

Tipos de Modelos

Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, retroalimentación o feedback. Cuando abrimos el grifo para llenar un vaso de agua aumentamos la cantidad de agua en el vaso, pero también la cantidad de agua que va habiendo en el vaso modifica la velocidad en la que nosotros llenamos el vaso. Lo llenamos más despacio cuando está casi lleno; y por lo tanto existe un bucle.

Los bucles de realimentación representan el proceso dinámico que se traslada por una cadena de causas y efectos a través de un conjunto de variables que acaba volviendo a la causa original. Propiamente, un bucle de realimentación es el grupo de variables interconectadas por relaciones causales o de influencia (positivas o negativas), que forman un camino cerrado que comienza en una variable inicial y que acabe en la misma variable.

Bucle de realimentación positiva

Los bucles de realimentación positiva, también llamados de refuerzo o, más descriptivamente, de efecto de bola de nieve, son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que acentúa dicha variación inicial. Esa variación primera puede ser tanto un incremento como una disminución de un valor determinado.

Este tipo de bucle genera un comportamiento de crecimiento o de decrecimiento del sistema que lo aleja del punto del equilibrio. Es decir, tiende a desestabilizar los sistemas de forma exponencial.

Con ayuda de este diagrama se puede analizar, de forma general, el comportamiento que genera este bucle. Si cualquiera de sus elementos sufre una perturbación, ésta se propaga, reforzándose, a lo largo del bucle. En efecto, si A crece, entonces, en virtud del signo de la influencia, lo hará B, lo que a su vez determinará el crecimiento de C y, de nuevo, el de A. Por lo tanto, la propia estructura del sistema determina que el crecimiento inicial de A «vuelva» reforzado a A, iniciándose de este modo un proceso sin fin que determinará el crecimiento de A. Este efecto se conoce vulgarmente como «círculo vicioso» o «bola de nieve». El cambio se amplifica produciendo más cambios

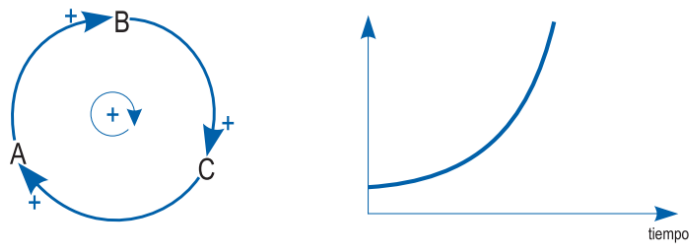
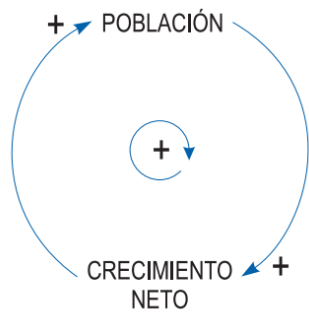


Figura 3. Estructura de realimentación positiva y su comportamiento

Ejemplos

1. Crecimiento de una población como proceso de realimentación positiva



2.- Perspectiva Sistémica de la carrera armamentista USA & URS

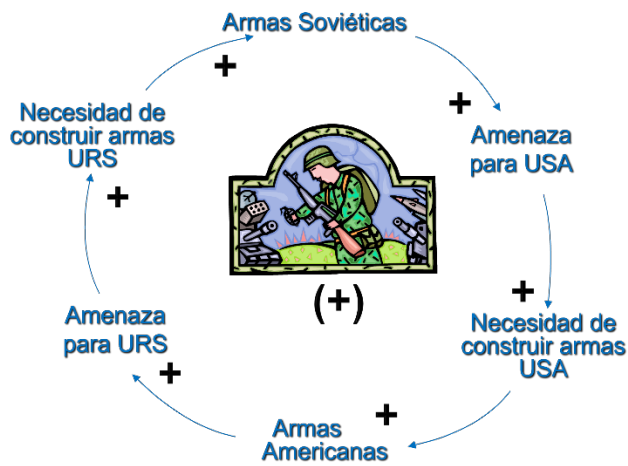


Diagrama mencionado en el libro La Quinta Disciplina de Peter Senge

Bucle de realimentación negativa

A los bucles de realimentación negativa se les conoce con diversas denominaciones (estabilizadores, equilibradores, balanceadores, reguladores o autorreguladores, homeostáticos,...) y son la base de cualquier sistema de control o regulación, tanto natural como artificial. Son aquellos en los que una variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que se genere un efecto que contrarresta la variación inicial.

