

¿Que es un sistema?

Con una sola llama es posible encender un millón de velas.

Este libro es una introducción al pensamiento sistémico: qué son los sistemas, sus ideas clave, cómo pensar en ellos y por qué son importantes. ¿Qué entendemos por «sistema»? En este libro utilizamos el término en su sentido cotidiano, intuitivo:

Un sistema es una entidad cuya existencia y funciones se mantienen como un todo por la interacción de sus partes.

El pensamiento sistémico contempla el todo y las partes, así como las conexiones entre las partes, y estudia el todo para poder comprender las partes. Es lo opuesto al reduccionismo, es decir, la idea de que algo es simplemente la suma de sus partes. Una serie de partes que no están conectadas no es un sistema, es sencillamente un montón.

Un sistema

Partes interconectadas que funcionan como un todo.

Cambia si se quitan o añaden piezas. Si se divide un sistema en dos, no se consiguen dos sistemas más pequeños, sino un sistema defectuoso que probablemente no funcionará.

La disposición de las piezas es fundamental.

Las partes están conectadas y funcionan todas juntas.

Su comportamiento depende de la estructura global. Si se cambia la estructura, se modifica el comportamiento del sistema.

Un montón

Serie de partes.

Las propiedades esenciales no se alteran al quitar o añadir piezas. Cuando se divide, se consiguen dos montones más pequeños.

La disposición de las piezas no es importante.

Las partes no están conectadas y funcionan por separado.

Su comportamiento (si es que tiene alguno) depende de su tamaño o del número de piezas que haya en el montón.

Cuando se observan los patrones que conectan las partes y no sólo las partes se descubre un hecho singular. Sistemas formados por partes muy distintas y con funciones completamente diferentes pueden estar organizados en torno a las mismas reglas generales. Su comportamiento dependerá de cómo se conecten las partes, más que de cuáles sean esas partes. Así, será posible hacer predicciones acerca de su comportamiento sin tener un conocimiento detallado de las partes. Es posible comprender sistemas muy diferentes (el propio cuerpo, una empresa,

la contabilidad personal o las relaciones) e influir sobre ellos utilizando los mismos principios. En vez de observar por separado áreas de conocimiento cuya comprensión requiere años de estudio, el pensamiento sistémico permite estudiar la conexión que existe entre las diversas disciplinas para predecir el comportamiento de los sistemas, ya se trate del sistema de la red viaria, de un sistema de creencias, del aparato digestivo, de un equipo de gestión o de una campaña de marketing.

¿Por qué es tan importante el pensamiento sistémico? Porque, como hemos dicho anteriormente, cada persona es un sistema que vive en un mundo de sistemas. Todos vivimos inmersos en el complejo sistema de la naturaleza y formamos poblaciones y ciudades que funcionan también como sistemas. Tenemos sistemas mecánicos, como los ordenadores, los coches o las cadenas automatizadas de montaje y producción. Tenemos sistemas políticos, sistemas económicos y sistemas ideológicos. Cada uno de estos sistemas funciona como un todo en el que se combinan muchas partes distintas (otra cuestión es si el sistema funciona bien o mal). Los sistemas pueden ser simples, como el termostato de una calefacción central, o muy complejos, como el clima. En el momento actual, el complejo sistema de la naturaleza afronta problemas sin precedentes debido a los efectos de la contaminación y la tecnología. Dondequiera que miremos hay sistemas. Estudiamos como sistemas las moléculas, las células, las plantas y los animales. Los seres humanos estamos compuestos de células que, a su vez, forman sistemas orgánicos cuyo funcionamiento está controlado por el sistema nervioso. Todos pertenecemos a algún sistema familiar que, a su vez, forma parte de una comunidad local, la cual, unida a otras comunidades locales, forma parte de ciudades, regiones y naciones. En todos estos casos, se trata de sistemas que son subsistemas de otro sistema mayor. El planeta Tierra es también un sistema que forma parte del sistema solar, de la galaxia y, por último, del universo. Tal vez no utilicemos a menudo la palabra «sistema», pero los sistemas están

presentes en todo lo que hacemos y, para ejercer una mayor influencia sobre ellos, para tener una mejor calidad de vida, debemos entender cómo funcionan.

Así pues, un sistema es un conjunto de partes que funcionan como una sola entidad. Puede estar compuesto de muchas partes más pequeñas o ser él mismo parte de un sistema mayor. Dentro del cuerpo humano, por ejemplo, encontramos el sistema digestivo, el sistema inmunitario, el sistema nervioso y el sistema circulatorio. Podemos estudiar cada uno de estos sistemas por separado y, a continuación, ver cómo funcionan en el conjunto del sistema global del cuerpo. Un coche es un sistema mecánico formado por diversos subsistemas: el sistema de refrigeración, el de salida de humos y el de carburación. El funcionamiento simultáneo de estos sistemas da como resultado esa máquina que nos lleva a donde queremos. Mientras el coche funciona, no nos preocupamos de los distintos subsistemas que lo forman. Cuando tenemos alguna avería descubrimos hasta qué punto es frustrante el reduccionismo: ahí están todas las partes del coche, pero si no funcionan bien juntas no son más que un montón de chatarra.

El tamaño de los sistemas contruidos por el hombre tiene un crecimiento limitado. Si algo empieza a crecer de forma desmesurada sin experimentar ningún otro cambio, llega un momento en que resulta poco manejable, y es probable que se estropee. Por tanto, a medida que los sistemas aumentan de tamaño, lo razonable es dividirlos en sistemas más pequeños y establecer distintos niveles de control. En el ámbito empresarial, por ejemplo, puede que un equipo de seis personas funcione bien, pero un equipo de 600 personas no podrá hacer nada si no se divide en grupos más pequeños. También en el mundo natural hay límites en el crecimiento de los seres para seguir viviendo. En relación con los sistemas, el mayor tamaño no implica un mejor funcionamiento, suele ser al revés. Cada sistema tiene un tamaño óptimo, y si aumenta o disminuye de forma notable sin experimentar ningún otro cambio, es muy probable que deje de funcionar.

Emergencia: el remolino y el arco iris

De nuestra simple definición de sistema se infieren algunas implicaciones curiosas. En primer lugar, un sistema funciona como un todo, luego tiene propiedades distintas de las partes que lo componen. Estas propiedades se conocen con el nombre de propiedades emergentes, pues «emergen» del sistema mientras está en acción. Imaginemos cien dibujos ligeramente distintos de Mickey Mouse. No parece que susciten demasiado interés. Ahora bien, pasémoslos muy deprisa, uno detrás de otro, y veremos a Mickey en movimiento: ya tenemos un dibujo animado. Si las fotografías se diferencian en una progresión escalonada, el movimiento resultará también escalonado. Entonces diremos que el escalonamiento es una propiedad emergente.

Vivimos de forma cotidiana con las propiedades emergentes, por eso apenas las tenemos en cuenta. Sin embargo, muchas veces son impredecibles y sorprendentes. (Consideramos que la palabra más apropiada en este contexto sería «emergencia», y no el término más largo e incómodo de «propiedades emergentes». Es una lástima que el uso de nuestra lengua prefiera «emergencia» para los sucesos, por lo general accidentes, que sobrevienen de forma inesperada.)

Las propiedades emergentes sobresalen de los sistemas al igual que las imágenes tridimensionales que surgen de repente entre las franjas aleatorias de figuras geométricas coloreadas que hay en esos libros tan atractivos y exasperantes del «ojo mágico». No hay forma de predecir la imagen que saldrá de la geometría en que uno se encuentra inmerso. Ocurre lo mismo cuando observamos la corriente turbulenta de un río: el hecho de que sepamos mucho de la estructura molecular del agua no nos prepara para un remolino (ni tampoco a predecir que el agua es líquida). Uno puede estudiar durante años acústica y física de los sonidos sin por ello llegar ni a sospechar la belleza y el poder evocador de la música. Con los dos

ojos no obtenemos una imagen más grande, sino una imagen tridimensional. Con los dos oídos no sólo oímos el doble de bien, tenemos la capacidad de oír en estéreo. Al combinar todos los colores del espectro cromático, no se obtiene luz de color marrón pardusco, sino luz Blanca. Ciertamente no reparamos en ninguno de estos milagros cotidianos, pero ¿habríamos sido capaces de predecirlos si no los conociéramos de antemano? Estas propiedades emergen al igual que la belleza del arco iris cuando la lluvia, la atmósfera y el ángulo del Sol se encuentran en la posición adecuada.

Nuestro cerebro parece deleitarse en la creación de estas propiedades emergentes. No olvidemos que somos parte del sistema y, por tanto, sin nosotros estas propiedades no existirían.

También la conciencia es una propiedad emergente. ¿Quién habría sido capaz de predecir que los billones de interconexiones de nuestro cerebro nos permitirían ser conscientes de nosotros mismos? Asimismo, todos nuestros sentidos son parte del conjunto de nuestro ser. Somos nosotros los que vemos, no los ojos. Si ponemos un ojo encima de una mesa, no verá nada. En ninguna parte de un organismo podremos encontrar el tacto, el olfato, el gusto, el sentido de la vista o el del oído. Nuestra vida depende del funcionamiento conjunto de las partes que nos forman. Cuando las partes están separadas del cuerpo, se mueren. Y los que se van al más allá no descubren el secreto de la vida, sino la muerte.

Otro ejemplo: el movimiento de un coche también es una propiedad emergente. Para desplazarse, un coche necesita el carburador y el depósito de gasolina, pero pongamos el carburador y el depósito en medio de la carretera y veremos lo lejos que llegan:

El equilibrio de la naturaleza es otra propiedad emergente. Las plantas, los animales y las condiciones climatológicas funcionan en combinación para crear un medio ambiente floreciente, aun cuando algunos animales de ese entorno sean presas de otros. Si perturbamos el medio ambiente, ese equilibrio corre el

riesgo de romperse, algunas especies tal vez se extingan, otras se convertirán en dominantes, pero al final, surgirá otro equilibrio.

En resumen:

Los sistemas tienen propiedades emergentes que no se encuentran en las partes que los componen. No se pueden predecir las propiedades de un sistema entero dividiéndolo y analizando sus partes.

Si descomponemos un sistema, no encontraremos sus propiedades esenciales en ninguna de las piezas resultantes. Estas propiedades sólo surgen cuando el sistema entero actúa. Sólo poniendo en funcionamiento el sistema podremos saber cuáles son sus propiedades emergentes.

Propiedades emergentes

He aquí una lista de propiedades emergentes. ¿Se le ocurre alguna otra?

- la vida
- los remolinos
- los tornados
- la temperatura
- la presión
- los «bugs» de los programas informáticos
- las emociones
- la música
- las composiciones del «ojo mágico»
- el arco iris
- la cultura
- las llamas
- la conciencia
- el espíritu de equipo
- las nubes
- la salud y el bienestar
- el hambre
- la risa
- los recuerdos
- los sueños

Una ventaja de las propiedades emergentes es que no hace falta comprender el sistema para beneficiarse de él. No es necesario saber electrónica para encender la luz ni saber de mecánica para conducir un coche. No hace falta comprender millones de líneas de un programa informático para jugar con el ordenador. ¿Sabe usted qué ocurre para que los gráficos aparezcan en el monitor de un ordenador? Joseph no había pensado nunca en esto hasta un día en que, nada más apagar el ordenador, su hija de ocho años le preguntó:

- Papá, ¿dónde se van los dibujos cuando apagas?
- No se van a ningún sitio, simplemente el ordenador deja de hacerlos.
- Pero, cuando lo vuelves a encender, ¿cómo se acuerda de hacer exactamente los mismos dibujos?
- Se quedan almacenados en la memoria del ordenador.
- ¿Qué? ¿Todos esos dibujos?
- No. Más bien se acuerda de cómo hacerlos cuando se to volvemos a pedir.
- ¿Y dónde está su memoria?

Joseph empezó a quedarse sin respuestas.

- El ordenador almacena cada dibujo como una serie de bits que marcan la posición exacta de todos los elementos. Así, luego puede reproducirlo entero cuando se lo pedimos.
- ¿Dónde almacena los bits?

- En unos trocitos de plástico y de metal que tiene dentro y que se llaman chips.
- Si miras dentro de los chips, ¿se ven los dibujos?

Ya habí an llegado a la barrera entre el mundo del silicio y el mundo de la visión.

- No. Son demasiado pequeños.
- ¿Y no podemos verlos con una lupa?
- No, son series de bits, como una especie de puzzle que el ordenador vuelve a unir. Igual que cuando tú separas las piezas de un puzzle y después lo vuelves a hacer.

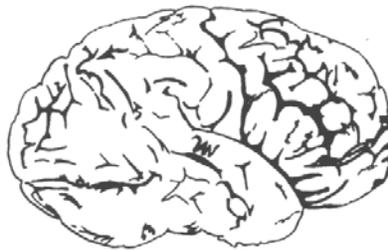
La niña no se quedó muy convencida, pero haberle explicado que los flujos eléctricos que se producen en el interior de un ordenador cuando aparecen los dibujos en el monitor son una propiedad emergente habrí a sido peor. Del mismo modo que no podemos desmontar un piano para buscar el sonido que produce, tampoco podemos abrir un ordenador y buscar dentro los dibujos.

