos conocimientos.

Cuando se está interesado en interpretar nuestras observaciones de cualquier campo del saber humano se requiere de una estructura a la cual se le da comúnmente el nombre de Teoría; sin ella la información no es otra cosa que partes inconexas y sin sentido, reduciéndose solo a una colección de observaciones prácticas, accidentales, conceptuales o conflictivas.

Esta situación -por demás caótica- describe gran parte de nuestros conocimientos relacionados con los Sistemas Económicos y su Administración. En este campo, generalmente se tienen impresiones aisladas, muchas veces contradictorias, las cuales no han sido orientadas para ser ensambladas de forma que hagan parte de una estructura unificada.

Es un hecho cada vez más comprobado que, sin una estructura que relacione hechos y observaciones, es muy difícil aprender de las experiencias, o lo que es lo mismo, es muy difícil usar el pasado en la educación del futuro. Las leyes físicas forman una estructura para interrelacionar nuestras numerosas observaciones sobre los fenómenos de la naturaleza. Esta estructura del conocimiento teórico de la Física constituye el fundamento para lograr la construcción de la tecnología actual.

No pasa lo mismo con los sistemas administrativos para los cuales no existe hasta ahora una estructura básica de principios, en estos últimos tiempos, cuando se han hecho intentos por crear una que tenga aceptación universal. Tanto los administradores como los estudiosos de esta área han hecho largas y profundas búsquedas de la estructura que unifique las diversas manifestaciones de la psicología industrial y de los procesos económicos.

Los programas académicos de los estudios de Administración han sido siempre criticados por su elevado carácter descriptivo y por adolecer de una estructura unificadora. Esta famosa estructura se ha intentado sacar prestada de otras disciplinas, pero la naturaleza propia de ella se ha eludido todo el tiempo.

En cuanto a la parte teórica y definitorio de los sistemas y sus componentes, es importante mencionar algunos trabajos pioneros de comienzos del siglo, dentro de los cuales se destaca el libro de L.V. Bertalanffy, titulado *General System Theory*, publicado hace ya unas cuantas décadas. Esta obra se enfoca en definir, describir y plantear en forma general y filosófica lo que es un sistema, sus componentes y sus relaciones internas y externas, de una manera descriptiva más que todo definitoria, sin llegar a plantear una metodología o herramienta práctica de análisis del comportamiento de los sistemas y su entorno. En todo caso, esta obra ha servido de base firme, conceptual y filosófica para los posteriores desarrollos de las estructuras teóricas de sistemas.

Modelos

La información que se tiene acerca de las características de los componentes de un sistema, su estructura y su comportamiento con respecto al medio que lo rodea, permiten crear una representación mental del mismo por medio de la cual se ordena su estructura teórica, que no es otra cosa que un Modelo del sistema en cuestión.

El conjunto de todos los *Modelos mentales* construidos y almacenados en el cerebro de cada ser humano constituye el concepto que cada persona tiene del mundo exterior, el cual le permite actuar bajo ciertos patrones predefinidos por sus experiencias anteriores (personalidad).

Cuando el ser humano tiene contacto con un sistema desconocido recibe la información de sus componentes, la estructura y el comporta-

miento del mismo; esta información le permite construir el modelo mental del sistema.

En el momento en el cual la persona interactúa con el sistema, bien sea operándolo u observando su funcionamiento, se crean experiencias que no son otra cosa que la actuación dinámica del modelo creado en la mente; estas experiencias permiten a la mente crear situaciones hipotéticas del funcionamiento del sistema, en cualquier momento o situación, lo que no es otra cosa que la *Simulación* del comportamiento del sistema en la mente del ser humano.

Cuando un individuo se plantea la necesidad de comunicar a otros las características de sus modelos mentales surge la necesidad de la representación física o abstracta de tales modelos; en conclusión, se puede deducir que un modelo es un sustituto de un objeto o de un sistema (modelo es la representación simplificada de un objeto o sistema).

Los modelos pueden ser de diversas formas y servir a muchos propósitos; los más conocidos son los *modelos físicos* que representan objetos, tales como los modelos arquitectónicos, los cuales ayudan a visualizar el uso del espacio físico y su distribución.

Aquellos modelos de características aún más abstractas son los que comprenden un grupo de reglas o relaciones que rigen el comportamiento de los componentes del sistema o de sus relaciones con el medio ambiente, y estos son los llamados *modelos abstractos* que pueden ser matemáticos, comprender descripciones literarias, colecciones de las reglas de juego o quizás códigos legales aplicados a situaciones específicas, o una mezcla de algunos de estos conceptos.

Dentro de las escuelas administrativas existen básicamente tres enfoques: el Clásico, el de Comportamiento y el de Modelamiento. Esta última corriente utiliza la teoría de decisiones, la teoría de sistemas y la construcción de modelos matemáticos de sistemas y procesos; Trata de explicar las organizaciones desde el punto de vista sistémico total. Según este enfoque, la identificación de relaciones entre los subsistemas, la pre-

dicción de efectos por cambios en el sistema y la implementación adecuada del cambio en el sistema forman parte de la administración de toda la organización (Everett E. Adam y Ronald J. Ebert, 1991:16).

Sistema significa ver la totalidad en vez de las partes sin conexión; ver las relaciones como un todo; desafortunadamente muchos análisis actuales sobre situaciones-problemas muestran una gran incompetencia para ver totalidades.

En este sentido Senge (1992: 91) señala:

El pensamiento sistemático es una disciplina para ver totalidades. Es un marco para ver interrelaciones en vez de cosas, para ver patrones de cambios en vez de “instantáneas” estáticas. Es un conjunto de principios generales destilados a lo largo del siglo veinte, y abarca campos tan diversos como las ciencias, física y sociales, la ingeniería y la administración de empresas. También es un conjunto de herramientas y técnicas especiales que se originan en dos ramificaciones: el concepto de “retroalimentación” de la cibernética y la teoría de los “servo mecanismos”, procedente de la ingeniería, que se remonta al siglo diecinueve.

