

Glosario de Ingeniería de Sistemas

Autor: Fernando Morilla García, Mayo 2002

Adicción. Es uno de los arquetipos sistémicos más conocidos, se presenta porque existe un síntoma, provocado por un problema cuya solución es difícil o no se conoce bien. El síntoma se trata entonces de la forma más fácil, consiguiendo un éxito corto plazo, pero sin atajar el problema fundamental que sigue subyacente. Este fenómeno suele modelarse por una estructura en la que coexisten dos bucles de realimentación negativa y uno de realimentación positiva.

Arquetipo sistémico. Se conoce como arquetipo sistémico a una combinación interesante de varios bucles elementales de realimentación negativa y positiva. Los arquetipos sistémicos sirven para representar y catalogar determinadas pautas estructurales que se manifiestan en múltiples situaciones. Los dos arquetipos más conocidos son el de crecimiento sigmoideal y el de la adicción, que combinados adecuadamente conforman un tercer arquetipo, el crecimiento con inversión insuficiente.

Bucle regulador o estabilizador. Se denomina bucle regulador o estabilizador al bucle elemental de realimentación negativa cuando su comportamiento es estable y está orientado a un objetivo, que puede estar o no explícito. Todo bucle regulador presenta una resistencia al cambio, procurando que su variable de estado permanezca en el objetivo fijado, salvo que éste haya cambiado y entonces evolucionará asintóticamente al nuevo objetivo.

Bucle reforzador. Se denomina bucle reforzador al bucle elemental de realimentación positiva porque presenta un comportamiento creciente o decreciente sostenido en el tiempo, haciendo que su variable de estado se aparte cada vez más del estado de equilibrio inicial.

Canal de información. Los canales de información son flechas discontinuas en el diagrama de Forrester, que se utilizan para representar el flujo de información entre una variable del sistema y las variables sobre las que influye. Todas las variables del sistema, aunque no es habitual que lo sean las variables de flujos, son potenciales fuentes de información, mientras que sólo las variables de flujo y las variables auxiliares pueden usar dicha información.

Canal material. El canal material es una flecha continua en el diagrama de Forrester, que se utiliza para representar el flujo de transmisión de una magnitud física que se conserva, pasando de un estado a otro, de una nube fuente a un estado, o de un estado a una nube sumidero.

Comportamiento de un sistema. Representación gráfica del conjunto de trayectorias que describen los cambios sufridos por las variables del sistema a lo largo de tiempo.

Constante. Ver parámetro.

Constante de tiempo T. La constante de tiempo es una característica del crecimiento o decrecimiento asintótico que se manifiesta en los bucles elementales de realimentación negativa. Si el sistema evoluciona desde un estado inicial $x(0)$ a un estado objetivo final

x_d , el estado $x(t)$ habrá superado el 63% de la distancia que separa el estado inicial del estado final cuando haya transcurrido una constante de tiempo. El valor de la constante de tiempo coincide con el inverso de la fracción de tiempo (ver parámetro k),

$$T = \frac{1}{k}$$

Crecimiento o decrecimiento asintótico. Es el comportamiento típico de un bucle elemental de realimentación negativa (ver bucle regulador o estabilizador).

Crecimiento con inversión insuficiente. Es un comportamiento que resulta de la combinación de dos fenómenos el crecimiento exponencial y la adicción. Intenta modelar un tipo de situación, bastante frecuente en las empresas productoras de bienes de equipo, que se provoca cuando el gran éxito en la venta y comercialización de un determinado producto no va acompañada de una inversión adecuada en la producción.

Crecimiento exponencial. Es el comportamiento típico de un bucle elemental de realimentación positiva (ver bucle reforzador).

Crecimiento sigmoidal. Es uno de los arquetipos sistémicos más conocidos, se caracteriza por una fase inicial de crecimiento exponencial seguida por una fase de crecimiento asintótico a un estacionario final. Recibe también la denominación de crecimiento logístico. Hay muchas estructuras que pueden dar lugar a un comportamiento de este tipo, pero la más habitual es aquella en la que coexisten un bucle de realimentación positiva y otro de realimentación negativa.