También a los «bugs» informáticos podemos darles el apelativo cariñoso de «propiedades emergentes»: ¿Le ha ocurrido alguna vez que el ordenador empiece a funcionar de forma extraña sin ninguna razón aparente al hacer algo que habí a hecho antes miles de veces sin el menor problema? A nosotros sí . Parece como si el ordenador se estuviera confundiendo adrede, como si tuviera verdaderamente mala intención. Al poco de mecanografiar este texto, el ordenador decidió darnos una demostración «en directo»: el programa dejó de funcionar. No habí a modo alguno de escribir, borrar o guardar nada. Menos mal que habí amos hecho una copia de seguridad hací a unos minutos. Tras insultar al inerte montón de silicio, no hubo más remedio que apagar y volver a encender.

La segunda característica fundamental de los sistemas es la imagen especular de la primera. Dado que las propiedades de un sistema surgen del conjunto del sistema, y no de sus partes, si lo descomponemos perderemos sus propiedades. Si desmontamos un piano, por ejemplo, no sólo no encontraremos el sonido, sino que será imposible producirlo hasta que no esté montado otra vez. No se puede encontrar el arco iris en la lluvia ni la imagen dentro del televisor. Si dividimos un sistema en dos, no tendremos dos sistemas más pequeños, sino un sistema defectuoso o muerto.

Análisis es el nombre que damos a la separación de las partes de un todo para ver cómo funciona. Resulta un método muy útil para resolver cierto tipo de problemas o para saber los elementos o subsistemas de que se compone un sistema mayor. El análisis sirve para conocer. Sin embargo, no es posible comprender las propiedades de un sistema entero si lo descomponemos en las partes que lo forman.

El complementario del análisis es la síntesis: composición de un todo por la reunión de sus partes. La síntesis sirve para comprender. La única forma de saber cómo funciona un sistema y cuáles son sus propiedades emergentes es verlo en acción como un todo.



Sistemas simples y complejos

Todo sistema se fundamenta en la interacción de las partes que lo forman, en consecuencia, las relaciones entre las partes y su influencia mutua son más importantes que la cantidad de partes o el tamaño de las mismas. Estas relaciones, y por tanto los sistemas, pueden ser simples o complejas.

Hay dos formas muy distintas de que algo sea complicado.

pequeño ordenador. En la corteza se producen más de mil billones de conexiones. Si nos pusiéramos a contar una por segundo, tardaríamos 32 millones de años en contarlas todas.

No hay dos cerebros iguales. Nacemos con todas las neuronas que necesitamos, pero hasta un 70 por ciento del total mueren durante el primer año de vida. Las neuronas supervivientes forman un entramado de conexiones cada vez más complejo. Algunas conexiones se refuerzan con el uso, y otras se van muriendo a medida que adquirimos conocimiento del mundo. El cerebro no es independiente del exterior, se va formando por su influencia; el sistema externo del mundo moldea el sistema interno del cerebro.

El cerebro tiene la función de extraer el sentido y los patrones del enorme flujo de información sensorial que recibe. El acto en sí de la percepción da también significado a esa percepción, y así el cerebro conforma el mundo al tiempo que lo percibe. La interpretación es parte de la sensación.

Los neurocientíficos describen el cerebro como una red de procesamiento en paralelo interconectada, descentralizada y distribuida de ondas simultáneas de patrones de resonancia interactivos. En otras palabras: un sistema muy complejo.

El cerebro es tan complejo como anhelaba nuestra vanidad y se temía nuestro intelecto.

Cuando pensamos que algo es complejo, nos lo imaginamos compuesto de muchas partes distintas. Esa es la complejidad de detalle. Un puzzle de 1.000 piezas nos plantea una complejidad de detalle. Suele haber alguna forma de simplificar, agrupar u organizar este tipo de detalle, y sólo hay un lugar para cada

pieza. Los ordenadores manejan muy bien esta clase de complejidad, sobre todo si es posible secuenciarla.

El otro tipo de complejidad es la dinámica: es aquella en que los elementos se relacionan unos con otros de muchas formas distintas, porque cada parte puede tener diferentes estados, de modo que unas cuantas partes pueden combinarse en miles de formas diferentes. Resulta entonces erróneo basar la complejidad en el número de partes en lugar de en las posibles formas de combinarlas. No es necesariamente cierto que cuanto menor sea el número de partes, más fácil será manejarlas y comprenderlas. Todo dependerá del grado de complejidad dinámica.

Pensemos en un equipo de profesionales que trabajan en un proyecto. El estado de ánimo de cada miembro del equipo puede variar en cualquier momento. Son sin duda muchas las formas en que pueden relacionarse unos con otros. Es decir, un sistema compuesto sólo de unas cuantas partes puede tener sin embargo un grado elevado de complejidad dinámica. Así, problemas que en apariencia parecen simples pueden encerrar una gran complejidad dinámica cuando nos adentramos en ellos.

Las nuevas conexiones entre las partes de un sistema añaden complejidad, y al añadir una pieza se crean muchas conexiones nuevas. Cuando se añade una pieza nueva, el número de conexiones posibles no se incrementa de forma proporcional, sino que se incrementa exponencialmente. Dicho de otro modo: con cada nueva pieza el incremento es mayor que el que teníamos con la pieza anterior. Por ejemplo, supongamos que comenzamos con dos piezas: A y B. Los posibles vínculos y trayectos de influencia son dos: A sobre B y B sobre A. Si añadimos otra pieza, tendremos tres partes: A, B y C. Sin embargo, el número de conexiones posibles habrá aumentado a seis; y a doce si pueden darse uniones de dos de las partes para influir sobre la tercera (por ejemplo, A y B sobre C). Ya vemos cómo no hacen falta muchas partes para crear un sistema dinámicamente

complejo, ni siquiera es necesario que las partes puedan cambiar de estado. Esto es algo que sabemos por experiencia: manejar a dos personas a la vez supone más del doble de esfuerzo que manejar a una sola, hay más probabilidades de malentendidos en la comunicación. Tener un segundo hijo, por ejemplo, supone para los padres bastante más del doble de esfuerzos y de alegrías que tener sólo uno.

Los sistemas más simples serán entonces los que se compongan de pocas partes que tengan sólo unos cuantos estados y unas cuantas relaciones simples entre las partes. El sistema de cañerías de una vivienda o del termostato de la calefacción pueden servir de ejemplo, ya que tienen una complejidad de detalle y una complejidad dinámica limitadas.

Un sistema muy complejo será entonces el que tenga muchas partes o subsistemas que puedan cambiar a diferentes estados al interactuar unos con otros. Representar este tipo de sistema complejo sería a como buscar la salida por un laberinto que cambiara completamente de forma según la dirección que tomáramos en cada momento. Un juego de estrategia, por ejemplo, el ajedrez, es un juego de complejidad dinámica, ya que con cada nuevo movimiento el tablero se transforma, pues se modifican las relaciones entre las piezas (el ajedrez tendrá a una complejidad dinámica aún mayor si alguna de las piezas tuviera la propiedad de convertirse en otra pieza distinta con cada nuevo movimiento).

La primera lección del pensamiento sistémico es saber si tratamos con una complejidad simple o dinámica, es decir, un puzzle o una partida de ajedrez.

La relación entre las diversas partes de un sistema determina el funcionamiento del mismo, de modo que cada parte, por pequeña que sea, puede influir en el comportamiento del conjunto. Por ejemplo, el hipotálamo, una pequeña glándula del tamaño de un guisante que se encuentra en el centro del cerebro, regula la temperatura del cuerpo, la frecuencia respiratoria, el equilibrio hídrico y la presión arterial. Asimismo, el ritmo cardiaco influye en todo el organismo; cuando se

acelera, nos sentimos ansiosos, excitados o eufóricos, y cuando se lentifica, nos sentimos más relajados.

Todas las partes de un sistema son dependientes entre sí, todas mantienen una interacción recíproca. El modo en que se relacionan unas con otras les da capacidad para influir en todo el sistema. De aquí puede inferirse una regla interesante para influir en los sistemas, en especial en los grupos: cuantas más conexiones tengamos, mayor será nuestra influencia potencial. Crear redes de trabajo aporta influencia. De hecho, las investigaciones sugieren que los directivos de mayor éxito profesional invierten cuatro veces más tiempo en el establecimiento de redes de trabajo que sus colegas menos reconocidos.¹

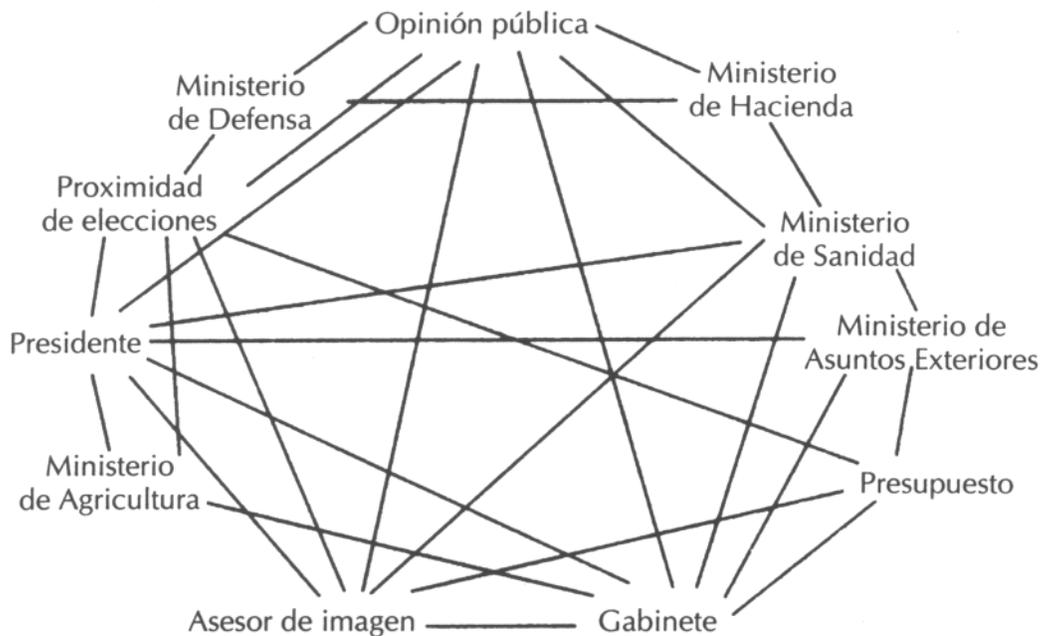
Las diversas partes de un sistema pueden también combinarse para influir en el conjunto. Así, los grupos que forman alianzas introducen diferencias en los gobiernos, las organizaciones y los equipos.

El sistema como una tela de araña

Los sistemas complejos están trabados por muchos vínculos, por lo que suelen ser muy estables. El dicho francés *plus Ça change, plus C'est la même chose* resume muy bien este hecho: lo importante permanece por mucho que cambien las cosas. Es fácil ver por qué ocurre de este modo. Imaginemos un sistema como una tela de araña en la que cada parte está conectada a muchas otras e influye sobre ellas. Cuantas más partes haya, mayor complejidad de detalle tendrá el sistema. Cuanto más cambien de estado las partes y formen alianzas, y cuantas más conexiones haya entre las partes, mayor será la complejidad dinámica del sistema.

¹ Luthans, Paul, *Real Managers*, Ballinger Publishing Company, 1988.

Imaginemos un sistema complejo como una tela de araña. Tomemos como ejemplo algunos de los posibles elementos del gobierno de un país ficticio llamado Distopia (véase la figura). También podríamos considerar que este hipotético sistema representa un negocio, y los diversos elementos serían los distintos métodos de trabajo, las diversas competencias laborales, los mecanismos de remuneración a incentivos y los estilos de gestión. Asimismo podría representar a los miembros de una organización o los factores que participan en una campaña publicitaria, las ideas de una escuela de pensamiento, los miembros de un equipo o de una familia, o las partes del cuerpo.



El gobierno de Distopía

Este sistema se compone de once elementos. Supongamos que el gobierno es estable, que todas las piezas encajan y que el sistema funciona. Los vínculos entre las partes se mantienen firmes. Imaginemos ahora que queremos modificar la forma de elaborar el presupuesto, pero no podemos hacerlo sin tener en cuenta todas las partes con las que se vincula este elemento. La modificación afectará a

las demás partes del sistema con las que está vinculado. Las partes mostrarán resistencia al cambio porque implica que ellas también tendrán que cambiar.

Este es el problema de las reformas políticas. El sistema político es muy complejo y son muchos los políticos que han visto frustradas sus carreras por la resistencia del sistema a cambiara Los nuevos gobiernos heredan una vasta burocracia, conocida por su exceso de cautela. En la famosa comedia televisiva de la BBC Sí, señor ministro se parodiaba la desesperación del ministro Jim Hacker (ascendido posteriormente, por encima de su nivel de competencia, a primer ministro) luchando en vano contra las maquiavélicas artimañas de sus funcionarios. Cada vez que intentaba adoptar una iniciativa o introducir algún cambio, de un modo u otro acababa reforzando el sistema que pretendía modificar. El cuerpo funcional personificaba la resistencia de un sistema complejo a los cambios rápidos (o, más bien, a todo tipo de cambios).

Todo sistema actúa como una fuerte red elástica: si se estira de una pieza hacia fuera se mantendrá en la nueva posición sólo mientras se ejerza presión sobre ella. Tan pronto como se deja de ejercer la presión, volverá, para nuestra sorpresa y enojo, al lugar donde estaba antes. Cuando uno se da cuenta de que esa obstinación es parte del sistema, y no malicia aislada, la resistencia no sólo resulta comprensible, sino inevitable.