Por otro lado, Ackoff (2004: 36) señala que un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados. Por tanto, un sistema es una entidad que se compone de al menos dos elementos y una relación que es válida entre cada uno de los elementos, y al menos otros de los elementos del conjunto. Y señala que existen 4 tipos básicos de sistemas y modelos: Deterministas, Animados, Sociales y Ecológicos.

Modelo de Simulación de Eventos Discretos

La simulación de eventos discretos es una herramienta de análisis que se difunde rápidamente en el ambiente empresarial, comprobando su utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planeación de la producción y los inventarios, y con el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro (Guasch, 2003:7).

El concepto de sistema de evento discreto tiene como finalidad identificar sistemas en los que los eventos que cambian su propio estado ocurren en instantes espaciados en el tiempo, a diferencia de los sistemas cuyo estado puede cambiar continuamente en el tiempo (como la posición de un auto en movimiento). Aunque aparentemente simples, los sistemas de eventos discretos pueden modelar muchos de los fenómenos que enfrentan los responsables de la administración de los procesos productivos en una empresa. Por ejemplo, los inventarios de cualquier producto solo se alteran ante la ocurrencia de alguno de dos eventos: (1) ingreso de un lote de abastecimiento, o (2) retiro de cierta cantidad del producto para satisfacer el pedido de un cliente, de la misma manera como el dinero disponible en cualquier cuenta bancaria solo puede cambiar a consecuencia de un depósito o a consecuencia de un retiro (Rico, 1992: 24).

Los primeros intentos para simular sistemas de eventos discretos datan de la década de 1960s, cuando se desarrollan las primeras simulaciones en computadora para planear proyectos de gran envergadura, aunque a un costo alto y utilizando lenguajes de propósito general (a menudo FORTRAN). Las primeras herramientas para facilitar el uso de la simulación de eventos discretos aparecen en la forma de lenguajes de simulación en la década de 1970, aunque la programación en estos lenguajes se realiza todavía por medio de comandos escritos en un archivo.

Lenguajes como GPSS, SIMSCRIPT, SLAM y SIMAN tienen una amplia difusión en los años ochenta, paralela a una gran producción científica relacionada con las posibles aplicaciones de la simulación de eventos discretos y el desarrollo de métodos para el análisis de experimentos por simulación, con el fin de generar por computadora la ocurrencia de eventos siguiendo patrones probabilísticos y permitir que el motor del lenguaje pueda modelar una gama amplia de aplicaciones.

En la década de 1990 la difusión de las computadoras personales y la aparición de paquetes de simulación que se programan en ambientes gráficos, y con capacidades de animación, permiten que la simulación se

difunda ampliamente como herramienta para el diseño y análisis en diversos sectores, tanto de la industria de manufacturas como de la de servicios (por ejemplo Educación, Telecomunicaciones, Salud, Transporte y Cadenas de Suministro).

Actualmente, se pueden distinguir en el mercado dos tipos de paquetes para simulación de eventos discretos: los de propósito general y los orientados hacia alguna aplicación o sector industrial específico. Entre los paquetes más conocidos de propósito general se pueden mencionar Arena, Simul8, GPSS/H, AweSim, y MODSIM III; mientras que entre los paquetes con orientación hacia alguna aplicación están AutoMod, ProModel, SIMFACTORY II.5, QUEST y Arena Packaging Edition para manufactura, COMNET III y OPNET Modeler para redes de comunicaciones, SIMPROCESS, ProcessModel, ServiceModel y Arena Business Edition para analizar flujos en procesos de negocios y MedModel para servicios del cuidado de la salud.

Los paquetes mencionados permiten programar en un ambiente gráfico por medio de módulos y pueden incorporar animación a sus modelos, lo que además de facilitar la programación del modelo de simulación, constituye una herramienta valiosa para la verificación y demostración de las capacidades del modelo.

Aplicaciones en manufactura

La manufactura ha sido tradicionalmente una de las áreas de aplicación más importantes para la simulación de eventos discretos; tanto que la mayoría de paquetes de simulación de propósito general incluyen módulos para modelar fácilmente recursos y características de los sistemas de manufactura; por ejemplo, los módulos que se utilizan para modelar el desempeño de recursos de mano de obra y equipo a menudo tienen capacidad para modelar indisponibilidad de los recursos, así como fa-

llas y bloqueos que pudieran ocurrir durante el proceso de manufactura (Guasch, 2003: 43).

Con frecuencia los paquetes de simulación disponen también de módulos para modelar el comportamiento de equipo en el manejo y traslado de materiales, como vehículos automáticos, bandas transportadoras, carros, montacargas u otros mecanismos para el transporte de materiales. Cabe mencionar que el modelado de ciertos transportadores (como las bandas transportadoras) utilizando algún lenguaje de propósito general no es trivial. La capacidad de los paquetes de simulación de eventos discretos para modelar mecanismos de transportación se ha utilizado exitosamente para modelar también la congestión en sistemas de transporte vial.

Las principales aplicaciones de la simulación de eventos discretos en manufactura se relacionan tanto con el diseño y disposición de las instalaciones como con la planeación y el control de las actividades productivas. Las aplicaciones relacionadas con el diseño y disposición de las instalaciones incluyen la evaluación de decisiones sobre el número, tipo y disposición de máquinas y equipo, la localización y tamaño de los diferentes espacios para el material en proceso, y los requerimientos de transportadores y equipo de apoyo, entre otros. En cuanto a las aplicaciones relacionadas con la planeación y el control de la producción, se puede mencionar la comparación de diferentes políticas para la programación y secuenciación de las órdenes de producción, para la administración de inventarios, para la asignación de recursos o también para evaluar el efecto de diferentes políticas de mantenimiento y renovación de equipos.