Diagrama de Forrester. Diagrama que muestra las relaciones entre todas las variables del sistema, haciendo uso de símbolos específicos para cada uno de los seis tipos de variables (estado o nivel, flujo, auxiliar, exógena, parámetro o constante, retraso) y distinguiendo dos tipos de conexiones (canal material y canal de información).

Diagrama de influencias. Representación gráfica de la estructura del sistema, en la que se hacen explícitas, mediante flechas, las relaciones de dependencia entre las distintas variables, acompañadas del correspondiente signo + o -.

Dinámica de Sistemas. Método para el estudio del comportamiento de sistemas mediante la construcción de un modelo que ponga de manifiesto las relaciones entre la estructura del sistema y su comportamiento.

Estado estacionario o estado de equilibrio. Estado de un sistema en el cual ninguna de sus variables cambia libremente a lo largo del tiempo. El calificativo estacionario es más empleado para referirse al estado de una variable y el de equilibrio para referirse al estado de un sistema. Basta que una de las variables del sistema abandone su estado estacionario para que el sistema deje de estar en equilibrio. En los sistemas dinámicos el estado viene representado por el conjunto de variables de nivel.

Estructura de un sistema. Forma en que los elementos de un sistema se encuentran organizados o interrelacionados. La estructura se puede representar mediante el diagrama de influencias o mediante el diagrama de Forrester, siendo éste último el que incorpora un mayor nivel de detalle.

Explotación del modelo. El término explotación se utiliza para englobar los procedimientos que tienen como objetivo obtener algún tipo de provecho de un modelo. La explotación en Dinámica de Sistemas suele estar orientada a probar y evaluar decisiones que no se pueden o no se deben probar en el sistema real. Durante la explotación se recomienda utilizar procedimientos totalmente automáticos o con un alto grado de automatización, en contraposición al procedimiento de prueba y error que tendría un mayor coste y duración.

Fases del modelado. En el proceso de modelado se suelen distinguir tres fases principales: conceptualización, formulación y evaluación. Pero sin olvidar que el proceso de modelado tiene un carácter iterativo, en virtud del cual no se pasa de una forma progresiva y única por las tres fases indicadas, sino que se puede ir de una fase a otra, sin ningún orden especial, cuantas veces sea necesario.

Flujo. Ver variable de flujo.

Intervalo de simulación. Se denomina intervalo de simulación o periodo de discretización al paso de integración utilizado en un método de integración de paso fijo. Su elección es de vital importancia para el éxito de la simulación, pues aunque el modelo de un sistema sea totalmente válido y el método de integración sea adecuado a la dinámica del sistema, una elección incorrecta del intervalo de simulación puede conducir a unos resultados de simulación totalmente diferentes a los del sistema real.

Lenguaje sistémico. Forma de comunicación entre los investigadores dedicados a la Dinámica de Sistemas. Está constituido básicamente por el diagrama de influencias, el diagrama de Forrester y el modelo matemático. Existen varios entornos informáticos especializados en este tipo de lenguaje, los más conocidos son: DYNAMO, ITHINK, POWERSIM, STELLA y VENSIM.

Método de Euler. El método de Euler es el método numérico más simple de integración de ecuaciones diferenciales, se basa en aproximar la derivada respecto al tiempo de una función por el siguiente cociente de incrementos

$$\frac{df(t)}{dt} \cong \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t}$$

Siendo Δt el intervalo de simulación. La simplicidad del método de Euler lo hace especialmente adecuado para reducir un modelo matemático a un conjunto de ecuaciones algebraicas y poder utilizar, previa ordenación de las ecuaciones, una calculadora o un lenguaje de propósito general en la simulación.

Método de integración. Se denomina método de integración a cualquier procedimiento numérico de integración de ecuaciones diferenciales. Es totalmente imprescindible cuando se desea simular el comportamiento de un sistema dinámico. Existen muchos métodos de integración; el más elemental y por tanto con más limitaciones es el método de Euler, y el más conocido por su eficacia es el método de Runge-Kutta.