Los propósitos de enmienda de año nuevo son un buen ejemplo. Supongamos que tenemos algún hábito que nos gustaría cambiar. Los hábitos, en particular los que no cuentan con nuestra aprobación, son algo que parece «ajeno» a nosotros mismos, algo de lo que podríamos desprendernos sin preocuparnos demasiado. Sin embargo, los hábitos son parte de nuestro sistema de comportamientos. Aunque no nos gusten, están conectados a muchas otras partes de nuestra vida. A pesar de los buenos propósitos del día de fin de año, el hábito seguirá ahí a menos que hagamos un esfuerzo constante por evitarlo. Sentiremos literalmente su presión sobre nosotros. Poner mucho empeño quizá no sirva de

nada. No es el hábito o la conducta concreta lo que tiene tanta fuerza, la resistencia proviene de todas las partes a las que está vinculado. No tiramos sólo de él, tiramos de todos los demás hábitos y experiencias a los que está vinculado. Desde la perspectiva del pensamiento sistémico, nos resultará muy difícil mantener ese tipo de resoluciones.

Estabilidad y efecto palanca

La estabilidad de un sistema depende de muchos factores: el tamaño, la cantidad y diversidad de los subsistemas que abarque, y el tipo y grado de conectividad que exista entre ellos. Un sistema complejo no tiene por qué ser inestable. Muchos sistemas complejos son particularmente estables y, por tanto, resistentes al cambio. Por ejemplo, los distintos partidos políticos pueden alternarse en el poder sin que por ello se socave el sistema democrático. Las familias toleran las discusiones y los desacuerdos sin desmembrarse, y las empresas siguen funcionando aun con discrepancias entre los diversos departamentos. Asimismo, podemos tener lesiones o enfermedades en alguna parte de nuestro organismo y ello no nos impide continuar con nuestra vida normal. Esta estabilidad es muy importante, ya que sin ella nuestra salud fluctuaría sin sentido, la marcha de las empresas no tendría rumbo y cualquier diferencia de opinión amenazaría a nuestras amistades. Así pues, esta estabilidad global es un aspecto positivo, pero no hay duda de que todo tiene su precio, y en este caso el precio es la resistencia al cambio.

En consecuencia, los partidos políticos están en permanente batalla con los funcionarios, y las reformas en constante compás de espera. Las familias pueden no llevarse bien y aun así seguir viviendo juntas. Las nuevas prácticas empresariales suelen encontrar barreras, pues la gente prefiere hacer las cosas como se han hecho siempre. No son los individuos quienes plantean las dificultades, es el propio sistema. Cada vez que se introduce un cambio en

cualquier sistema complejo -una empresa, una familia o nuestra propia manera de proceder- debemos esperar que haya resistencia. No puede haber estabilidad sin resistencia; son las dos caras de una misma moneda.

Con frecuencia, quienes instauran las reformas, sobre todo en el mundo empresarial, cometen el error de presionar y presionar hasta agotar la capacidad de adaptación del sistema. Llegados a ese punto, se produce la ruptura, que siempre va en perjuicio de todos.

Cuando los sistemas cambian realmente, suelen hacerlo de forma rápida y drástica. El muro de Berlín es un buen ejemplo. Desde agosto de 1961 dividí a la ciudad en las zonas Este y Oeste como símbolo indeleble de la hostilidad hacia Occidente por parte del régimen de la Alemania Oriental. Sin embargo, en noviembre de 1989 el régimen se vino abajo y el muro fue derribado por una población enfervorizada que no dudó en acometer la tarea con sus propias manos, en una escena increíble de júbilo y liberación. Había muchas razones políticas y económicas detrás de aquello, no respondí a un proceso simple, pero el acontecimiento decisivo se produjo de manera rápida y espectacular. Al mismo tiempo, distintos gobiernos comunistas que se habían mantenido estables durante décadas empezaron a caer uno tras otro.

Cuando se acumula la presión del cambio en un sistema, puede explotar de repente como un globo. Hay un umbral a partir del cual el sistema sólo podrá cambiar o deshacerse. Si la presión es mucha, bastará con un simple empujón, al igual que una pequeña grieta puede provocar el derrumbamiento de una presa por la presión del agua. Cuanto mayor es la tensión, más fácil es perder los nervios. Es la gota que colma el vaso.

Asimismo, si un sistema se encuentra bajo presión durante un tiempo suficientemente prolongado, puede desplomarse de repente. También es posible que los sistemas cambien de forma repentina si se emprenden las acciones apropiadas. Esto es factible cuando se comprende bien el sistema; es lo que se

denomina el principio de palanca y se trata de algo sencillo. Una vez más, imaginemos un sistema como una tela de araña con muchas partes conectadas. Supongamos que queremos cambiar la posición de una de las partes. Si tiramos de ella directamente, nos parecerá que se resiste, pero es el sistema entero en verdad el que ofrece resistencia. Sin embargo, si cortamos un pequeño vínculo en otro punto del sistema, tal vez logremos liberar la pieza que queremos mover, del mismo modo que desenredamos una maraña de hilos al deshacer sólo un nudo. Es preciso conocer cómo está hecho el sistema para saber cuál es el nudo que hay que deshacer. Hace unos años, Ian trabajaba en una empresa en la que todo el mundo sabía a que si querías hacer algo concreto en un departamento tenías que hablar con la secretaria del jefe de departamento; hablar directamente con los directivos no servía de nada.

El efecto palanca y el cambio repentino tienen que ver también con el grado de homogeneidad en el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y con su forma de reaccionar en situaciones especiales. Los sistemas complejos no siempre tienen un comportamiento continuo. Diremos que el comportamiento de un sistema es continuo cuando actúa de forma predecible con arreglo a una serie de estados. Por ejemplo, si probamos un coche a las distintas velocidades que es capaz de funcionar, podremos tener la certeza de que si funciona bien a 110 km por hora y a 15 km por hora, funcionará también a cualquiera de las velocidades intermedias. No parece previsible que vaya a estropearse de repente a 58 km por hora. Su comportamiento es continuo en el intervalo de velocidades.

Los sistemas vivos y algunos sistemas automáticos, como los programas de ordenador, pueden tener un comportamiento muy distinto. Diremos que un sistema tiene un comportamiento discontinuo cuando ocurre algo raro en una serie determinada de circunstancias especiales. Por ejemplo, cuando el ordenador se queda bloqueado, cuando una persona pierde los nervios o se pone enferma. La posibilidad de que eso ocurra siempre ha existido, pero nunca se han dado esas circunstancias específicas en las pruebas, el sistema es demasiado complejo

para controlar todas las variables. Dos aplicaciones de software que funcionen perfectamente por separado tal vez no lo hagan en combinación y provoquen el bloqueo del ordenador. Dos profesionales excelentes por separado pueden ser un completo desastre al trabajar juntos.

Los medicamentos son otro ejemplo. Antes de sacarlos al mercado, es preciso someterlos a estrictas pruebas durante un período de tiempo largo. Aun así, muchos fármacos tienen reacciones adversas en combinación con otros o efectos secundarios que tardan años en manifestarse. La presencia en el organismo de otro medicamento o la duración prolongada del tratamiento (o ambas cosas) constituyen la serie determinada de circunstancias especiales. Cuanto más complejo es un sistema, menos fiables son las tomas de muestras para predecir posibles efectos.

El proceso es el mismo cuando perdemos los nervios. Por ejemplo, supongamos que hemos tenido un día espantoso, todo ha sido un desastre y no podemos evitar el mal humor. Nos sentimos bajo presión. Entonces, ocurre algo trivial: un conductor comete una infracción o alguien hace una observación que nos molesta. Es la última gota que colma el vaso, y montamos en cólera.

Con todo, también hay buenas noticias (¡cómo no!). Si el fallo del sistema se da en circunstancias que parecen insignificantes, también pueden producirse otros cambios más positivos con poco esfuerzo. El cambio resulta sorprendentemente fácil si identificamos las conexiones apropiadas. No significa que debamos apuntalar la presión, sino saber *dónde* intervenir para obtener un gran resultado con un pequeño esfuerzo. Esto es el *efecto palanca*.

¿Cómo se aplica la idea del efecto palanca? En lugar de malgastar energía en tirar o empujar directamente, lo cual no sólo nos dejaría agotados a nosotros, sino también al sistema, hemos de formular la pregunta sistémica clave: *¿Qué es lo que, frena el cambio?*

Observemos las conexiones que sujetan la parte que queremos mover. Procedamos a cortarlas o a soltarlas y el cambio resultará fácil. Este es el principio clave del pensamiento sistémico.

Algunas partes del sistema son más importantes que otras, es decir, ejercen un mayor grado de control. Por ejemplo, tener una lesión en la cabeza es más peligroso que tenerla en la pierna, porque el cerebro tienen un nivel de control sobre el organismo superior al de la pierna. En el ámbito de la empresa, cuando se introduce un cambio en la casa central, sus efectos se ramifican por todas las filiales. Es poco probable que el cambio de un directivo en una sucursal tenga algún efecto en la política global de la empresa, aunque pudiera ser, pues los sistemas complejos están llenos de sorpresas. No obstante, por regla general, cuanto más alto es el nivel de control de la parte en la que se efectúa el cambio, más se extienden y ramifican sus efectos.

Efectos secundarios

Esto nos lleva a otra consecuencia de la conectividad de las piezas de un sistema. Cuando cambiamos una parte, la influencia se propaga como las ondas de una piedra al tirarla a un estanque. Cualquier modificación que hagamos afectará a otras partes del sistema que, a su vez, afectarán a otras alejadas ya del cambio original.

Al manejar un sistema no podemos nunca hacer sólo una cosa.

Los medicamentos vuelven a servirnos de ejemplo. Todos los fármacos tienen efectos secundarios, lo importante es si se trata de efectos manifiestos y, en tal caso, el grado de molestia o de riesgo en comparación con sus efectos beneficiosos. Los antibióticos, por ejemplo, son muy eficaces contra las infecciones por bacterias. Las molestias estomacales que producen (pues matan

también las bacterias naturales y beneficiosas que se generan en el intestino) suelen ser un mal menor.

En ocasiones, los efectos secundarios de los fármacos se manifiestan años después del tratamiento, y resulta difícil establecer la relación causa-efecto. Por ejemplo, los corticoides se utilizan para tratar una gran diversidad de enfermedades: procesos inflamatorios, asma, eccema y artritis. Sin embargo, también causan debilidad muscular, elevación del nivel de azúcar en sangre, diabetes, retención de líquidos, insomnio, cambios del estado anímico, problemas menstruales y osteoporosis, según viene especificado en la publicación oficial *Physician's Desk Reference*. Cuanto más eficaz es un medicamento, más probabilidades hay de que tenga efectos secundarios.

A veces, no obstante, los efectos secundarios se pueden utilizar en otro contexto. Por ejemplo, la aspirina, además de ser un potente analgésico, tomada en grandes cantidades tiene el efecto secundario de ser anticoagulante. Es por tanto un remedio económico, fácil de adquirir y conocido, que se utiliza mucho en la actualidad para prevenir los infartos en pacientes que hayan sufrido previamente algún ataque de corazón o en los que tienen problemas de vasoconstricción. Aun así, la aspirina tiene otros efectos secundarios negativos: molestias estomacales, náuseas y, en ocasiones, reacciones alérgicas y anemia, ya que reduce la absorción de vitaminas y minerales esenciales, sobre todo del hierro.

Somos muy cautelosos con los fármacos, pero no tanto con sus equivalentes aplicados al medio ambiente: los pesticidas y otros productos químicos. El ejemplo más deplorable es el del insecticida DDT. Su invención data de 1939 (a su descubridor le concedieron el premio Nobel) y los agricultores lo utilizaron como insecticida. Por ser especialmente eficaz contra los mosquitos sirvió también para impedir la propagación de la malaria. Sin embargo, hacia 1950 había ya pruebas claras de que el DDT era tóxico para muchos animales. Hacia 1970,

cuando empezó a controlarse su uso, ya había llegado a la cadena alimentaria y fue detectado en tejido humano.

Tampoco era eficaz como insecticida a largo plazo. Al principio, los insectos ingerían el DDT, pero los insectívoros (animales que se alimentan de insectos) se comían después a los insectos envenenados. Cuando los insectívoros empezaron a morir, la población de insectos (que ya empezaba a ser inmune al DDT) aumentó, de modo que, paradójicamente, en lugar de disminuir se hizo más numerosa.

Conviene tener en cuenta que en la actualidad hay más de 65.000 productos químicos que se comercializan de forma regular, y cada día salen al mercado cinco más. El ochenta por ciento de estos productos no han pasado pruebas de toxicidad.² Sus efectos secundarios se van descubriendo con el paso del tiempo, en perjuicio de todos nosotros. pues, otro principio del pensamiento sistémico es:

Hay que contar con los efectos secundarios.

Tal vez sean sorprendentes, o desagradables, pero si conocemos el sistema podremos predecir sus efectos y modificarlo para obtener efectos positivos y reducir en lo posible los negativos. O bien podremos acometer un cambio positivo como efecto secundario de otro cambio aplicando el principio de palanca.