Aplicaciones en transporte y cadenas de suministro

Debido a que los simuladores de eventos discretos tienen capacidad para modelar el comportamiento de sistemas para el transporte de personas y artículos, sus aplicaciones para el diseño tanto de sistemas de transporte

(en particular de aeropuertos) como para el diseño y evaluación de cadenas de suministro empiezan a difundirse ampliamente. Una demostración de esto es (Trkman, 2007: 116), trabajo en el que se desarrollaron modelos de proceso de empresas asociadas a cadenas de suministro, para medir los beneficios de la creación y la renovación.

A menudo el modelado de una cadena de suministro permite evaluar la velocidad de respuesta de la cadena que, como se mencionó en la introducción, es uno de los factores determinantes para una adecuada atención al cliente. Un área donde las aplicaciones de la simulación son de particular relevancia es la de Administración de Inventarios, en particular la determinación de inventarios de seguridad, tamaños de pedidos y puntos de reorden en los diferentes pasos de la cadena de suministro, teniendo en cuenta que a menudo estas decisiones son muy importantes, ya que influyen directamente en los costos del sistema y en el nivel de servicio al cliente; y por otro lado, el análisis de estas decisiones tiene un alto grado de incertidumbre, que requiere del apoyo de herramientas que -como la simulación de eventos discretos- permitan modelar la incertidumbre (Vieira, 2004: 1420).

La simulación es también una herramienta muy útil para analizar sistemas de transporte o distribución, como es el caso del trabajo de Nonino F. (2007: 57) con una propuesta de integración de la producción-sistemas de distribución. Otra aplicación importante, como se mencionó antes, se da en el apoyo del proceso de planeación en aeropuertos, debido a diversos factores, entre los cuales pueden mencionarse que el tráfico en los aeropuertos está sujeto a cambios imprevistos y que los mecanismos que gobiernan el flujo de equipaje y personas a menudo pueden descomponerse en subprocesos bien definidos; por otro lado, los cambios propuestos en el diseño de un aeropuerto no se pueden experimentar antes de ser implementados, por lo que la simulación se convierte en una herramienta ideal para su análisis.

Modelo de Simulación de Procesos Continuos

El *análisis de sistemas* ayuda a acceder a soluciones complejas ubicando los puntos de apalancamiento más convenientes. Para ello, es necesario ver el total en vez de las partes, como ya se dijo. En lugar de ver los elementos de una organización en forma aislada, conviene verlos como elementos parciales de la realidad industrial. Es obvio que esta realidad industrial es mucho más compleja que alguna individualidad en particular. Sin embargo, es útil conocer que hay dos tipos de complejidades: una relativa a los detalles y otra relativa a la dinámica. Esta última está presente en situaciones donde la *causa y el efecto son sutiles*, y donde el efecto de la intervención a través del tiempo no es obvio, por ejemplo, las técnicas de pronósticos, planificación o algún método analítico convencional que no está equipado para afrontar la complejidad dinámica. Un conjunto complejo de industrias para ensamblar un equipo o el inventario de una fábrica supone complejidad dinámica, pero ninguna de estas situaciones es específicamente compleja en términos dinámicos.

Cuando la misma acción tiene efectos distintos a corto y a largo plazo hay complejidad dinámica. Cuando la misma acción tiene unas consecuencias en un punto y otras en otra parte del sistema hay complejidad dinámica. Los modelos gerenciales adoptados para guiar a la dirección sobre decisiones oportunas y eficaces que tienen efectos en el corto, mediano y largo plazo tienen complejidad dinámica.

La ubicación de los puntos de apalancamiento más consistentes en muchas situaciones industriales obliga a comprender la complejidad dinámica, no la complejidad de los detalles. El problema es el equilibrio entre un modelo gerencial, el clima organizacional y la calidad de los productos; este equilibrio tiene características dinámicas. Mejorar continuamente la calidad, reducir costos y lograr la satisfacción de las necesidades y los deseos del cliente es un problema dinámico.

El concepto de *Dinámica de Sistemas* se orienta a ver la organización como un todo y las interacciones de las partes relacionadas (Aracil, 1997: 18) y el Pensamiento Sistémico es una disciplina para ver las estructuras que subyacen en las situaciones complejas y para discernir cambios de alto y bajo apalancamiento. Para ubicar puntos de alto apalancamiento hay que comprender la complejidad dinámica que normalmente está presente cuando la misma acción tiene efectos distintos tanto a corto como a largo plazo, o cuando una acción tiene un conjunto de consecuencias locales y otro conjunto de consecuencias distintas en otra parte del sistema (Senge, 1992: 17).

Una de las herramientas básicas en el análisis de sistemas es el *concepto de retroalimentación* (Control en Teoría Cibernética), la cual procura el funcionamiento del sistema en consideración al medio.

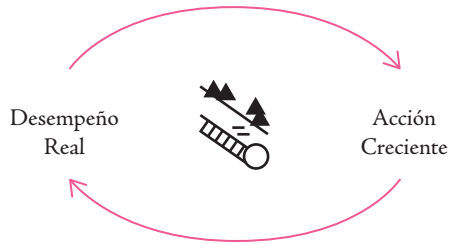
Un modelo es cualquier representación simplificada de la realidad. La modelación informática no necesariamente significa producir estructuras impenetrables. No puede alimentarse un modelo con todo lo que se sabe. Solo debe introducirse lo que es relevante para el objetivo. El arte de los modelos de este tipo como el arte de la poesía, de la arquitectura o del diseño de la ingeniería es incluir solo lo necesario para lograr el objetivo y nada más; por lo tanto, para comprender un modelo y juzgar su validez se necesita comprender su objetivo.

Otra herramienta importante es *la Causalidad*: círculos de causa - efecto que reflejan el comportamiento del sistema representado en un modelo dinámico. Un lazo genérico reforzador de causa - efecto se muestra en la Figura 1.

Este ciclo genera crecimiento y colapso, y continúa a un ritmo cada vez más acelerado. Los procesos reforzadores están presentes en situaciones donde las cosas crecen siguiendo un patrón que las matemáticas denominan *crecimientos exponenciales*. Muchas actividades humanas, industriales o biológicas pueden analizarse mediante las curvas de crecimiento exponencial. El crecimiento exponencial se produce, bien sea porque una

Figura 1.