Habitualmente su comportamiento lleva implícito un objetivo (exógeno), lo que hace que este tipo de comportamientos se conozca como comportamiento de búsqueda de objetivos (Goal Seeking).

Un bucle de realimentación negativa tiene la notable propiedad de que si, por una acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación. En efecto, consideremos el bucle de la Figura 4, en el que los elementos se han representado, de forma general, mediante las letras A, B y C. Supongamos que uno cualquiera de ellos, por ejemplo, el B se incrementa. En virtud de las relaciones de influencia, el incremento de B determinará el de C, ya que la relación de influencia correspondiente es positiva. A su vez, el incremento de C determinará el decrecimiento de A, ya que así lo determina el carácter negativo de la influencia. El decrecimiento de A dará lugar al de B, pues la relación es positiva. Por tanto, el incremento inicial de B le «vuelve», a lo largo de la cadena de realimentación, como un decremento; es decir, la propia estructura de realimentación tiende a anular la perturbación inicial, que era un incremento, generando un decremento.

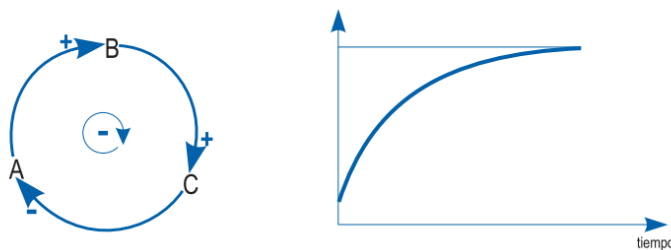
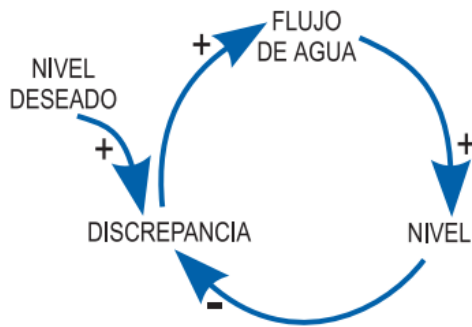


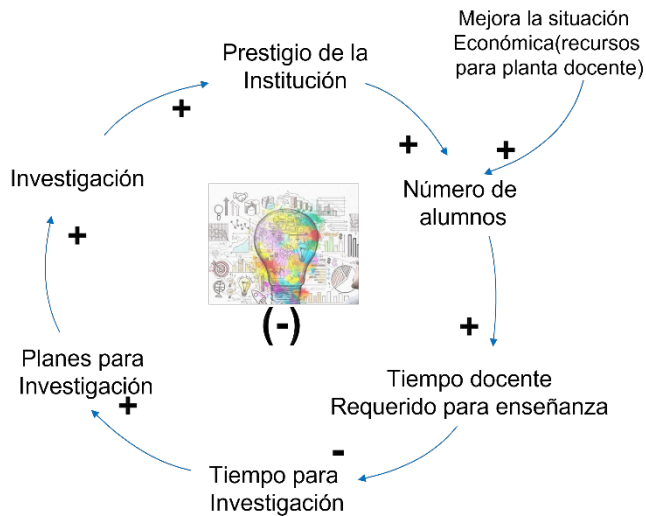
Figura 4. Estructura de realimentación negativa y su comportamiento

El sistema formado por nosotros, el grifo y el vaso de agua es un bucle negativo porque está dirigido a conseguir un objetivo, llenar el vaso sin que se exceda. Los bucles negativos actúan como elementos estabilizadores de los sistemas al dirigirlos hacia un objetivo determinado, igual que el termostato de la calefacción la dirige hacia la temperatura seleccionada.

Ejemplo 1



Ejemplo 2



Libro: Modelación de la Dinámica de Ecosistemas

Con retraso

Un retardo no es más que el tiempo que transcurre entre una causa y sus efectos y en los modelos sistémicos se manejan como procesos cuya salida se retrasa en alguna manera con respecto a la entrada.