Por ejemplo, conocemos a una familia en la que uno de los hijos, un chico de 10 años que se llama Tom, empezó a tener problemas en el colegio. Se pegaba con otros niños en el patio y era muy propenso a las peleas. En el aula demandaba la atención del profesor de forma exagerada. Hablaron con los padres y se decidió que la familia debía recibir orientación psicológica. Después de unas cuantas

² World Commission on Environment and Development, Our Common Future, Oxford University Press, 1987.

sesiones, resultó que el punto de palanca se encontraba en la actitud de los padres respecto a la disciplina. En su educación tendí a establecer límites poco rígidos porque querían fomentar en su hijo la confianza en sí mismo y la capacidad de descubrir las cosas por sí solo. Estaban convencidos de que los límites resultan mucho más eficaces y adecuados cuando se establecen mediante un proceso de interiorización, y no por imposición. Este enfoque funcionó muy bien con el hermano mayor de Tom. Sin embargo, Tom necesitaba que las fronteras estuvieran muy bien definidas. Necesitaba que le dijeran exactamente lo que debía hacer. Sin saber con claridad dónde se situaban los límites, se sentía inseguro y se empeñaba en llevar las cosas hasta el extremo para descubrir dónde estaban.

Como prueba, y con el respaldo del terapeuta, los padres empezaron a dar muchas directrices a Tom. Después de unas cuantas semanas difíciles, el niño empezó a responder. Empezó a mostrarse mucho más relajado, dejó de enzarzarse en peleas y trabajaba en clase de forma más autónoma. Paradójicamente (otra vez esta palabra), los padres consiguieron el resultado que buscaban haciendo exactamente lo contrario. Los efectos pasaron de Tom a sus padres, a su hermano mayor y al colegio. El profesor de Tom dejó de estar en tensión y toda la clase estuvo mucho más a gusto.

En este ejemplo, nadie tenía la culpa ni deseaba la situación inicial. Todos estaban de acuerdo en que había que cambiarla, pero ¿de qué modo? La medida adoptada se aplicó indirectamente a Tom y directamente a las convicciones de sus padres. Cuando ellos empezaron a actuar de forma distinta, Tom cambió también de actitud.

Veremos cómo con frecuencia el punto crucial para el efecto palanca en un sistema se sitúa en las convicciones de las personas que lo forman, porque el propio sistema se sustenta en las convicciones.

Pensamiento en círculos

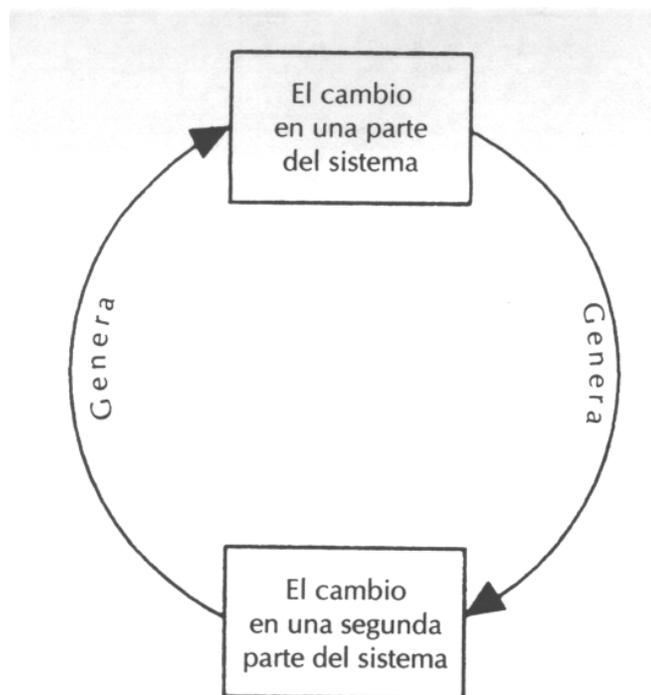
Bucles de realimentación: la esencia de los sistemas

El pensamiento sistémico es un pensamiento en círculos más que un pensamiento en líneas rectas. Todas las partes de un sistema están conectadas directa o indirectamente, de modo que al cambiar una de las partes el efecto se propaga a todas las demás, que experimentan un cambio y, a su vez, terminan afectando a la parte original. Entonces, la parte original responde a esa nueva influencia. Así pues, la influencia vuelve modificada a la parte original, lo que genera un bucle, no un canal de una sola dirección, que se denomina bucle de realimentación. Cuando dos partes están conectadas, la influencia se transmite en las dos direcciones; igual que una línea de teléfono: del mismo modo que llamamos por teléfono a un amigo, este amigo nos puede llamar a nosotros. Diremos que la realimentación es, por tanto, una reacción del sistema que se regenera en forma de estímulo o la información devuelta que influye en un paso siguiente.

Nuestra experiencia está hecha de bucles de realimentación, a pesar de que generalmente creemos que la influencia tiene una sola dirección. Vamos a hacer un experimento. Pongamos lentamente la yema del dedo índice sobre el punto que hay al final de esta oración. Acabamos de demostrar lo que es un bucle de realimentación. ¿Todavía no se lo creen? Vamos a hacerlo otra vez, pero ahora con los ojos cerrados. Imposible. Para acertar, necesitamos que los ojos nos den una información constante sobre la posición de la yema del dedo respecto al punto. En fracciones de segundo, realizamos pequeños ajustes continuos hasta llegar a tocar la página. Podríamos comprobarlo con fotografías a alta velocidad. Al cerrar los ojos obtenemos la prueba de que la yema del dedo no va directa al punto como una flecha al ser disparada por el arco. Con la vista medimos de

forma constante la posible diferencia entre la yema del dedo y el punto de la oración, y los músculos actúan en consonancia para reducir esa diferencia. El experimento es el mismo si intentamos dar a una pelota con un bate o un palo cualquiera. Si cerramos los ojos antes de dar a la pelota, aunque lo hagamos muy deprisa, comprobaremos que no es lo mismo que con los ojos abiertos. Los entrenadores no cesan de repetir: « ¡No pierdas de vista la pelota! > . La única forma de recibir la realimentación necesaria para dirigir nuestras acciones es mediante los sentidos: la vista, el tacto, el gusto, el olfato y el oído.

Todos experimentamos la realimentación como la consecuencia de nuestros actos que vuelve a nosotros e influye en lo que hacemos a continuación. El término « realimentación», *feedback* en inglés, suele utilizarse con el significado de «respuesta», pero lo importante es que se trata de un retorno de los efectos de una acción que influye en un siguiente paso, esto es, un vínculo de dos direcciones. La realimentación es un bucle, por eso el pensamiento, en función de la

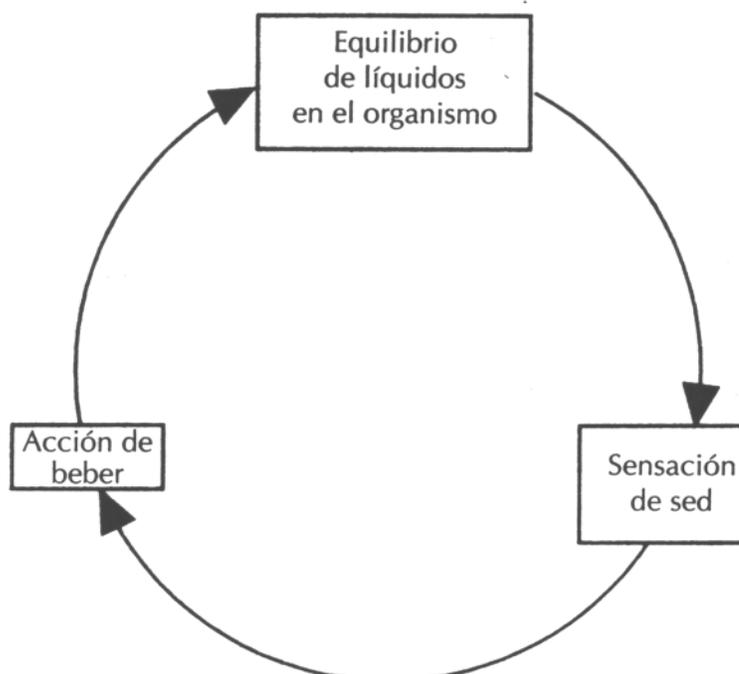


Bucle de realimentación

realimentación, es un *pensamiento en círculos*.

Suele decirse, con cierto eufemismo, que la crítica es < realimentación > , pero sólo puede definirse así cuando genera un cambio en la persona criticada. La revisión anual del rendimiento laboral sólo será realimentación cuando genere un cambio en la forma de trabajo del individuo, bien en forma de motivación que le lleve a dar mejores resultados, bien en forma de desánimo que le lleve a adoptar una actitud de indiferencia.

La sed es un buen ejemplo de realimentación. Pensemos en lo que ocurre cuando nos damos cuenta de que tenemos sed. Primero tenemos una sensación de insatisfacción; vamos entonces a por un vaso de agua. Según la estamos

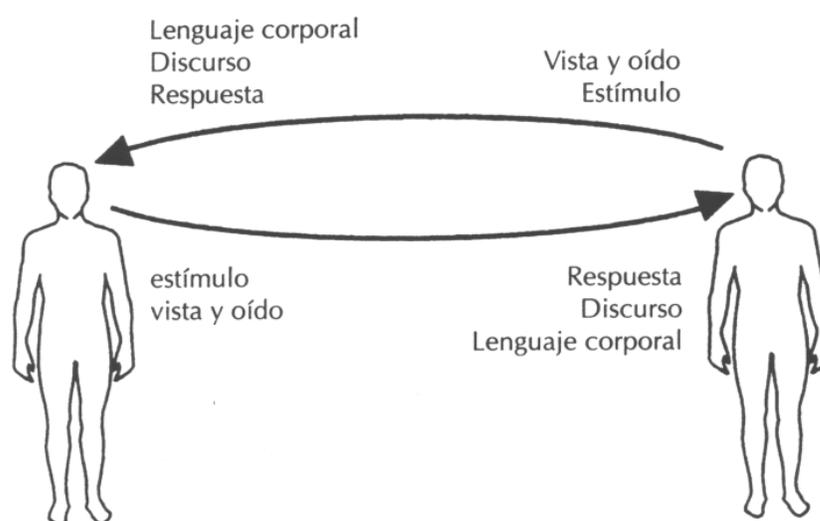


Bucle de Realimentación en la red

bebiendo, sentimos menos sed y bebemos entonces menos agua. Seguimos bebiendo hasta que estamos satisfechos; en ese momento dejamos de beber. Es decir, la sed influye en la cantidad de agua que bebemos, y la cantidad de agua que bebemos influye en la sed. Pensamos que se trata de una sola acción, pero si

lo pensamos con más detenimiento veremos que es un bucle. Sería a una sola acción si supiéramos de antemano exactamente la cantidad de agua que tenemos que beber para calmar nuestra sed, y después la bebiéramos. El hambre funciona de la misma manera. Comemos hasta que nuestro apetito está satisfecho. Las sensaciones de hambre y de sed son bucles de realimentación dentro de un solo sistema: cada uno de nosotros.

Pensemos ahora en una conversación entre dos personas e imaginemos que asistimos a ella a cámara lenta y observamos lo que ocurre momento a momento. Uno de los dos piensa en lo que va a decir y luego lo dice. El otro escucha las palabras, que estimulan sus propios pensamientos, y responde. El primero responde a la respuesta del segundo. Cada respuesta se emite a través de la boca y del lenguaje corporal, y el discurso y lenguaje corporal de uno de los dos sirve de estímulo para el otro y lo recibe a través de la vista y el oído. La respuesta del primero se convierte en el estímulo del segundo, influyendo al mismo tiempo en la respuesta del segundo, que pasa a ser el estímulo del primero... Y así se va sucediendo la conversación. El receptor sabe qué decir después de escuchar al emisor. Cualquier persona que se limite a hablar a los demás haciendo caso omiso de la respuesta de los otros, interesado únicamente en el sonido de su



Bucle de realimentación en la comunicación

propia voz, resulta aburrida; suele ocurrir que acaba hablando sola sin nadie que quiera escucharla.

La realimentación es tan importante para nuestras vidas que cuando no la recibimos nos la inventamos. Así, si un amigo me dice que me va a llamar y no me llama, consideraré la ausencia de la llamada como realimentación y deduciré que no se preocupa por mí, que no soy importante para él. Es imposible no comunicarse ya que aun la falta de comunicación la consideramos como realimentación, porque forma parte de nuestra experiencia.

Un ejemplo más, esta vez el sistema somos cada uno de nosotros con nuestra bicicleta. Primero, tenemos que pedalear. Si nos quedamos sentados sin pedalear nos caemos. A medida que nos movemos, nuestra vista y nuestro sentido del equilibrio nos proporcionan realimentación, y alternamos continuamente el peso de nuestro cuerpo para mantener el equilibrio y movernos hacia delante. Los buenos ciclistas avanzan en línea recta, pero un principiante avanza haciendo eses porque no responde tan rápidamente a la realimentación y reacciona en exceso. Cuanto más aprendemos a ir en bicicleta, menos eses hacemos porque aprendemos a responder con más rapidez y a calcular mejor nuestra reacción. La vista y el sentido del equilibrio nos dan el estímulo y nosotros emitimos la respuesta mediante los músculos de los brazos y las piernas. Esta respuesta (el movimiento de los músculos) cambia el estado del sistema (el aprendiz más la bicicleta) y genera así un nuevo estímulo (estabilidad y dirección).

El principio de la realimentación resulta tan simple, tan omnipresente, que constantemente vivimos y respiramos bucles de realimentación sin reparar en ellos. Cuesta valorar hasta qué punto son importantes.