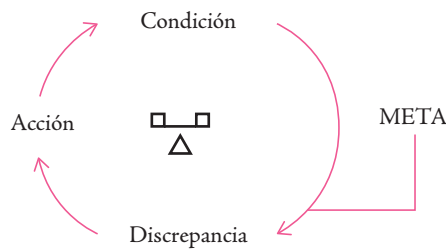
Círculo Causal Reforzador



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 26.

Figura 2.

Círculo Causal Compensador



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 27.

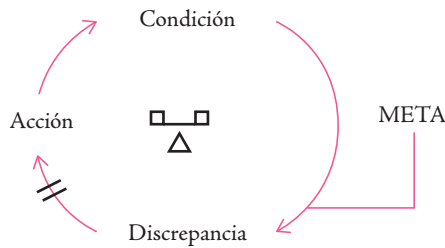
entidad que crece se reproduce a sí misma desde sí misma, o porque una entidad que crece es empujada por algo que se reproduce a sí mismo desde sí mismo (Meadows, 1992: 52).

En los sistemas reforzadores un cambio pequeño se alimenta de sí mismo. Todo movimiento se amplifica produciendo más movimiento en la misma dirección. Un sistema compensador busca un equilibrio hacia la meta. El autocontrol procura mantener esta meta (ver Figura 2).

La Figura 2, en cambio, muestra un ciclo compensador que genera fuerzas de resistencia a los ciclos reforzadores con el objeto de conservar la estabilidad y corregir equilibrios.

Figura 3.

Círculo Causal Compensador con demora



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 28.

En muchas ocasiones estos círculos compensadores actúan de manera demorada, como se señala en la Figura 3. También las demoras están presentes en los círculos reforzadores; este elemento debe tenerse presente en el momento de diseñar estructuras recurrentes; su presencia es generalizada en muchos sistemas humanos, por ejemplo, tomamos una decisión ahora para obtener beneficios luego (ver Figura 3).

Las demoras pueden ejercer enorme influencia en el sistema acen- tuando la repercusión de otras fuerzas. Esto sucede porque las demoras son sutiles: a menudo se dan por sentadas, o se ignoran por completo y siempre se subestiman. En los ciclos reforzadores las demoras erosionan la confianza porque el crecimiento no llega con la rapidez esperada. En los ciclos compensadores las demoras pueden cambiar drásticamente la conducta del sistema; cuando se tienen retrasos se tiende a actuar sobre el sistema con impaciencia, habitualmente redoblando el esfuerzo para obtener lo que se desea; esto provoca oscilaciones innecesariamente vio- lentas. Uno de los propósitos de dibujar diagramas de sistemas es no pasar por alto ninguna demora; además, los retrasos causan desperdicio, y por ello, la eliminación de las demoras es un método clave para acelerar el tiempo de ciclo.

Estas estructuras teóricas son partes de estructuras mayores que algunos pensadores sistémicos denominan arquetipos sistemáticos o estructuras genéricas (dos de ellos se mencionan posteriormente) y la contribución de estas estructuras al desarrollo de problemas tiene un valor considerable para la gerencia actual, porque permite ver el todo sin olvidar las partes, es decir, se mejora la percepción y en consecuencia se observan mejor los puntos que requieren más actuación para lograr cambios importantes.

Otro concepto importante en la formulación y construcción de un modelo cerrado está planteado por el principio de que el comportamiento de un sistema no es causado por un agente externo, proveniente de un hecho fortuito, sino precisamente por la forma en que la retroalimentación del sistema asimila ese evento fortuito (Checkland y Acholes, 1994: 35). En este punto será necesario que el análisis tradicional de sistemas, planteado por los estudios de la Teoría General de los Sistemas de Bertalanffy en 1968, sufra reorientaciones en alguno de sus puntos de vista, cambiando por ejemplo el concepto de eventos fortuitos por el de retroalimentación.

Este concepto implica el uso del punto de vista según el cual el comportamiento del sistema obedece a los ciclos de predicción - preparación, en vez de la idea de que son los eventos fortuitos, como un hecho aislado, la causa del comportamiento del sistema. Esta reorientación viene junto con los conceptos muy generalizados de análisis discreto y análisis continuo, en los cuales el análisis discreto se basa en eventos aleatorios externos al sistema, pero influyentes en él, como datos de entrada (simulación discreta), mientras que el análisis continuo está sustentado por los lazos de retroalimentación y el concepto de que los eventos fortuitos son causados por las actividades de metas que se van a alcanzar.

Dicha orientación estaría dada por el concepto discreto (simulación discreta) de alcanzar en el sistema un equilibrio estático, en el proceso del análisis de un sistema, contrapuesto al punto de vista del equilibrio dinámico (Dinámica de Sistemas). Es necesario resaltar aquí que el con-

cepto de *causalidad* no implica una relación lineal, sino circular; se dice, por ejemplo: un cliente satisfecho hace comentarios positivos y causa más ventas (causalidad considerada en una sola dirección). Pero esta afirmación es tan válida como decir que más ventas hacen más clientes satisfechos y causan más comentarios positivos (Figura 1).

Estas estructuras técnicas son soporte de representación y análisis de sistemas físicos. La retroalimentación ayuda a reconocer tipos de estructuras recurrentes o patrones de cambios. Los círculos causales permiten enfrentar problemas dinámicos complejos y opciones estratégicas, especialmente cuando las personas, los equipos y las organizaciones necesitan trascender lo importante para poder ver las fuerzas que modelan el cambio.