Modelado. Ver proceso de modelado.

Modelo. Es un objeto artificial construido para representar de forma simplificada a un fenómeno o sistema real. Existen varios tipos de modelos: mental, matemático, informático, etc...

Modelo formal. Ver modelo matemático.

Modelo informático. Modelo matemático de un sistema, susceptible de ser programado en un computador, para simular el comportamiento de éste.

Modelo matemático. El modelo matemático o modelo formal de un sistema es el conjunto de ecuaciones que describen su comportamiento. Sólo cuando entre dichas ecuaciones exista alguna ecuación diferencial, se podrá hablar de modelo dinámico, en el resto de los casos, el modelo es estático. Dado el modelo dinámico de un sistema siempre será posible obtener el modelo estático, basta con anular todas las derivadas, en definitiva todos los flujos netos que afectan a las variables de estado.

Modelo mental. Representación informal de un cierto aspecto de la realidad, pero muy valiosa pues suele recoger la experiencia de los especialistas en el problema correspondiente. Suele ser el punto de partida del proceso de modelado en Dinámica de Sistemas.

Nivel. Ver variable de estado.

Nube. Símbolo empleado en los diagramas de Forrester para indicar una fuente inagotable o un sumidero de una variable de nivel.

Parámetro. Variable cuyo valor permanece constante durante la simulación, pero que de una a otra simulación puede cambiar su valor. Mientras que en el diagrama de influencias no se suele incluir este tipo de variables, pues no es preciso llegar a ese nivel de detalle, si es obligatorio incluirlas en el diagrama de Forrester.

Parámetro k. El parámetro k es muy utilizado en Dinámica de Sistemas para expresar la proporcionalidad (fracción por unidad de tiempo) entre el flujo y el estado en un bucle elemental de realimentación negativa o positiva. En el primero la proporcional tiene signo negativo, $F = -k x$, y en el segundo positivo, $F = k x$.

Paso de integración. El paso de integración es el intervalo de tiempo que debería utilizar el método de integración para resolver las ecuaciones diferenciales con la precisión exigida por el usuario. El intervalo de integración dependerá en todo instante de la evolución temporal de las variables del sistema, por tanto de la dinámica de éste y del instante en el que se encuentre, pero ello sólo se cumple en los métodos de integración de paso variable. El método de Euler y del Runge-Kutta son métodos de integración de paso fijo, que utilizan el intervalo de simulación fijado por el usuario.

Proceso de modelado. Proceso mediante el cual se construye un modelo de un aspecto problemático de la realidad. El modelado en Dinámica de Sistemas comprende tres pasos fundamentales, aunque no obligatorios, antes de llegar al modelo matemático que pueda ser programado y validado en un computador: la elaboración de un modelo mental, su paso a un diagrama de influencias y su conversión en un diagrama de Forrester.

Realimentación. Proceso en virtud del cual se recibe continuamente información de los resultados provocados por las acciones tomadas previamente, de modo que las acciones futuras se pueden decidir a partir de esa información y de los objetivos propuestos. La estructura de influencias correspondiente a un proceso con realimentación es por tanto circular.

Realimentación negativa. Bucle de realimentación en el que se combinan un número impar de relaciones de influencia negativas y cualquier número de relaciones de influencia positivas. Un bucle elemental de realimentación negativa tiene un comportamiento estabilizador, ver bucle regulador. Un sistema donde predominen los bucles de realimentación negativos tiende a mantener invariantes los valores de sus variables, y a restituirlos cuando han sido modificados por efecto de una perturbación exterior.

Realimentación positiva. Bucle de realimentación en el que se combinan un número par de relaciones de influencia negativas y cualquier número de relaciones de influencia positivas. Un bucle elemental de realimentación positiva tiene un comportamiento inestable, ver bucle reforzador. Un sistema donde predominen los bucles de realimentación positivos manifiesta un crecimiento sin límites en presencia de una perturbación exterior.