Asimismo, hay también bucles de realimentación en el funcionamiento de las máquinas que construimos. La realimentación es el principio por el cual las máquinas pueden funcionar sin intervención humana. Las máquinas cuyo funcionamiento se basa en circuitos de realimentación son más potentes, más

fáciles de controlar y no precisan la supervisión constante de un ser humano. La máquina de vapor, por ejemplo, revolucionó la tecnología que existía en su momento, dio un nuevo ímpetu a la tecnología industrial y cambió nuestras vidas y los métodos de trabajo. Hoy los circuitos electrónicos de realimentación dominan la revolución de la información, son la fuerza motriz de los ordenadores y de todos los dispositivos basados en la tecnología de los microchips, desde las lavadoras hasta los misiles.

Para ver un sencillo dispositivo de uso cotidiano con realimentación mecánica, sólo tenemos que trasladarnos a nuestro cuarto de baño. El flotador de la cisterna del inodoro mantiene el agua en un nivel constante. El principio es muy simple: hay un balón grande y hueco que flota sobre el agua y está conectado mediante una serie de palancas a una válvula que, al abrirse, permite la entrada de agua. Al tirar de la cadena, se abre otra válvula que da salida al agua de la cisterna, entonces el nivel de agua baja y con él el flotador. La caída del flotador levanta la primera válvula, con lo que la cisterna vuelve a llenarse de agua. Cuando la cisterna está llena, el nivel de agua se eleva y con él el flotador. A medida que se eleva el flotador se cierra la entrada de agua, de modo que cuando se encuentra en su tope superior, la válvula de entrada está ya completamente cerrada. Un sistema muy similar es el que controla el flujo de combustible en un coche desde el carburador hasta el motor. La presión del acelerador con el pie controla la válvula, aunque también puede hacerse mediante el mecanismo de control automático, que tiene un dispositivo de realimentación más complejo.

El termostato de una casa es otro dispositivo típico de realimentación. Fijamos la temperatura en el nivel que deseamos. Ese será el «objetivo» del sistema. Si el termómetro detecta que la temperatura ambiente ha descendido de ese nivel, establece entonces una conexión con la caldera, que producirá entonces más calor y elevará la temperatura. Tan pronto como el termómetro registre la respuesta de un aumento de temperatura, se rompe la conexión y la caldera se apaga. Es decir, nosotros fijamos el nivel adecuado, y el sistema hace el resto.

Con un sistema como el que hemos descrito no se puede controlar el aumento de la temperatura en verano; para ello necesitamos otro termostato que active el aire acondicionado cuando la temperatura ambiente de la casa sea demasiado alta.

¿Se han fijado en que cuando abrimos la puerta de la nevera suele dispararse el motor? Eso ocurre porque la puerta abierta permite la entrada de aire más caliente. Al calentarse ligeramente el interior de la nevera, el termostato reacciona y activa el motor para enfriar el aire.

También nosotros tenemos nuestro propio termostato interior: un mecanismo bastante más complicado que mantiene constante la temperatura interna del cuerpo. El cuerpo fija el «objetivo» en 37 °C, y es imposible cambiarlo. Cuando tenemos calor, ocurren varias cosas. Empezamos a sudar, con lo que perdemos calor por evaporación a través de la piel. También los vasos sanguíneos más próximos a la piel se dilatan para que llegue a la superficie una mayor cantidad de sangre y el calor pase al exterior. Estas dos reacciones están fuera de nuestro control consciente, son bucles automáticos de realimentación presentes en el organismo. El cuerpo humano tolera únicamente una variación muy pequeña en cualquiera de los dos mecanismos que regulan nuestra temperatura interna.

Realimentación de refuerzo

La realimentación es fundamental en cualquier sistema; sin realimentación, no hay sistema.

Los bucles de realimentación son básicamente de dos tipos:

- El primer tipo es el de *realimentación de refuerzo*: cuando los cambios registrados en todo el sistema se realimentan para amplificar el cambio original. Dicho de otro modo: el cambio recorre todo el sistema produciendo más cambios en la misma dirección.

- El segundo tipo es el de *realimentación de compensación*, que se da cuando los cambios registrados en todo el sistema se oponen al cambio original para amortiguar el efecto.

Todos los sistemas, por muy complejos que sean, constan únicamente de estos dos tipos de bucles de realimentación.

Examinemos en primer lugar la realimentación de refuerzo. Con frecuencia se denomina «positiva» a este tipo de realimentación, pero es una denominación poco acertada ya que, por un lado, es posible confundirla con la alabanza, y por otro, da la impresión de que se trata de una realimentación buena. En realidad esta realimentación puede ser buena o un desastre si lleva al sistema a una espiral en la que se pierda totalmente el control, según lo que se amplifique con ella. Para evitar confusiones, aquí la denominaremos en todo momento realimentación «de refuerzo».

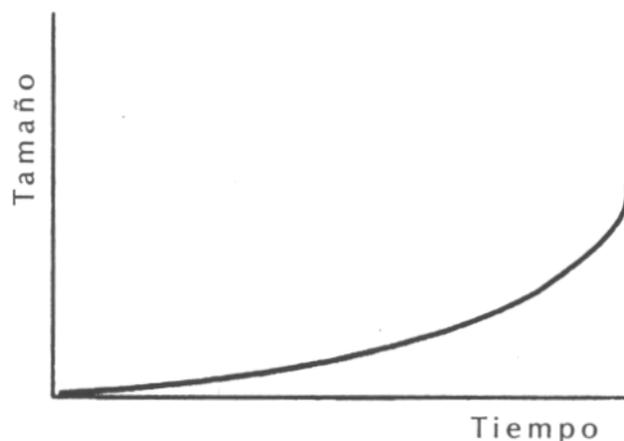
La realimentación de refuerzo dirige el sistema en la dirección que leve. Puede favorecer su crecimiento o su declive, según el estado de partida. La recompensa es parte de un bucle de realimentación de refuerzo si conduce a un incremento del mismo comportamiento. La recompensa adopta la forma de regalos, dinero, aliento, atención o incluso una sonrisa. La acción, la recompensa y la repetición de la acción forman el bucle de realimentación de refuerzo. La recompensa por sí sola no es realimentación de refuerzo, a menos que dé como resultado más de lo mismo.

Pensemos en una bola de nieve rodando por una colina. A medida que baja va cogiendo más nieve y cuanto más grande se hace más nieve tiene, hasta que se convierte en un alud.

¿Sabí a usted que su cuenta bancaria es un sistema? En una cuenta de ahorro se produce la realimentación de refuerzo. Supongamos que ponemos 200.000 pesetas en una cuenta de ahorro a un interés anual del 10 por ciento. El primer

año obtendremos unos dividendos de 20.000 pesetas que, sumados al capital inicial, harán un total de 220.000 pesetas. El segundo año, volverá a incrementarse el 10 por ciento sobre esa cantidad: 22.000 pesetas, con lo que nuestro capital pasará a ser 242.000 pesetas. Al año siguiente los dividendos serán aún mayores. Cuanto mayor sea el capital, mayores serán los dividendos, que, a su vez, volverán a incrementar el capital. Si seguimos con este mismo ejemplo, sólo al cabo de siete años, el capital inicial se habrá más que duplicado. Cada siete años volverá a duplicarse, de modo que un depósito de 200.000 pesetas el día en que nacemos se habrá convertido en más de 2.800.000 pesetas cuando cumplamos 21 años. La realimentación de refuerzo constante lleva a un crecimiento exponencial, el incremento es proporcional a lo que ya hay, con un tiempo de duplicación constante.

Para ilustrar la realimentación de refuerzo nos serviremos de la imagen de la bola de nieve:



Realimentación de refuerzo: crecimiento exponencial

Crecimiento exponencial: acertijos



- 1 Imaginemos que doblamos un papel por la mitad de modo que adquiere el doble de grosor. ¿Qué grosor llegaría a alcanzar si pudiéramos doblar el mismo papel otras cuarenta veces?



- 2 Somos los propietarios de un estanque. En una de las esquinas del estanque empieza a crecer un pequeño nenúfar. Cada día que pasa el nenúfar se duplica de tamaño. Empieza siendo muy pequeño, pero al cabo de 30 días, nos damos cuenta de que el nenúfar cubre la mitad del estanque. No queremos que llegue a cubrir el estanque entero porque entonces no dejaría sitio para otras plantas, pero estamos demasiado ocupados y decidimos dejarlo ahí hasta más adelante. ¿Qué pasará?



- 3 Dice la leyenda que el juego del ajedrez fue inventado hace miles de años en Oriente como pasatiempo para un rey. Como premio, el inventor del

juego pidió al rey una recompensa: un grano de arroz por el primer cuadrado del tablero, dos por el segundo cuadrado, cuatro por el tercero y así siguió doblando el número de granos hasta llegar al último cuadrado. El tablero de ajedrez tiene 64 cuadrados. El rey sabía que poseía en su reino cientos de silos de arroz y decidió aceptar la propuesta. ¿Fue acertada la decisión del rey?

Respuestas en la página 152.

La población y el crecimiento exponencial

El crecimiento de la población es exponencial si no se produce ningún otro cambio. A mediados del siglo XVII, la población mundial se situaba cerca de los quinientos millones de personas. Estaba creciendo, y si la tasa de crecimiento se hubiera mantenido constante, en 150 años se habría duplicado.

Doscientos cincuenta años más tarde, a principios del siglo XX, superaba los mil quinientos millones de personas y el tiempo de duplicación era ya de 140 años. La tasa de crecimiento aumentaba debido al descenso de las tasas de mortalidad. En 1991, la población mundial era casi de cinco mil quinientos millones de personas, los índices de natalidad habían descendido a una velocidad ligeramente superior a la de las tasas de mortalidad durante los 20 años anteriores y la tasa de crecimiento de la población se situaba en 1,7 por ciento. Incluso una tasa de crecimiento tan pequeña supone un enorme incremento en el número de personas al ser tan numerosa la base de población (supone un aumento anual de 92 millones de personas, lo que equivale a un incremento de 250.000 personas diariamente).

Mientras la fecundidad sea superior a la mortalidad, es decir, mientras el índice de natalidad sea superior a la tasa de mortalidad, el crecimiento de la población será exponencial. Cuando la fecundidad es igual a la mortalidad, la cantidad de personas se mantiene estable, es decir, cada año nace y muere el mismo número de personas. Cuando la mortalidad es superior a la fecundidad la población disminuye. En todas las poblaciones es así.

Estrategia y conducción de los contenidos y procesos

De enseñanza aprendizaje en el Sistema Modular

Salvador Andrade

UAM - X

Los índices de natalidad y mortalidad no son constantes en todo el mundo; en algunos países la población va en aumento, en otros va en descenso y en otros se mantiene estable. El crecimiento mundial de la población es el resultado conjunto de todas esas cifras. Según los últimos informes, parece bastante probable que la población mundial alcance la cifra máxima de diez mil quinientos millones de personas en el año 2080 y después empezará a disminuir.' Esta previsión presupone el mantenimiento de las tendencias actuales: el índice de natalidad está disminuyendo en todo el mundo y la esperanza de vida en el Tercer Mundo aumenta a un ritmo de sólo un año por decenio.

Recapitemos: la realimentación de refuerzo conduce a cambios en la misma dirección que el cambio inicial. Cuando el cambio inicial lleva una dirección favorable, se produce un gran beneficio. Pero ¿qué ocurre si el cambio inicial no es favorable? La realimentación de refuerzo puede llevar tanto a un círculo vicioso como a una cadena de acontecimientos positivos.

Tomemos el ejemplo de una cuenta de ahorro o cualquier inversión de capital. Cuando la inversión es positiva, el bucle de refuerzo genera más riqueza, de modo que podemos invertir más. Si no hay inversión, no hay cambio. Pero si debemos dinero, la deuda aumentará a gran velocidad. Si contraemos con una tarjeta de crédito una deuda de 200.000 pesetas con un índice de crecimiento anual del 20 por ciento, por ejemplo, al final del primer año nuestra deuda habrá aumentado a 240.000 pesetas y a 288.000 pesetas al final del segundo año. Al cabo de cuatro años, la deuda se habrá duplicado, y volverá a duplicarse cuando transcurran cuatro años más. El crecimiento exponencial implica un tiempo de duplicación constante, cualquiera que sea la cantidad.