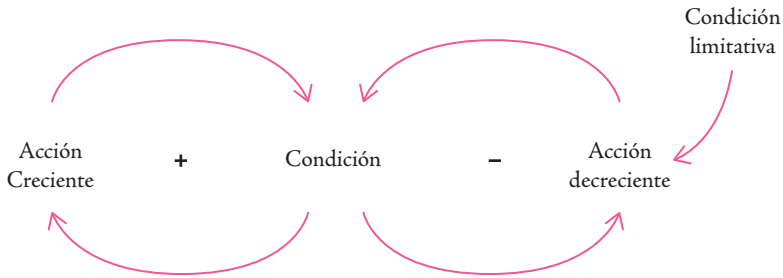
En el pensamiento sistémico, la retroalimentación es un concepto amplio que alude a todo flujo de influencia recíproca. *“En el pensamiento sistémico es un axioma que toda influencia es causa y efecto. Nunca hay influencia en una sola dirección”* (Senge, 1992: 100). Ya anteriormente se señalaron los conceptos de retroalimentación reforzadora y compensadora.

Existen, entre otras, dos estructuras que surgen con frecuencia: Límites del Crecimiento y Desplazamiento de la Carga. La primera sucede cuando un sistema reforzado se inicia y crece, pero es desacelerado o detenido por un sistema compensador. En este caso, por principio, conviene eliminar los factores limitantes del crecimiento o los compensadores. Por ejemplo, un equipo de trabajo mejora, tiene logros por un tiempo, pero luego deja de mejorar. En general, en todas las cosas que crecen pero luego se detienen está presente la actuación de límites. La estructura de este arquetipo indica la presencia de un proceso reforzador y de un proceso compensador que gráficamente se observa en la Figura 4.

La estructura de Desplazamiento de la Carga se da cuando un problema se aborda a través de soluciones superficiales dejando intacta la causa raíz. Es obvio que la mejor acción es reducir o eliminar las causas fundamentales, en caso contrario el problema reaparece con más fuerza.

Figura 4.

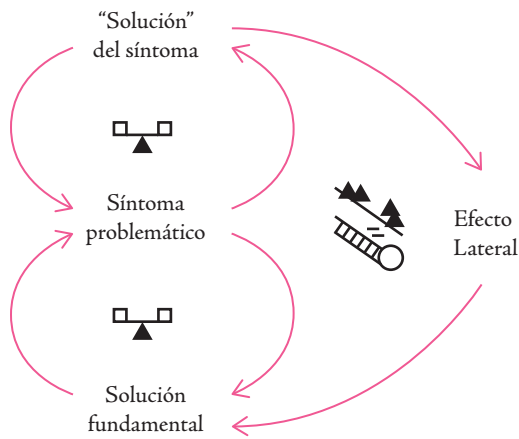
Límites del crecimiento



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 127.

Figura 5.

Desplazamiento de la carga



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 137.

Por ejemplo, resolvemos el problema del estrés laboral haciendo ejercicios, cuando lo adecuado es organizar mejor el trabajo; sucede que se desplaza la carga hacia el ejercicio, formándose un círculo difícil de romper si no se abordan las causas de raíz. "La estructura de este arquetipo está compuesta por dos procesos compensadores; ambos tratan de ajustar o corregir el síntoma" (Senge, 1992: 139) (ver Figura 5).

Los factores, estructuras y flujos dan respuestas a sistemas dinámicos que se especifican en la Técnica de Dinámica Industrial (Forrester, 1961: 38). El objetivo de la dinámica industrial es analizar el comportamiento industrial utilizando técnicas de simulación que muestran la forma en que se responde a una decisión gerencial en atención a las políticas preestablecidas.

Dentro de un estudio dinámico se han clasificado los sistemas en abiertos y cerrados. En los abiertos las salidas son respuestas a las entradas externas del mismo e incorporan todos los componentes del sistema convencional.

Los resultados del análisis permiten comprender la manera en que la estructura organizativa de una empresa afecta su desempeño. Se utilizan técnicas de simulación para probar distintas políticas alternas de administración; la simulación pretende determinar el comportamiento característico del sistema, en vez de predecir eventos puntuales; los eventos puntuales, tales como hacer un pedido o enviar un producto son eventos distintos; sin embargo, un estudio de dinámica industrial reúne los eventos y considera al sistema como continuo.

Un concepto de la dinámica industrial de un sistema se concentra en las velocidades a las que cambian los distintos factores y los expresa como variable continua. El flujo de pedido de los clientes se describe como una determinada tasa de pedidos y su entrega se representa usualmente como una tasa, se integra la diferencia entre las dos tasas para dar el nivel de pedidos y satisfacer a los clientes en todo evento (Geoffrey, 1980: 48).

Es decir, las salidas son aisladas de las entradas. En cambio, los sistemas cerrados, llamados también retroalimentados, son aquellos en los que hay auto influencia de su comportamiento previo en su actuación presente.

Cuando se estudia un sistema cerrado es importante identificar la vuelta que se va a alcanzar; para lograrlo es necesario representar el sistema por medio de estructuras retroalimentadas, entre las cuales se puede

encontrar la de retroalimentación positiva, como es el caso de procesos de crecimiento donde los resultados generan un crecimiento cada vez mayor. En cambio, los sistemas de retroalimentación negativa buscan alcanzar una meta deseada, corrigiendo su rumbo cada vez que se obtienen resultados que no son exactamente lo planeado, hasta lograr que el funcionamiento del sistema alcance dicha meta.

La práctica del análisis sistémico permite que un estudio de dinámica industrial abarque aspectos de producción, distribución y venta de productos. Una estructura básica simple pero importante para representar una estructura industrial se fundamenta en una relación entre niveles y tasas; las tasas de flujo se controlan mediante funciones de decisión que dependen de las condiciones del sistema.

Los niveles representan la acumulación de distintas entidades del sistema, por ejemplo, inventarios, pedidos y clientes satisfechos, cantidad de empleos, nivel de experiencia, etc. El valor actual de un nivel en cualquier evento representa la diferencia acumulada entre el flujo de entrada y el de salida para ese nivel. Se define que las relaciones a tasa representan el flujo instantáneo de un nivel. Las tasas corresponden a la actividad, mientras que los niveles miden el estado resultante al cual la actividad ha llevado al sistema. Las tasas de flujo se determinan por los niveles del sistema de acuerdo con reglas definidas por las funciones de decisión, las cuales son afirmaciones de la política que se señala como la información disponible acerca de los niveles que conducen a las decisiones (Forrester, 1961: 57).

