



Universidad Tecnológica Metropolitana
Facultad de Ingeniería
Escuela de Industria

Diagramas de Forrester

“El diagrama característico de la dinámica de sistemas”

Marchant

Integrantes: Luis Caro Garcia
Carolina Goyhenecha

Mauricio Moscoso Quiroz
Marco Sepúlveda Montecino

Sección: 3

Profesor: Robinson Cofré.

Fecha de Entrega: 29/11/06

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
1. DINAMICA DE SISTEMAS	4
2. JAY WRIGHT FORRESTER.....	5
3. DIAGRAMAS DE FORRESTER	
3.1 Definición.....	6
3.2 Simbología y comportamiento.....	7
3.3 Elementos.....	9
3.3.1 Variable de estado	
3.3.2 Variable de flujo	
3.3.3 Variables auxiliares	
3.4 Ejemplos.....	10
4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	17
5. BIBLIOGRAFÍA	18

INTRODUCCIÓN

En la década de los sesenta se consolida, un formalismo y una metodología, de carácter muy diferente, para el modelado de sistemas dinámicos.

El ingeniero con formación en Control Automático, trabajando en el modelado de sistemas industriales y urbanos, Jay W. Forrester, sentó en el MIT las bases de lo que sería la dinámica de sistemas, básicamente una metodología de modelado para sistematizar la construcción de modelos continuos basados en sistemas de ecuaciones diferenciales temporales, no lineales y multivariantes, empleando diagramas causales y los posteriormente denominados diagramas de Forrester.

Forrester construyó un puente entre los métodos empleados por los ingenieros en problemas tecnológicos y los métodos específicos de estudio de sistemas sociales. Al igual que ocurre en la automática, la búsqueda de los lazos de realimentación que operan dentro de un sistema y la forma en que estos determinan el comportamiento dinámico del mismo constituye la piedra angular sobre la que descansa la Dinámica de Sistemas.

Un aspecto notable del método es su enorme capacidad descriptiva. Un diagrama de flujo es una descripción gráfica del sistema en estudio construida de acuerdo a unas determinadas reglas. La claridad de estos diagramas en cuanto representación de la estructura global del sistema y de las relaciones entre las variables que lo constituyen es tan sorprendente que los modelos pueden ser presentados a no especialistas y ser inmediatamente entendidos.

El objetivo era la construcción del modelo, y el análisis se limitaba básicamente a la simulación.

En nuestro Informe, se dará a conocer el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas, realizado por Jay W. Forrester, donde empezamos dando una reseña de la dinámica de sistemas, continuando con la definición de modelos, para luego describir el diagrama en sí, con sus distintas características, simbología y ejemplos.

1. DINAMICA DE SISTEMAS

Un sistema dinámico es un **sistema complejo** que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo. El comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; éstos representan su estructura a través de modelos. El concepto de sistema dinámico, aporta un lenguaje mas elaborado que permite generar el comportamiento de uno o mas bucles de realimentación.

Respecto a la metodología utilizada, la Dinámica de Sistemas, no comentaremos la historia ni las aplicaciones de esta metodología. Unicamente citaremos que la fama de la Dinamica de Sistemas se debe en gran parte a los modelos del mundo de Forrester (En este informe, analizaremos el proceso básico de construcción de esta clase de modelos).

Podemos decir que se siguen las siguientes etapas: En primer lugar es necesaria la percepción clara del sistema, los elementos esenciales y sus relaciones.

Como estudiamos en clases, la percepción se plasma en lo que se denomina Diagrama Causal. El Diagrama Causal muestra los elementos definidos en el modelo y las relaciones que existen entre ellos. Así, se dice que cuando un elemento influye en otro existe una relación causal. Esta, es positiva cuando un incremento del primero produce un incremento del segundo, y negativa en caso contrario.