La realimentación de refuerzo no siempre lleva a un crecimiento exponencial explosivo, pero sí amplifica siempre un cambio en la misma dirección. La comunicación a veces adopta bucles de realimentación de refuerzo. Cuando se

inicia en términos amistosos es como meter dinero en una cuenta. Los buenos sentimientos dominarán la situación y las dos personas disfrutarán del encuentro. La confianza mutua genera más confianza. Un encuentro neutro es como una cuenta vacía, tiende a mantenerse neutro; pero si la comunicación se inicia con mal pie, la situación puede echarse a perder en breve. La desconfianza mutua puede funcionar como un bucle de realimentación de refuerzo. Así, cuando unas personas desconfían de otras, hay más probabilidades de que haya

Metáforas sobre la realimentación de refuerzo

¿Ha escuchado o pronunciado alguna vez alguno de estos dichos? Normalmente, indican que se está produciendo un bucle de refuerzo:

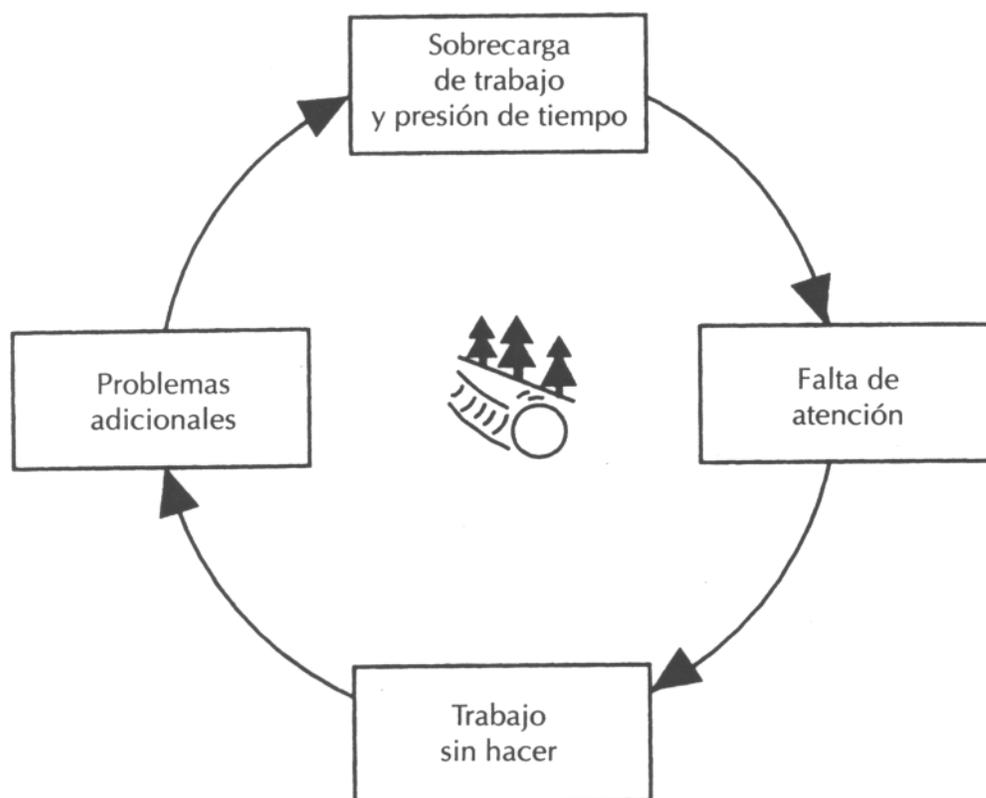
- Estar en la cresta de la ola.
- Subirse al carro.
- Cuesta abajo y sin frenos.
- Caer en el olvido.
- De aquí al cielo.
- Un billete al paraíso.
- Una vez al año no hace daño.
- Ir in crescendo.
- Pisar terrenos resbaladizos.
- Cada vez se pone la cosa mejor (peor).
- Crecer como una bola de nieve.

Pero no olvidemos que nada es eterno.

malentendidos y, después, las personas implicadas se sentirán con derecho a tomarse la revancha. Si el bucle de refuerzo no encuentra ningún freno, puede llevar a una escalada de violencia y hostilidad mutua entre personas o incluso a guerras entre naciones.

Otro ejemplo de realimentación de refuerzo que desencadena efectos beneficiosos es el progreso en el aprendizaje y la adquisición de conocimientos. Aunque el proceso de conocer es intangible, también está dirigido por un bucle de realimentación de refuerzo. Cuanto mayor es el conocimiento, más aprendemos, pues podemos establecer más conexiones con lo que ya sabemos y, así, más ampliamos y profundizamos nuestros conocimientos.

Pongamos ahora un ejemplo de círculo vicioso: un ejecutivo sobrecargado de trabajo que no consigue concentrarse en un proyecto. La falta de concentración le lleva al error y a tener que repetir la labor, con lo que aumenta la sobrecarga de trabajo....



La presión de tiempo como bucle de realimentación de refuerzo

Realimentación de compensación

Nada es eterno. Tarde o temprano aparece el segundo tipo de realimentación y

Ejemplos de realimentación de refuerzo

He aquí una lista de ejemplos de realimentación de refuerzo. Seguro que a usted se le ocurren muchos otros.

- espíritu de equipo
- cáncer
- paranoia
- ruido de realimentación de un amplificador
- crecimiento de las células vivas
- crecimiento de la población
- dividendos de una cuenta de ahorros
- deudas bancarias
- aprendizaje
- conocimiento
- poder
- rumores
- correspondencia en cadena
- confianza en uno mismo
- epidemias
- reacciones nucleares
- ataques de pánico
- arrecifes de coral
- recompensa

frena el crecimiento. Este tipo se denomina *realimentación de compensación*; se opone al cambio. Se produce un bucle de realimentación de compensación cuando los cambios en una parte del sistema generan cambios en el resto del sistema que reducen, limitan o contrarrestan el cambio inicial. Son los bucles que presentan resistencia al cambio y mantienen estable el sistema; sin ellos la realimentación de refuerzo acabaría a por romperlo.

En ocasiones se denomina «negativa» a la realimentación de compensación, pero se trata de una denominación confusa por dos motivos. En primer lugar, suele decirse que la crítica es la «realimentación negativa», y en segundo, la calificación de «negativa» sugiere que es perjudicial. La realimentación de compensación no es en sí misma ni mala ni buena, indica simplemente que el sistema se resiste al cambio. Esto puede ser un obstáculo o una ventaja, depende de lo que queramos hacer. Si lo que queremos es cambiar un sistema complejo, la realimentación de compensación aparecerá como «resistencia». Si lo que queremos es mantener estable el sistema, aparecerá como «estabilidad» .

En nuestro organismo hay innumerables bucles de realimentación de compensación. Por ejemplo, la temperatura del cuerpo, que se mantiene estable. Una pequeña parte del cerebro denominada hipotálamo actúa como termostato del organismo. Cuando detecta una diferencia entre la temperatura que tenemos y la que deberíamos tener, activa los mecanismos que reducen esa diferencia. Gracias a otros bucles de refuerzo, el pulso, la presión arterial y la temperatura corporal se mantienen estables frente a los agentes externos; si no hubiera dependencia entre estos elementos, nos moriríamos.

Se establece un bucle de realimentación de compensación cuando surge alguna diferencia entre el estado del sistema en un momento dado y lo que el sistema necesita para equilibrarse. En este libro, utilizaremos el dibujo de una balanza para representar los bucles de realimentación de compensación:



La mayoría de los ejemplos que hemos mencionado en las páginas 57-64 son bucles de realimentación de refuerzo. La sed es una señal de que ha surgido una diferencia entre la necesidad de líquido del organismo y el líquido presente en un momento dado. Bebemos para reducir esa diferencia y volver a equilibrar el sistema. Al montar en bicicleta, cuando detectamos mediante la vista y los músculos que hay una diferencia demasiado grande entre donde estamos y donde queremos estar, movemos los brazos y las piernas para reducir esa diferencia.

La realimentación de compensación persigue un objetivo. Todos los sistemas tienen bucles de realimentación de compensación para mantenerse estables, por tanto, todos los sistemas tienen un objetivo, aunque sólo sea el de seguir como están.

La realimentación de compensación conduce el sistema hacia su objetivo. Una vez alcanzado, el bucle dejará de funcionar y el sistema se mantendrá en reposo o en estado de equilibrio.

La realimentación de compensación sirve también para reducir la diferencia entre dónde está un sistema y dónde «debería» estar. Siempre que haya diferencia entre el estado actual del sistema y el estado deseado, la realimentación de compensación desplazará el sistema en la dirección del estado deseado. Cuanto más cerca del objetivo se encuentre el sistema, menor será la diferencia representada por la realimentación y menor será el desplazamiento del sistema.

En consecuencia, todo sistema necesita una forma de medición; de lo contrario, no habría manera de saber la diferencia entre dónde se está y dónde se debería estar. Todo sistema necesita medir esa diferencia con exactitud, si no se correrá el riesgo de activar los bucles de realimentación cuando no fuera necesario. Por ejemplo, si el termómetro de un termostato da lecturas imprecisas en unos cuantos grados, la caldera se activará con una temperatura errónea. En el salpicadero del coche de Joseph hay una serie de indicadores luminosos de

advertencia. Hace unos meses, se encendió la luz del freno y en el manual decía que cuando ocurre eso significa que hay que revisar los frenos inmediatamente. Cuando Joseph llevó el coche al taller, resultó que los frenos funcionaban perfectamente y lo que se había estropeado era el mecanismo electrónico de medición; se había encendido el indicador de que los frenos estaban mal, y no era así.

Por otra parte, el sistema de medición debe medir con el grado de precisión apropiado para que el sistema funcione. Por ejemplo, si el termómetro de un termostato midiera los grados en centésimas, la caldera se encendería y se apagaría a cada pocos minutos, ya que la temperatura cambia imperceptiblemente cada vez que una persona entra o sale de una habitación. Si, por el contrario, el termómetro registrara únicamente los aumentos de temperatura en cinco grados, pasaríamos bastante frío o hasta que llegara a encenderse la caldera. Todo sistema requiere una medición con el grado adecuado de precisión. En la comunicación, todos conocemos a personas cuya receptividad es tan tosca que, haciendo caso omiso de nuestros bostezos y expresiones de somnolencia, siguen enseñándonos el sexto álbum de las fotos que se hicieron el verano pasado. Hay también personas tan hipersensibles que se toman como un reproche cualquier observación o se ofenden porque dejemos de prestarles atención durante unos segundos.

La comunicación encierra siempre un objetivo, aun cuando no seamos conscientes de él; de lo contrario nuestros actos serían sencillamente aleatorios. En todos nuestros actos hay alguna finalidad, por muy trivial que sea, desde el micronivel de levantar un dedo al macronivel de planificar la vida. Puede que no seamos conscientes de nuestros objetivos, que los cambiemos o que no los alcancemos, pero están siempre ahí. Cualquier conversación tiene alguna finalidad, aunque sólo sea la de pasar el rato de forma agradable. Elegimos nuestras respuestas teniendo esto en mente. A veces tenemos una finalidad bien definida: venderle algo a alguien, convencerle de nuestro punto de vista o dejarle

hacer lo que quiera. Elegimos nuestras palabras y nuestros actos en función de nuestra finalidad y la realimentación de la otra persona nos indica si vamos bien encaminados. Así, si lo que queremos es hacer una venta, por ejemplo, estaremos pendientes de las expresiones de interés de nuestro cliente, contestaremos a sus preguntas e intentaremos establecer con él una relación agradable.

Dado que este libro es una forma de comunicación, fue redactado en una tela de araña de bucles de realimentación de compensación. En primer lugar, hubo realimentación de compensación interna que fue modificando el libro durante el proceso de escritura. Después, fue revisado y reescrito varias veces para que resultara más claro, para que cada pasaje mantuviera con el resto una coherencia formal y de contenido. Las frases que está usted leyendo ahora no son las originales. Posteriormente, hubo realimentación de compensación externa por parte de terceras personas que leyeron el manuscrito y realizaron comentarios al respecto. Distintos amigos y colegas iban leyendo los borradores, comentándolos, señalando las partes positivas y sugiriendo ideas y mejoras que se introdujeron después en el siguiente borrador.

Llevar el inventario de un negocio también genera un bucle de realimentación de compensación. Debe haber suficiente mercancía almacenada para satisfacer la demanda y que los clientes no tengan que esperar, pero no tanta que ocupe demasiado espacio y haya que pagar mucho en gastos de almacenamiento. La oferta y la demanda forman un bucle básico de realimentación de compensación en el conjunto de la economía. Cuando los bienes son escasos y la demanda es superior a la oferta, la realimentación reduce la demanda en dos sentidos: aumentando los precios o aumentando la oferta mediante las ventas y el marketing. Cuando la oferta es superior a la demanda, el bucle se activa y aumenta la demanda mediante la reducción de los precios o disminuye la oferta mediante la acumulación de reservas o las restricciones de fabricación.

Son muchos los bucles de realimentación de compensación que mantienen estable el medio ambiente. Cada ecosistema tiene su propio método natural de regulación, ya se trate de un bosque tropical, una pradera, un arrecife de coral o una marisma. Los animales, las plantas y todos los organismos de orden inferior están relacionados unos con otros mediante complejas interdependencias en forma de bucles de realimentación. Forman así una gran tela de araña en la que cada cual mantiene su propia existencia a través de las relaciones con los demás. Lo que pudiera parecer malo desde un solo punto de vista resulta en verdad necesario para mantener equilibrado el ecosistema. Por ejemplo, en las praderas son necesarios los incendios ocasionales. El fuego hace que germinen algunas semillas que, de otro modo, no lo harían, quema también la vegetación ya seca y en proceso de putrefacción, acaba con los retoños arbóreos e impide la entrada de especies vegetales intrusas que son menos tolerantes al fuego. A largo plazo, el fuego revitaliza las praderas. Parece que los ecosistemas necesitan una contienda para hacerse más fuertes.