En general, estas relaciones de niveles y tasas son básicas para adelantar el proceso de simulación que en términos conceptuales significa: representar por imitación el funcionamiento de un sistema o proceso por medio del funcionamiento de otro (una simulación por computadora de un proceso industrial, por ejemplo).

Para iniciar un proceso de simulación debe existir, en primer lugar, un modelo de lo que se quiere simular. Hay varias clasificaciones de modelos, pero los más usuales son los físicos (por ejemplo, el modelo de un

avión), análogos (por ejemplo, una escala donde la división de un resorte o haz representa el peso), esquemático (por ejemplo, diagramas de circuitos eléctricos) y simbólicos (por ejemplo, código de computación o modelos matemáticos que representan un cajero humano o automático).

La información que se tiene de las características de un sistema, su estructura y su comportamiento con respecto al medio que lo rodea, permite crear una representación mental del mismo por medio de la cual se ordena su estructura teórica, la cual no es otra cosa que un modelo del sistema en cuestión. A manera de definición un modelo es la representación simplificada de un objeto o sistema (Rico, 1992: 38).

La experimentación con modelos que funcionan como si fueran el sistema, bien sea en condiciones reales o hipotéticas, es la simulación de sistema. Esta experimentación con el modelo se utiliza con bastante éxito para comprender verdaderamente el funcionamiento de un sistema complejo y muchas veces para alcanzar el diseño más adecuado de un sistema artificial.

Dichos experimentos pueden realizarse en una computadora antes de que el sistema real entre en operación. La simulación o la complejidad del problema hacen difícil o imposible aplicar técnicas de optimización, por lo tanto, los talleres de trabajo que se caracterizan por tener problemas de colas han sido sujetos de extensos estudios por medio de simulación, así como ciertos tipos de problemas de inventarios, distribución de plantas y mantenimiento, entre otros.

Además, la simulación sirve para capacitar a los gerentes y a los trabajadores en cuanto a la forma de los cambios en las variables del sistema, en el control del tiempo real y, al desarrollar nuevas teorías, acerca de las relaciones matemáticas o de la organización.

Para hacer efectivo un experimento a través de la simulación en una computadora, es necesario contar con un software apropiado como, por ejemplo, el Vensim que es una herramienta poderosa para construir y crear modelos de simulación dinámica.

Sus características establecen un diagrama editor que ayuda a definir el modelo, representando específicamente las variables, las líneas de información y los flujos de materiales. Las líneas de información representan la relación entre las variables que conectan, y la definición exacta es definida como una ecuación en el lenguaje Vensim.

El comportamiento del modelo se observa en el mismo diagrama, de manera que las variables, las líneas y los flujos crean la estructura del modelo. Para su construcción en lenguaje Vensim se tienen variables de nivel, ratas de flujo, variables auxiliares, constantes, líneas de información y líneas de información con demora.

La conjugación de estos elementos puede conformar un modelo industrial complejo o un modelo elemental de algún subsistema. El propósito del Vensim es hacer la descripción de un sistema real en un modelo imaginario. Cuando se simula el modelo, los resultados del comportamiento pueden ser usados para hacer análisis del comportamiento del sistema discreto.

Un modelo consiste en establecer las relaciones de los componentes denominados variables; construir un modelo es hacer las definiciones de las variables y las relaciones entre ellas, vale decir niveles y tasas.

La Dinámica Industrial (ID) creada por el Profesor Jay Forrester del Massachusetts Institute of Technology (MIT) es un enfoque que agrupa una serie de conocimientos teóricos de varias disciplinas muy difundidas en la Ingeniería y en la Administración; la Dinámica Industrial logra un modelo que representa matemáticamente el comportamiento dinámico de los sistemas, se permite la simulación continua y el monitoreo de indicadores de gestión de un sistema, con la ayuda de computadoras digitales.

La Causalidad, representada por medio de los circuitos de causa y efecto del comportamiento de los sistemas, constituye la principal base teórica del modelo dinámico que representa un sistema en estudio.

Los modelos de Dinámica Industrial se basan, además, en otro concepto muy difundido en el mundo de los servomecanismos conocido

como retroalimentación; este concepto ha sido aplicado desde hace más de un siglo en la representación, estudio y diseño de sistemas mecánicos y eléctricos, con bastante éxito.

El uso de esta técnica en la representación y análisis de los sistemas físicos es tan antiguo como exitoso, debido al conocimiento exacto y generalizado de la representación matemática del comportamiento de los componentes de los sistemas estudiados.

No ocurre lo mismo con los sistemas socioeconómicos y biológicos relacionados con el comportamiento humano y para los cuales es muy difícil encontrar una representación matemática de su comportamiento universalmente válida. Sin embargo, la combinación de los conceptos de *causalidad* y *retroalimentación*, aplicada al estudio y análisis de sistemas socioeconómicos, dieron origen a lo que es conocido como la «Dinámica Industrial».

Por medio de la metodología de Dinámica Industrial se han diseñado y desarrollado herramientas de software muy poderosas y exitosas para el análisis y diseño de sistemas socioeconómicos y para cualquier otro sistema que pueda ser representado con los conceptos de *causalidad* y *retroalimentación*. Cabe mencionar aquí de nuevo el Vensim, así como el mucho más poderoso y amigable STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) desarrollado para el ambiente y filosofía Macintosh.

Otros conceptos básicos sobre Dinámica de Sistemas

El estudio dinámico de sistemas tiene fundamento en el análisis de su comportamiento, con base en el cual se han clasificado los sistemas en abiertos y cerrados.

Un sistema abierto es aquel en el que las características de sus salidas (*output*) son las respuestas a las entradas externas del mismo (*input*),

pero a su vez sus resultados o salidas son completamente aislados de las entradas al sistema, lo que significa que un sistema abierto se despreocupa de su propia actuación, focalizándose en cumplir sus metas fijadas por medio de la programación externa.