Retraso. El retraso es una característica inherente en muchos sistemas, bien porque hay elementos del sistema que provocan retenciones al paso de material o porque no existe inmediatez entre una acción concreta y sus consecuencias. El primer tipo de retraso se considera como un retraso en el canal de material y el segundo tipo como un retraso en el canal de información.

Simulación. La simulación es un proceso que tiene como objetivo generar las trayectorias que ilustran el comportamiento de un sistema dinámico. En la simulación es habitual hacer uso de un modelo matemático, programado en un computador, pero también se puede llevar a cabo mediante calculadora si previamente se han hecho las oportunas aproximaciones de las derivadas (ver método de Euler).

Sistema. Es un objeto formado por un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación, y del que interesa fundamentalmente su comportamiento global.

Sistema Dinámico. El término dinámico se emplea por oposición al de estático y con él se quiere expresar el carácter cambiante en el tiempo de aquello que se está adjetivando con ese término.

Tasa de crecimiento k . La tasa de crecimiento es un parámetro utilizado en bucles elementales de realimentación positiva, que se pone de manifiesto en el crecimiento exponencial del estado. Representa el tanto por uno de crecimiento que experimentará el estado $x(t)$, por unidad de $x(t)$. Expresa la proporcionalidad (ver parámetro k) entre el flujo y el estado.

Teoría de Sistemas o Sistémica. La Teoría de Sistemas o Sistémica es un punto de confluencia de estudiosos y especialistas de diferente procedencia, cada uno con su

bagaje metodológico y los sesgos propios de la disciplina de la que procede, pero con un interés común: el estudio de sistemas complejos.

Tiempo de duplicación t_d . El tiempo de duplicación es una característica del crecimiento exponencial, se define como el tiempo que tarda el estado $x(t)$ en duplicarse. Su determinación experimental se puede hacer a partir de cualquier instante de tiempo, pues es una característica inherente al comportamiento exponencial. Está inversamente relacionado con la tasa de crecimiento por la expresión

$$t_d = \frac{\ln 2}{k} \cong \frac{0.7}{k}$$

Transitorio. Conjunto de trayectorias que describen las variables del sistema a lo largo de tiempo al pasar de un estado estacionario inicial a otro estado estacionario final.

Trayectoria. Representación gráfica del comportamiento de una variable. Normalmente en abscisas se representa el tiempo, y en ordenadas la variable correspondiente.

Validación del modelo. Todo proceso de modelado debe incluir una fase final de evaluación o validación del modelo, en la que, por medio de simulaciones más o menos intensivas, se puedan probar todas las hipótesis y todos los modos de comportamientos que han servido para construir el modelo.

Variable. Atributo de un sistema al que se puede asociar una medida mediante un número real y cuyo valor puede cambiar a lo largo del tiempo.

Variable auxiliar. En Dinámica de Sistemas se llama variable auxiliar a toda aquella variable que representa un paso intermedio en el cálculo de una variable de flujo.

Variable de flujo. Variable que representa el cambio que sufre una determinada magnitud por unidad de tiempo. En Dinámica de Sistemas, toda variable de estado tiene asociada una o varias variables de flujo.

Variable de estado o de nivel. Variable correspondiente a un proceso de acumulación (integración) de una o varias variables de flujo. Son las variables más representativas de un sistema dinámico y las únicas que guardan información (estado del sistema) en ausencia de perturbación o de excitación externa.

Variable exógena. En Dinámica de Sistemas se llama variable exógena a toda aquella variable que afecta al sistema pero que no es afectada por ninguna otra del sistema.

Vida media VM. La vida media es una característica del crecimiento o decrecimiento asintótico que se manifiesta en los bucles elementales de realimentación negativa. Si el sistema evoluciona desde un estado inicial $x(0)$ a un estado objetivo final x_d , el estado $x(t)$ habrá alcanzado el 50% de la distancia que separa el estado inicial del estado final cuando haya transcurrido un tiempo igual a la vida media. El valor de la vida media está inversamente relacionado con la fracción de tiempo (ver parámetro k) por la expresión

$$VM = \frac{\ln 2}{k} \cong \frac{0.7}{k}$$