También entre los animales hacen falta los depredadores para que el número de individuos de las distintas especies se mantenga estable. Los depredadores y sus presas forman un bucle de realimentación de compensación. Por ejemplo, los lobos canadienses cazan alces, ciervos y caribús. En un invierno templado, con alimento suficiente, aumenta la población de ciervos. Sin embargo, su hábitat no puede soportar este aumento y, al cabo de los días, los ciervos empiezan a agotar sus fuentes de alimento. A medida que la población aumenta, empieza a haber también cada vez más ciervos viejos y enfermos. Esto es una buena señal para los lobos. Los ciervos son abundantes y fáciles de cazar, así que durante un tiempo los lobos se alimentan bien y engordan. Esto reduce el número de ciervos y acaban quedando únicamente los más rápidos y sanos. Entonces se invierten las tornas, cada vez es más difícil para los lobos encontrar presas; al poco tiempo, los lobos viejos y enfermos empiezan a morir, y se reduce la presión sobre los ciervos. Las fuentes de alimento del hábitat vuelven a regenerarse y el ciclo

comienza de nuevo. Cuantos más ciervos, más lobos; a continuación, menos ciervos, en consecuencia menos lobos, y entonces más ciervos... Los lobos sirven para que la población de ciervos se mantenga en los niveles que el ecosistema puede soportar y después los ciervos les devuelven el favor a los lobos. Ese es el «objetivo» de este particular sistema, aunque no coincida con el objetivo de un ciervo aislado ni de un lobo, en caso de que llegaran a plantearse. Resulta cruel para cada individuo por separado, pero mantiene el equilibrio global de la naturaleza, de suerte que las dos especies consiguen sobrevivir.

Si se altera el equilibrio natural, se genera un perjuicio tanto para los depredadores como para sus presas. Por ejemplo, en la llanura de Kaibab, en Arizona, pueden vivir hasta 40.000 ciervos. En cierta ocasión, los cazadores con licencia dieron buena cuenta de los depredadores naturales del ciervo (lobos, pumas y coyotes) y la población llegó a superar los 50.000 individuos. No había suficiente alimento para todos. En su desesperación, los ciervos devoraron toda la comida disponible, llegando incluso a roer la corteza de los árboles. Cuando ya no quedó nada, 40.000 ciervos murieron de hambre.

Tal vez la enfermedad sea otro ejemplo de realimentación de compensación. Cuando estamos cansados o sobrecargados de trabajo, tenemos más probabilidades de caer enfermos; entonces nos vemos obligados a descansar unos días, recuperamos las fuerzas y seguimos adelante. El estrés, que está demostrado que nos hace más propensos a caer enfermos, es una de las formas que tiene el organismo para indicar la diferencia entre su objetivo -nuestro bienestar- y el estado en que nos encontramos. La enfermedad nos obliga a descansar unos días para después reanudar nuestras ocupaciones con más bríos. Por tanto, ciertas enfermedades son una clase (no deseada) de realimentación de compensación.

La curación es otro ejemplo de realimentación de compensación. El cuerpo detecta una diferencia entre cómo se encuentra y cómo debería encontrarse, y actúa en consecuencia para reducir esa diferencia, ya sea mediante la

coagulación de la sangre para cerrar y cicatrizar una herida o mediante la activación del sistema inmunitario para defendernos del antígeno que nos ataca.

Sin los bucles de realimentación de compensación los seres vivos no podríamos sobrevivir ni funcionarían las sociedades ni los ecosistemas. Son el pegamento que impide que nos rompamos en pedazos.



Ejemplos de realimentación de compensación

He aquí una lista de bucles de realimentación de compensación. Algunos son muy complejos, formados por muchos subsistemas, pero todos funcionan como bucles de realimentación de compensación. ¿Se le ocurre alguno más?

Sistemas mecánicos

- el cambio de marchas en un coche automático
- el regulador de una máquina de vapor
- el aire acondicionado

Sistemas humanos

- la temperatura corporal
- el hambre
- la sed
- el dolor
- el nivel de azúcar en sangre
- la presión sanguínea
- la respiración
- la enfermedad
- latos
- el sueño
- los procesos de curación

- escribir
- pintar
- conducir un coche
- montar en bicicleta
- cualquier acción que conlleve la consecución de un objetivo
- cualquier otra función vital

Ecosistemas

- depredadores y presas
- equilibrio entre alimento y población

Sistemas sociales

- elecciones
- oferta y demanda del mercado
- impuestos

Negocios

- atención al cliente
- liderazgo
- gestión de inventario
- ventas
- previsiones
- creación de equipos
- estrategias de marketing

Proalimentación: regreso al futuro

La mayoría de las veces, la realimentación genera cadenas de causa y efecto en las que cada acción influye en la siguiente. Por ejemplo, la sed nos hace beber, y beber hace que sintamos menos sed. En la comunicación, lo que decimos genera la respuesta del que nos escucha, y su respuesta da lugar a la nuestra. Un descenso de la temperatura hace que el termostato active la caldera, lo cual lleva a un aumento de la temperatura, que hace que el termostato desactive la caldera. Así, las causas y los efectos forman círculos, y lo que era la causa desde un punto de vista se convierte en el efecto desde el otro. La causa del presente da lugar al efecto del futuro.

La *proalimentación* describe un curioso efecto, ligeramente distinto, de algunos tipos de realimentación: cuando el efecto anticipado del futuro, que todavía no ha tenido lugar, genera la causa del presente que, de no ser así, no se hubiera producido. Por ejemplo, cuando pensamos que vamos a fallar en algo, lo más habitual es que fallemos. Después de todo, ¿para qué intentarlo si es una empresa fallida? No cabe duda de que ser supersticioso trae mala suerte.. En cambio, cuando tenemos la esperanza de que vamos a superar algo, nuestra energía y optimismo se ponen a nuestro favor y hay más probabilidades de que lo logremos. Habremos puesto parte de nuestra parte.

Nuestras esperanzas, nuestros miedos y nuestras convicciones respecto al futuro nos sirven para crear el propio futuro que anticipamos. Así, la mejor forma de pasar un día aburrido es convencerse de antemano, esperar lo peor y hacer premoniciones negativas al respecto. Después, como ya «sabemos» que va a ser aburrido, estaremos descentrados, pasaremos rápidamente de una actividad a otra para acabar cuanto antes y volver a casa. Si además no dejamos de comparar lo que nos ocurre con otro tiempo en que las cosas eran mucho mejores, seguro que el día acabará cumpliendo nuestras expectativas. Para pasar

un buen día, hay que hacer exactamente lo contrario: anticipar el gran placer que vamos a sentir, pensar en todas las cosas interesantes que podremos hacer, dejar que su importancia y colorido aumenten en nuestra imaginación. Entregarnos por completo en cada actividad. A veces todo termina en una sorpresa de alegría (o de decepción), pero por regla general el tener expectativas respecto a un hecho hace que se produzca tal como lo esperamos.

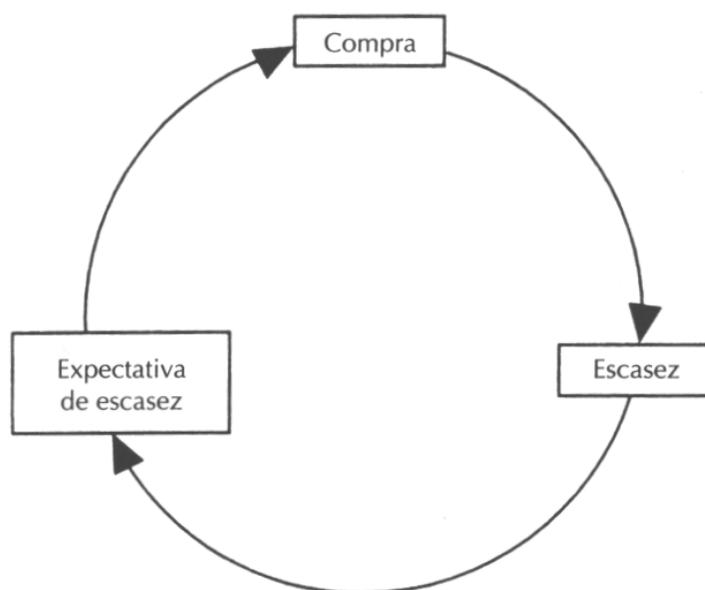
La proalimentación crea premoniciones que se cumplen. En el mercado de valores, el equivalente a «tienes que poner parte de tu parte» es el dicho de «dinero llama dinero». Corren rumores de que va a subir el valor de unas acciones. Antes de que las acciones hayan subido, los rumores atraen a los compradores y entonces las acciones empiezan a subir. Cuanto más suben, más compradores atraen. Ya se ha creado un bucle de refuerzo. Finalmente, los comentaristas del mercado de valores generan un bucle de compensación diciendo que las acciones están supervaloradas, los accionistas empiezan a vender y los precios caen.

Las previsiones sobre la escasez de cualquier tipo de producto funcionan de la misma manera. ¿Qué hace la gente cuando se anuncia que va a escasear algo? Sale a la calle y compra la mercancía de que se trate «por si acaso». Incluso se compra más de lo habitual para prevenirse de la escasez prevista, de manera que se crea así la escasez que ha causado la alarma. Cuando en Gran Bretaña los panaderos se pusieron en huelga hace unos años, las panaderías independientes vendieron rápidamente el poco pan que hicieron a personas que llevaban hasta tres horas haciendo cola. Cuando hubo problemas de suministro en las gasolineras, vimos el ridículo espectáculo de los coches en cola durante horas para llenar los depósitos «por si acaso», por si no podían llenarlos nunca más. Este comportamiento creó una escasez mucho más grave. El suministro continuo y regular de gasolina no está pensado para que todos los vehículos tengan el depósito lleno al mismo tiempo. Podríamos generar una crisis si todos llenáramos el depósito de nuestro coche hoy al mediodía. Las fuentes de suministro se

agotarían y habría un déficit de combustible hasta que el sistema estuviera preparado para responder a la nueva demanda.

El dinero es otro ejemplo. Si todos sacáramos a la vez el dinero de nuestras cuentas, el sistema financiero se vendría abajo. Si se dispara el rumor de que un banco no tiene dinero suficiente para afrontar sus deudas, los titulares de las cuentas correrían en masa a la entidad a sacar su dinero. El banco no tendría entonces dinero suficiente para pagar a todos, surgiría el pánico y el rumor llegaría a hacerse realidad. ¿Cuál es la causa y cuál es el efecto? Una pregunta imposible mientras pensemos en las causas y los efectos como cosas distintas y aisladas.

Un rumor puede ser totalmente infundado, una profecía puede ser una falacia y el profeta un charlatán, pero las predicciones pueden llegar a hacerse realidad, no porque sean previsiones razonables respecto al futuro, sino porque el solo hecho de haberlas formulado modifica el futuro. Lo importante es que las personas *crean* en la profecía y *actúen* en consecuencia. Nuestras creencias conforman el futuro.



Proalimentación

A veces la proalimentación tiene otra peculiaridad. Los propios esfuerzos que hace una persona para evitar algo acaban haciendo que eso ocurra. Es como andar de espaldas hacia el agujero que uno intenta esquivar. Joseph conoce a varias personas que se han lesionado jugando a squash porque la posibilidad de lesionarse les creaba mucha ansiedad. Se sintieron inseguros por haberse lesionado en el pasado, y entonces alguna mala postura en el saque les llevaba a volver a lesionarse.

En el ámbito social ocurre que cuando una persona tiene muchas ganas de tener amigos y pretende hacerse amiga de todo el que conoce, acaba siendo rechazada, porque sus esfuerzos tienen algo de desesperados, de ansiosos, y generan más distanciamiento que atracción.

El insomnio es -un ejemplo algo distinto. Supongamos que nos preocupa no poder dormir. Entonces, «intentamos» dormir, pero cuanto más lo intentamos, más difícil nos resulta. Y cuanto más nos cuesta, más nos empeñamos en conseguirlo. El empeño es lo que nos impide dormir y refuerza la idea de que nos va a costar trabajo dormir. Al final, la única manera de dormirnos es dejar de empeñarnos en conseguirlo.

En este tipo de proalimentación reside la explicación de la paradoja < sé espontáneo». Cuanto más empeño ponemos en hacer algo que sólo puede ocurrir espontáneamente, menos espontáneos somos. Podemos liarlos y liar a otros en conflictos irresolubles demandando un comportamiento que sólo tiene valor si es espontáneo.

La proalimentación puede llevar en ocasiones a predicciones contraproducentes. Esto ocurre cuando una expectativa o predicción de lo que va a ocurrir influye en el presente de tal manera que impide que llegue a darse en el futuro. Por ejemplo, decir a determinados atletas que van a perder puede producir el efecto contrario. Cuanto más se les dice, más se afianzan ellos en que van a ganar, y entonces

llegan a la competición con una energía y una determinación tales que consiguen ganar.

Resumen de la realimentación y la proalimentación

- La *realimentación de refuerzo* se da cuando los cambios del sistema vuelven hacia atrás y amplifican el cambio original. Dicho de otro modo: el «efecto» del cambio refuerza la «causa» y amplifica el cambio. El sistema se desplaza cada vez más rápidamente del punto en el que se encontraba inicialmente.
- Esto puede dar origen a la *proalimentación de refuerzo*, cuando una predicción o anticipación de un cambio aparta el sistema del estado predicho, es decir, se produce una profecía contraproducente.
- La *realimentación de compensación* se produce cuando los cambios del sistema vuelven hacia atrás para oponerse al cambio original, de forma que amortiguan el «efecto». Dicho de otro modo: El «efecto» del cambio se opone a la «causa» del cambio. El sistema se estabiliza acercándose a un estado determinado: su objetivo.
- La *proalimentación de compensación* se da cuando la predicción o anticipación de un cambio conduce el sistema hacia el estado predicho. Se trata en este caso de las predicciones que se cumplen.