Un automóvil, por ejemplo, en sí es un sistema abierto, pues no se conduce por su cuenta en un momento dado, con base en actuaciones anteriores.

Un sistema cerrado o frecuentemente llamado también retroalimentado es aquel en el que hay una auto influencia de su comportamiento previo en su actuación presente. Un ejemplo clásico de sistema cerrado lo constituye el sistema de aire acondicionado de una casa, que es controlado por un termostato, el cual responde al frío previamente producido por el aparato para, con base en él, regular en forma automática la temperatura ambiente del interior de la casa.

Es oportuno aclarar que la clasificación de sistemas en abiertos y cerrados no es intrínseca a las partes que lo constituyen ni a la forma en que esas partes se relacionan entre sí o con el entorno, sino que dependen solamente de la óptica que el analista utilice para definir los componentes del sistema y sus limitaciones o bordes.

En el ejemplo anterior del automóvil como sistema abierto, si se considera al conductor como parte de ese sistema, dicho sistema abierto se transforma en cerrado, ya que puede ser retroalimentado por la experiencia anterior para su actuación presente.

Para estudiar un sistema cerrado o retroalimentado es importante la identificación y proporción de las metas que se deben alcanzar (*goal seeking*). Para ello se requiere de la representación del sistema por medio de las Estructuras de Retroalimentación (*feedback*), entre las cuales se pueden encontrar las de retroalimentación positiva principalmente en los procesos de crecimiento, donde los resultados generan un aumento cada vez mayor (por ejemplo, la multiplicación de bacterias que produce cada vez más bacterias, las cuales a su vez incrementan su tasa de crecimiento).

Los sistemas de estructura de retroalimentación negativa, buscan alcanzar una meta deseada corrigiendo su rumbo cada vez que se obtienen resultados que no son exactamente los planeados, hasta lograr que el funcionamiento del sistema alcance dicha meta (por ejemplo, el sistema de aire acondicionado de la casa, el cual busca por sí mismo, mantener la casa a una temperatura previamente establecida).

La estructura de un sistema y su comportamiento son inseparables, lo que conduce al concepto de causalidad, representado por los diagramas circulares de causa - efecto o de retroalimentación.

Un concepto importante en la formulación y construcción de un modelo cerrado es el principio de que el comportamiento de un sistema no es causado por un agente externo proveniente de un hecho fortuito, sino precisamente por la forma en que la retroalimentación del sistema asimila ese evento fortuito.

En este punto resulta necesario que el análisis tradicional de sistemas, planteado por los estudiosos de la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, etc.), reoriente algunos de sus puntos de vista cambiando por ejemplo el concepto de evento fortuito por el de retroalimentación.

Este concepto implica un punto de vista donde el comportamiento del sistema obedece a los ciclos de *Predicción- Preparación*. Este comportamiento se puede definir como el evento fortuito o hecho aislado que causa el comportamiento del sistema.

Esta reorientación planteada viene junto con los conceptos generalizados de *Análisis Discreto* y *Análisis Continuo*, así:

- ♦ **Análisis Discreto:** se basa en eventos aleatorios, externos al sistema, pero influyentes en él como datos de entrada (Simulación Discreta).
- ♦ **Análisis Continuo:** está sustentado por los lazos de retroalimentación y el concepto de que los eventos fortuitos son causales de las actividades de metas que se van a alcanzar (Dinámica Industrial/Simulación Continua).

Otra reorientación necesaria estaría dada por el concepto discreto (Simulación Discreta) de alcanzar en el sistema un *Equilibrio Estático* (*Stedy-State*) en el proceso del análisis de un sistema; contrapuesto al punto de vista del *Desequilibrio Dinámico* (dinámica industrial).

De nuevo, se insiste aquí en que el concepto de *Causalidad* no implica una relación lineal, sino que es circular; se dice, por ejemplo:

“*El exceso de trabajo causa estrés*” (Causalidad considerada en una sola dirección).

Pero es tan legítimo como decir que: “El estrés causa exceso de trabajo”.

Es muy difícil lograr que todas las metas de un sistema se satisfagan en forma simultánea, principio implícito en el concepto del *equilibrio estadístico*. Si un sistema está en equilibrio no habrá incentivo alguno para pensar en cambios, puesto que todas las condiciones son iguales a las deseadas, lo que implica que no existe discrepancia con respecto a las metas fijadas.

Al abolir la suposición de equilibrio se puede plantear, por ejemplo, que la producción de una planta no tiene por qué ser necesariamente igual a las ventas, sino que podría existir una sobreproducción, del concepto de *desequilibrio dinámico*.

Los lazos de retroalimentación

En la Figura 1 puede apreciarse la estructura básica de un lazo de retroalimentación, en la cual se evidencia que el lazo es un camino circular cerrado que conecta las decisiones que a su vez controlan las acciones en el sistema y los estados asumidos por este (*Niveles*) a través del tiempo. La información relacionada con los Niveles del sistema debe regresar más tarde al punto donde se toman las Decisiones, para cerrar el *Círculo de Causalidad*.

En la representación de un sistema cualquiera podría haber demoras adicionales y distorsiones que pueden aparecer secuencialmente en

el lazo; estas circunstancias podrían dar origen a representaciones con lazos interconectados en forma secuencial o serial, según sea la lógica del funcionamiento del sistema que va a ser modelado.

La información disponible que se recopila del sistema y que debe ser presentada en un cuadro de información, en la forma en que existe en cada instante, será la base para la toma de decisiones por parte de la administración con el fin de ejercer control sobre el funcionamiento del sistema. La acción adoptada alterará el Nivel del sistema. El Nivel (Nivel real) es el generador de las informaciones relativas al sistema y su actuación, pero la información por sí misma pudiera ser espontánea y/o errónea.

La Información es entonces el Nivel Académico del sistema, el cual puede diferir del Nivel real. Uno de los problemas más graves de esta metodología es que el Nivel aparente (Información disponible) no es el Nivel real y, sin embargo, es la base del proceso de toma de decisiones.