En los bucles de realimentación positiva un retardo ocasiona que el crecimiento (o decrecimiento) no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. Sin embargo, el efecto de los retardos es especialmente sensible en el caso de los bucles de realimentación negativa.

En este último caso, se tienen influencias a las que se asocian retrasos. En el diagrama de influencias, si A influye sobre B, y esta influencia tarda un cierto tiempo en manifestarse, entonces se añaden dos trazos sobre la flecha correspondiente. En la Figura 5 se muestra un bucle de realimentación negativa en el que la influencia entre C y A se produce con un retraso, por lo que la flecha correspondiente presenta dos trazos.

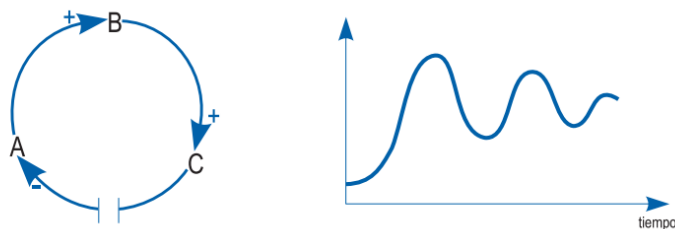


Figura 5. Estructura de realimentación negativa con un retraso y su comportamiento

En los diagramas causales se utiliza la notación, es una doble raya vertical, “||”, sobre la flecha para indicar la existencia de un retardo en la relación de influencia.

Los retrasos pueden tener una enorme influencia en el comportamiento de un sistema. En los bucles de realimentación positiva determinan que el crecimiento no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. En los de realimentación negativa su efecto es más patente. Su presencia puede determinar que ante la lentitud de los resultados se tomen decisiones drásticas que conduzcan a una oscilación del sistema, visto también en la figura 5.

Un ejemplo sencillo y que aparece en la mayoría de los libros de introducción a la Dinámica de Sistemas, es el caso de la regulación de la temperatura de una ducha. Cuando nos metemos en la ducha, inicialmente sale el agua fría, y abrimos el grifo del agua caliente hasta que sale demasiado caliente. En este caso, bajamos el agua caliente hasta que sale más fría de la que deseamos y volvemos a aumentar la temperatura, repitiéndose este proceso hasta que las oscilaciones de temperatura se estabilizan.

Ejemplo 1

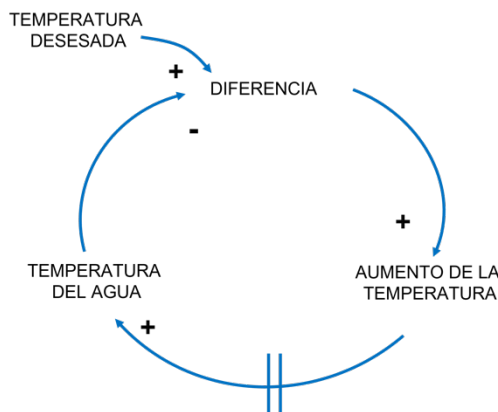
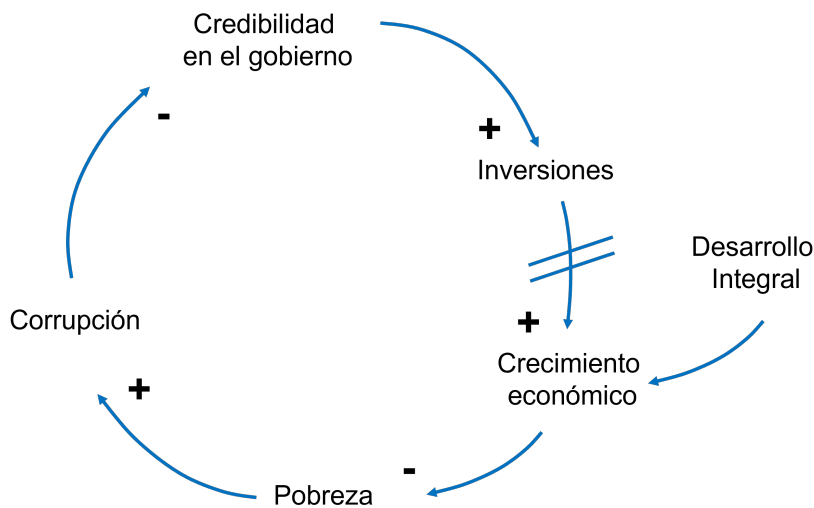


Diagrama causal de la regulación de la temperatura de una ducha.