Cuando no aprendemos de la experiencia

Aprendemos de la experiencia estableciendo una conexión entre causa y efecto. Poner la mano en un infiernillo nos da una realimentación inmediata llamada dolor, y rompemos rápidamente el círculo apartando la mano. Aprendemos que

tocar un infiernillo da dolor, y generalizamos que cualquier cosa caliente nos hará daño, no sólo los infiernillos. Pero supongamos que el dolor y la ampolla aparecieran dos días más tarde o una semana o un mes. ¿Será a igual de fácil aprender que hay que quitar la mano del infiernillo? Las alergias a determinados alimentos son muy difíciles de detectar justamente porque no siempre se producen después de comer el alimento que las genera. Las agujetas suelen aparecer uno o dos días después de haber hecho el ejercicio físico que las origina. Los efectos secundarios de un fármaco pueden manifestarse meses o incluso años después de la ingesta. Las campañas publicitarias tardan semanas en modificar los hábitos de compra de los clientes. Intentamos educar a nuestros hijos lo mejor que podemos, pero no tenemos una idea exacta de cómo habrán influido nuestras acciones cuando sean mayores.

La otra parte del aprendizaje a partir de la experiencia es *dónde* se produce la realimentación. Puede ser inmediata, pero si hacemos algo aquí y el efecto es en la puerta de enfrente, difícil será extraer algún aprendizaje. Si el departamento de ventas de una empresa ofrece gratis la asistencia técnica para promocionar las ventas, el departamento de servicio técnico sufrirá un perjuicio, pero la realimentación al departamento de ventas puede ser muy favorable. El departamento de servicio técnico, sobrecargado, tal vez no tenga una impresión tan buena.

La realimentación es un círculo, y lleva su tiempo recorrerlo entero. Esto significa que los efectos pueden aparecer tiempo después de la causa. Es lo mismo que ocurre cuando miramos a las estrellas. Dado que las estrellas están a distancias muy remotas, la luz tarda años en llegar a nosotros. Incluso la luz de la estrella más cercana, el Sol, tarda nueve minutos en llegar hasta nosotros. Si miramos una estrella esta noche, no la veremos como es ahora, sino como era hace muchos años. En cierto modo, estamos viendo al pasado.

Pensemos en el apetito como parte de un bucle de realimentación. La realimentación no es tan inmediata como cuando tenemos sed. Es raro (e incómodo) beber demasiado líquido, ya que sentimos el efecto sobre nuestra sed de forma inmediata. Sin embargo, transcurre cierto tiempo entre el momento en que llenamos el estómago y aquel en que nos sentimos satisfechos. Cuando digerimos la comida, los azúcares pasan del estómago a la sangre y activan la liberación de una sustancia neurotransmisora llamada serotonina cuando llegan al cerebro. La serotonina estimula otra parte del cerebro que envía el mensaje de que estamos llenos. Este proceso lleva su tiempo, de tal modo que la sensación de estar lleno no se relaciona directamente con la cantidad de comida que haya en el estómago en ese momento, sino con la que había hace unos minutos. Esta diferencia de tiempo entre el estar lleno y el sentirse lleno supone que podemos seguir comiendo y pasar del estado de satisfacción al de ahítos. Si seguimos comiendo cuando ya nos sentimos llenos, habremos ido demasiado lejos. La forma de evitarlo es comer más despacio, masticando bien los alimentos para acelerar la asimilación de azúcares. Tenemos que darnos el tiempo suficiente para que aparezca la realimentación.

Cuando no tenemos en cuenta los desfases de tiempo evaluamos demasiado pronto el éxito de nuestras estrategias, sin comprobar todas sus consecuencias. Así, seguimos utilizando una estrategia pensando que es eficaz y no la conectamos con las consecuencias reales que produce, con lo cual suponemos que se deben a otros factores.

El ejemplo más claro de los períodos de desfase es el de los efectos de los productos químicos sobre el medio ambiente. Los primeros informes científicos en los que se sugirió que los compuestos cloro fluorcarbonados (CFC) destruyeron la capa de ozono se publicaron en 1974. Hasta 1985 no hubo pruebas claras de un profundo agujero en la capa de ozono sobre la Antártida. Desde que se libera en la superficie de la Tierra una molécula de CFC hasta que llega a la alta estratosfera y destruye la capa protectora de ozono pasan quince años. Las

mediciones realizadas en 1985 mostraban los efectos de los CFC liberados en 1970. En 1990, se reunieron en Londres los representantes de 92 países y decidieron reducir progresivamente la producción de CFC hasta acabar con ella en el año 2000; aun así, todos los CFC presentes hoy en la estratosfera tardarán más de un siglo en desaparecer.

Así pues, aprendemos de la realimentación que conecta claramente el efecto con su causa. Cuando hay una diferencia de tiempo grande, creemos que no hay ningún efecto y no aprendemos nada.

Cuanto mayor es la complejidad dinámica de un sistema, más tiempo tardará la realimentación en recorrer la red entera de conexiones. Algunas conexiones pueden ser muy rápidas, pero puede que una sola conexión lentifique todo el sistema. Un solo atasco puede hacer que lleguemos tarde aun cuando hagamos con fluidez el resto del trayecto. La velocidad de un sistema se determina por su punto más lento. Esto es algo que a veces no se tiene en cuenta en las empresas. Es posible que se automaticen muchos procesos y que la producción global no llegue a hacerse con más rapidez porque no se haya cambiado la causa real de los retrasos.

El tiempo que tarda la realimentación en recorrer todo el sistema y volver a nosotros es la «memoria» del sistema. Es ese intervalo que no percibimos entre causa y efecto y que nos lleva a creer que no está pasando nada. Por ejemplo, hubo un tiempo en que aprendimos a leer, pero cada vez que leemos es como si ese aprendizaje apareciera de repente. ¿Dónde se va la capacidad de lectura cuando no estamos leyendo? La memoria no es un lugar real; es muy difícil señalar un lugar del cerebro y decir: «Aquí es donde se ha almacenado determinada información». Es posible acceder a determinados recuerdos mediante la estimulación de determinadas partes del cerebro, pero eso no quiere decir que estén almacenados ahí. Sabemos que hemos recordado algo cuando lo

Este es un patrón clásico; se da en las subidas y bajadas del mercado, en los periodos de inflación y deflación. Siempre que encontremos en nuestras vidas un patrón de estas características, podemos estar seguros de que está originado por un bucle de realimentación de compensación con un periodo de desfase. Un ejemplo lo tendremos cuando disponemos de dinero y lo gastamos sin pensar; de pronto nos damos cuenta de que nos estamos quedando sin y empezamos a controlar en qué lo gastamos. El mismo patrón se reproduce en la marcha de muchos negocios.

Durante un trimestre el dinero fluye libremente; de pronto se desencadena una crisis. En un momento dado faltan existencias para hacer frente a los pedidos y a las pocas semanas o a los pocos meses el almacén está repleto porque ha bajado la demanda.

Hay dos soluciones. Una consiste en obtener mediciones más fiables que nos den una realimentación inmediata (cambiar la instalación de la ducha para que no haya tanto desfase). Si esta solución falla, será preciso tener en cuenta el periodo de desfase al hacer los ajustes necesarios, de forma que el cambio se produzca cuando queremos que se produzca, después de recorrer el sistema (abrimos el grifo sólo un poco y esperamos hasta ver el efecto. Con todo, esta opción, a la larga, suele resultar incómoda). El punto más importante es cuando sabemos cómo está pasando algo; en ese momento estamos en mejor posición para hacer algo al respecto.

En un sistema muy complejo, un efecto puede manifestarse mucho tiempo después de la causa que lo originó. Es probable que para cuando seamos capaces de ver el efecto, haya alcanzado un umbral crítico y sea demasiado tarde para anularlo. En el efecto de los productos químicos sobre el medio ambiente se ve claramente este riesgo. El PCB (bifenilo policlorado) es una sustancia química que se utiliza en todo el mundo en la fabricación de componentes eléctricos. Durante cuarenta años, se ha estado vertiendo PCB a las redes de alcantarillado y en

vertederos sin pensar en las consecuencias a largo plazo. En un estudio de 1966, que se realizó para detectar el pesticida DDT en el medio ambiente, se descubrió una gran presencia de PCB. El bifenilo policlorado se desplaza muy lentamente a través del suelo hasta las aguas subterráneas. A corto plazo, parece que no causa ningún daño. Sin embargo, el medio ambiente lo guarda en su «memoria». El PCB es soluble en las grasas, llega a la carne de los animales y allí se acumula. Esta sustancia se va concentrando cada vez más, a medida que avanza en la cadena alimentaria, y se ha descubierto que su concentración es mayor en aves marinas y en la leche de los mamíferos, incluso en la humana. El PCB altera el sistema inmunitario de los seres humanos y las funciones reproductoras. Desde la década de 1970 su producción está prohibida en la mayoría de los países. No obstante, un 70 por ciento del PCB producido previamente sigue presente en el material eléctrico. El otro 30 por ciento ha sido liberado al medio ambiente. De momento, sólo el 1 por ciento ha llegado a los mares, donde es posible medirlo y ya ha tenido un efecto sobre la vida marina. El 29 por ciento restante, todavía en la tierra, los lagos y los ríos, seguirá siendo un riesgo para los seres vivos durante decenios o incluso cientos de años.

Cuando se manejan sistemas hay que tener en cuenta los retrasos de tiempo. El resultado de los cambios no tiene por qué ser inmediato.

Lo que hacemos en el presente afectará nuestras vidas en el futuro, cuando se manifiesten las consecuencias. Si no podemos ver la relación, puede que echemos la culpa a la situación presente, cuando en realidad las raíces se encuentran en nuestras acciones pasadas. Lo que hacemos hoy conforma nuestro futuro.

Respuestas a los acertijos sobre el crecimiento exponencial.

- Si pudiéramos doblar el mismo papel otras cuarenta veces, llegaría a hasta la luna.

- Más vale que nos demos prisa, porque mañana habrá cubierto el estanque entero.
- No fue nada acertada. En el cuadrado veintiuno ya se habrí a acumulado un millón de granos de arroz, y no hay arroz suficiente en el mundo para pagar la deuda en el cuadrado sesenta y cuatro. Jaque mate.

RESUMEN: PARTE PRIMERA

¿Qué es un sistema?

Un sistema es una entidad que fundamenta su existencia y sus funciones como un todo mediante la interacción de sus partes. El comportamiento de los distintos sistemas depende de cómo se relacionen sus partes, más que de las propias partes. Así , podemos comprender muchos sistemas diferentes sirviéndonos de los mismos principios.

Los sistemas forman parte de subsistemas mayores y están compuestos, a su vez, de sistemas más pequeños.

Las propiedades de un sistema son las propiedades del conjunto. No están en ninguna de las partes. Cuanto más complejo es un sistema, más impredecibles son las propiedades del conjunto. Estas propiedades del sistema como un todo se denominan *propiedades emergentes*, porque emergen cuando el sistema está en funcionamiento.

El análisis es la separación de un todo en sus partes. Obtenemos conocimiento mediante el análisis. La síntesis es la composición de un todo por la reunión de

sus partes. Mediante [a síntesis obtenemos comprensión. Cuando descomponemos un sistema y lo analizamos, pierde sus propiedades. Para comprender cualquier sistema, hemos de verlo como un todo.

La complejidad de detalle implica que hay un gran número de partes distintas.

La complejidad dinámica implica que hay un gran número de conexiones posibles entre las partes, porque cada una de ellas puede tener distintos estados.

Cada parte de un sistema influye en el sistema entero.

Siempre que cambiamos algún elemento, hay efectos secundarios. Los sistemas resisten los cambios porque las partes están interconectadas. Sin embargo, cuando llegan a cambiar, pueden hacerlo de forma repentina y espectacular. Hay puntos concretos en los que es posible efectuar grandes cambios con muy poco esfuerzo una vez que comprendemos el sistema. Ese hecho recibe el nombre de efecto palanca.

Pensamiento en círculos

El pensamiento sistémico es más un pensamiento en círculos que en líneas rectas. Las conexiones entre las partes forman bucles de realimentación. La realimentación es una reacción del sistema que se regenera en forma de estímulo, o la información devuelta que influye en un paso siguiente.

Hay dos tipos de realimentación:

La realimentación de refuerzo se da cuando los cambios del sistema vuelven y amplifican el cambio inicial, produciéndose más cambios en la misma dirección. El sistema se desplaza cada vez con más rapidez a partir de su posición inicial.

La realimentación de refuerzo puede llevar a un crecimiento exponencial imparable.

La realimentación de compensación se da cuando los cambios registrados en todo el sistema vuelven hacia atrás y se oponen al cambio inicial de forma que amortiguan su efecto. Lleva a una reducción de la acción que se ha generado. La realimentación de compensación mantiene estable el sistema y supone una resistencia a los cambios.

Todos los sistemas tienen un objetivo, aunque sea el de la mera supervivencia. El objetivo de un sistema es su estado deseado, cuando el sistema se encuentra en reposo o en equilibrio. La realimentación de compensación sirve para reducir la diferencia entre dónde se encuentra un sistema y dónde «debería» encontrarse. Dirige el sistema hacia su objetivo.

La proalimentación se da cuando una predicción o anticipación del futuro influye en el presente de tal manera que acaba dando origen a una profecía que se cumple o a una profecía contraproducente.

En los sistemas, debemos esperar que haya un desfase entre la causa y el efecto. El bucle de realimentación tarda un tiempo en completarse. Cuanto más complejo es un sistema, más tardará en aparecer la realimentación. Si no se tienen en cuenta estos retrasos, pueden producirse oscilaciones o reacciones excesivas.