Se presenta en el siguiente ejemplo el sistema constituido por la generación de órdenes de compra para mantener el inventario de un almacén.

En este sistema, la decisión genera una sucesión de órdenes que deben ser entregadas por el proveedor (después de la demora normal causada por el envío o la manufactura de los artículos); las entrega al almacén modificando, como consecuencia, el inventario. El inventario es fuente de información en sí mismo, pero esta información podría contener errores por extemporánea, así que, no siempre reflejaría el verdadero Nivel real del inventario.

La información relacionada con el inventario será el dato de entrada sobre el cual se basa la decisión de ordenar. En un sistema más complejo habrá, por supuesto, otros datos de entrada que influirán en esta decisión. Este lazo de Control de Inventario estará en continua operación y los cambios se podrán presentar en cualquier parte del lazo. La sucesión de órdenes, en un momento dado, corresponde a la decisión que se toma en ese instante, y ésta a su vez depende de la información actual. Sin

embargo, el nivel actual del sistema no depende de la acción tomada en el mismo momento, sino de la acumulación de las acciones tomadas hasta el presente.

La información por sí misma es uno de los niveles del sistema y puede ocurrir que los cambios de la información difieran de los cambios de la variable verdadera, que supone representar. La información no es determinada por la verdadera situación actual, ya que no está disponible en forma instantánea y exacta, sino que es generada por la anterior condición, transmitida, analizada y digerida. Por lo tanto, existe siempre una cierta discrepancia entre el Nivel real del sistema y el nivel de la información que lo gobierna.

Representación de diversos comportamientos del sistema

Las *Variables de Estado* de un sistema cambian de valor cada vez que ocurre un evento o se realiza una transacción dentro de su estructura que hace cambiar algún nivel, bien sea como consecuencia de un factor interno o de un factor externo al sistema.

Al identificar una variable de estado que permite al observador analizar el comportamiento del sistema siguiendo los valores que ella asume a través del tiempo, estos valores servirán como *Indicadores de Gestión* para anunciar los valores que convienen o no al funcionamiento del sistema, y por consiguiente recomendar a la persona que toma las decisiones ejecutivas las correcciones que sean necesarias en el momento oportuno, para que el sistema alcance sus objetivos.

En un lazo de retroalimentación positiva, las variables simples se muestran ascendentes o descendentes en forma exponencial con tasas de crecimiento, a su vez, ascendentes o descendentes.

Esa interacción de actividades en un lazo de retroalimentación negativo puede presentarse en un rango que va desde que se llega al objetivo con una pendiente pronunciada hasta otro en el que las aproximaciones

son lentas y erráticas, pero dirigidas siempre al objetivo planteado hasta lograr valores aceptables.

Estos dos tipos de representaciones, en forma individual o mezclados en forma caprichosa según la lógica de funcionamiento del sistema sintetizan sus variaciones, estudiadas a través del tiempo por medio de la Dinámica Industrial.

En seguida se presenta un grupo de ejemplos y sus comentarios, a manera de muestra representativa de los comportamientos más comunes de variables de estado de sistemas cerrados, hasta ahora vistos desde la óptica planteada en este trabajo.

Una curva tipo logística es la propia representación más simple de un sistema de retroalimentación positiva, en el cual la variable crece a una tasa decreciente, hasta llegar a un valor final.

Podría representar el crecimiento de un grupo de vendedores, que se incrementa con el rendimiento de ventas individuales, hasta llegar a un tamaño máximo fijado por la empresa.

También podría representar el llenado de un tanque de agua, controlado por un flotador, el cual va reduciendo el caudal (rata), a medida que el nivel del tanque se incrementa hasta llegar a la capacidad del tanque (nivel máximo permitido).

Una curva en zigzag es un enfoque mucho más complicado para alcanzar el valor final, ya que el sistema sobrepasa este valor en el primer intento y luego al hacer las correcciones desciende mucho, iniciando allí un zigzag hasta lograr una aproximación más adecuada al valor final.

Este comportamiento puede ser causado por un excesivo tiempo de respuesta en el sistema de retroalimentación o por esfuerzos muy violentos en la acción de corregir las diferencias entre el nivel aparente del sistema y el valor programado.

Este comportamiento es típico de las fluctuaciones de la producción industrial causadas por las influencias de los ciclos económicos.

También se observa en el comportamiento de los precios de artículos de primera necesidad, cuando la oferta y la demanda se tratan de equilibrar entre sí.

Igualmente, se podría observar en el comportamiento de un borracho tratando de introducir la llave en la cerradura de su casa a altas horas de la noche.

Esta curva muestra un crecimiento hasta el infinito con una tasa exponencial; dicho comportamiento es típico de la multiplicación de las células o de las especies en su hábitat.

Puede verse también en el crecimiento de las ventas en una empresa que contrata cada vez más vendedores, porque su problema no es la producción (cuenta con *stocks* ilimitados).

Se ve también en la reacción en cadena de una explosión atómica o en la multiplicación de conejos en un medio propicio.

Esta es una curva que muestra una primera sección de crecimiento exponencial seguida de un zigzag en busca del valor deseado como comportamiento del sistema.

Dicho comportamiento se puede observar muy claramente en el crecimiento de los animales, sin que con ello se supere el valor esperado en la etapa final, sino alcanzarlo y tener algunos valores por debajo en forma de zigzag, pero muy cerca del límite máximo.

También puede observarse en el crecimiento poblacional de cualquier raza de animales salvajes en su hábitat: la población al comienzo crece a una tasa decreciente hasta que se estanca su crecimiento por falta de medios de vida debido a la superpoblación.

Este tipo de curva también puede representar el comportamiento de una planta de energía nuclear, donde la rata de fisión crece hasta alcanzar los niveles operacionales, para luego moderar su crecimiento por los sistemas de control.

Igualmente, puede representar el crecimiento de la demanda de un producto muy publicitado, que empieza a declinar por saturación del mercado o quizás porque la empresa ha llegado a la máxima capacidad de producción, o porque el fabricante ha descuidado la calidad del producto.