Ejemplo 2. Problema de Corrupción



Mejorar la calidad de la educación proveerá a largo plazo una población mejor preparada, esto puede apoyar el desarrollo integral y así aumentar los ingresos

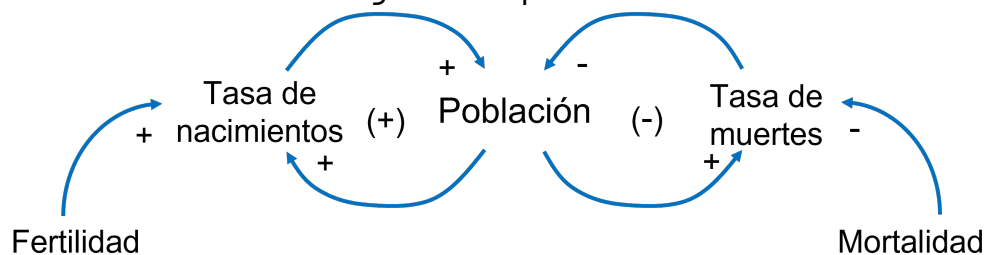
Lo cual disminuye la pobreza, baja la corrupción y aumenta la credibilidad en el gobierno, propicia mas inversiones; esto repercute en mayores ingresos que puede seguir apoyando la calidad de educación, sin embargo, podría considerar una demora de varias décadas antes de poder observar los resultados.

Sistemas complejos

Naturalmente los sistemas socioeconómicos y ecológicos están formados por cientos de bucles positivos y negativos interconectados, y su comportamiento final no es evidente.

Los bucles de realimentación positiva y negativa constituyen los ejemplos más simples de estructura de un sistema capaces de generar comportamiento de forma autónoma. Sin embargo, los sistemas con los que habitualmente nos encontramos no es frecuente que admitan una descripción en la que aparezca exclusivamente una de esas estructuras. Por el contrario, lo habitual es que nos encontremos con sistemas complejos en los que coexistan múltiples bucles de realimentación, tanto positivos como negativos. En tal caso el comportamiento resultante dependerá de cuáles de los bucles sean dominantes en cada momento.

Un ejemplo sería el crecimiento de la población, el cual se ve reforzado por el lado de la tasa de nacimientos y decrece por la tasa de muertes.



Este es un ejemplo de los mas simples, pero se pueden encontrar una gran diversidad de aplicaciones, el objetivo es dejar los fundamentos de la construcción un diagrama de influencia o causal que son muy utilizados para el estudio de problemáticas, como ya mencionamos en todos los campos sobre todo socioeconómicos.

Construcción de los diagramas de Forrester

El objetivo final es poder simular el modelo porque la realidad no permite dar marcha atrás en el tiempo para cambiar las cosas, pero un modelo de simulación permite modificar la estructura del mismo y analizar su comportamiento bajo distintas condiciones. La Dinámica de Sistemas proporciona dicho entorno donde poder probar los modelos mentales que se tienen de la realidad mediante el uso de la simulación por computador. La idea de poder simular situaciones de la vida real es un concepto muy atractivo que facilita y estimula el aprendizaje.

Por lo tanto, al final de esta fase se debe disponer de un modelo matemático, o Modelo Cuantitativo, del sistema para ser simulado en un computador. Para ello se debe traducir el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester que es un paso intermedio para la obtención de las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento del sistema.

Referencias:

García, J. M. Teoría y Ejercicios Prácticos de la Dinámica de Sistemas, edición-2021; Barcelona-España. Disponible: <http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/sistemas.htm>

Forrester, J.W., Industrial Dynamics, Productivity Press, 1986

García, J. M. Teoría y Ejercicios Prácticos de la Dinámica de Sistemas, edición-2021; Barcelona-España. Disponible: <http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/sistemas.htm>

Morlán Santa Catalina, I. (2010). Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua. Recuperado de <http://www.ehu.eus/i.morlan/tesis/memoria/TesisIM02.pdf>