El Diagrama de Flujos o de Forrester (véase a continuación) muestra estos mismos elementos clasificados en niveles, flujos y variables. En base a este Diagrama se escriben las ecuaciones, en lenguaje Dynamo, se procesan en el ordenador para obtener el comportamiento del sistema, que permita mejorar la percepción del sistema, repitiendo todo este proceso en sucesivas ocasiones, y realizar finalmente simulaciones.

2. JAY W. FORRESTER



Es considerado el padre de la [Dinámica de sistemas](#), una disciplina reciente que representa una extensión a toda clase de sistemas complejos de conceptos aplicados originalmente en ingeniería.

Forrester nació en 1918 en Nebraska, EUA, y después de haber obtenido el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Nebraska, continuó sus estudios en el MIT

Forrester, que inventó memoria de acceso aleatorio del magnético-corazón durante la primera onda de calculadoras numéricas modernas, también inició el campo de la dinámica del sistema -- análisis del comportamiento de sistemas. Él persigue tres intereses principales basados en dinámica del sistema: el modelo nacional de la dinámica del sistema, que genera los modos observados principales del comportamiento económico; una nueva educación de la gerencia basada en la complejidad inherente, dinámica de todas las partes relacionadas de una corporación y las trae en un sistema unificado; y dinámica del sistema como metodología para dar la cohesión, el significado, y la motivación a la educación de la pre-universidad.

Él comenzó su carrera como ingeniero eléctrico que trabajaba en los servomecanismos y las calculadoras numéricas en grande. Él era responsable del diseño y de la construcción del torbellino I, una de las primeras calculadoras numéricas de alta velocidad.

En 1956, profesor Forrester comenzó en un **grupo de Dinámica de Sistemas** en la escuela de Sloan y con ella, el campo de la dinámica del sistema. Los cinco libros que él ha escrito en dinámica del sistema están disponibles en la **comunicaciones de Pegasus** en Waltham, Massachusetts.

Actualmente se encuentra trabajando en el proyecto modelo nacional, un modelo de la computadora grande de la economía de los E.E.U.U. Él es también el director de la **dinámica del sistema en el proyecto de la educación (SDEP)**, que está desarrollando maneras de utilizar la dinámica y la computadora del sistema que modelan como fundación

para una nueva clase de jardín de la infancia.

3. DIAGRAMAS DE FORRESTER

3.1 Definición

Los diagramas de Forrester (DF) son herramientas específicas de modelado de la dinámica de sistemas (DS), que es una metodología para el estudio y análisis de sistemas continuos complejos, mediante la búsqueda de relaciones entre los subsistemas (especialmente lazos de realimentación). Ésta mira al sistema como un "todo", empleando normalmente el computador para simulación. La génesis y el desarrollo de la Dinámica de Sistemas constituyen una manifestación del paradigma de sistemas.

La metodología para construir un modelo en DS puede resumirse en varios pasos, que se suceden de forma iterativa hasta que se consiga el ajuste deseado:

- 1 Conceptualización, que comprende:
 - a) identificación del sistema y sus partes,
 - b) búsqueda de las relaciones causales y lazos de realimentación,
 - c) construcción del diagrama causal.
- 2 Representación y formulación, que comprende:
 - d) construcción del DF,
 - e) escritura de las ecuaciones del sistema.
- 3 Análisis y evaluación, que comprende:
 - f) análisis del modelo (comparación con el modelo de referencia y análisis de sensibilidad).
 - g) evaluación e implementación del sistema.

En esta metodología se emplean dos modelos gráficos, los diagramas causales y los diagramas de Forrester, y el modelo de ecuaciones diferenciales deriva directamente del último. Los diagramas causales muestran cualitativamente las relaciones entre las partes (subsistemas) mediante flechas, con un signo que indica si la relación es positiva o negativa, lo que permite buscar los lazos de realimentación.

3.2 Simbología y comportamiento

Los diagramas de Forrester proporcionan una representación gráfica de los sistemas dinámicos (ver figura 1), modelando cualitativamente las relaciones entre las partes mediante símbolos que corresponden a una interpretación hidrodinámica del sistema.

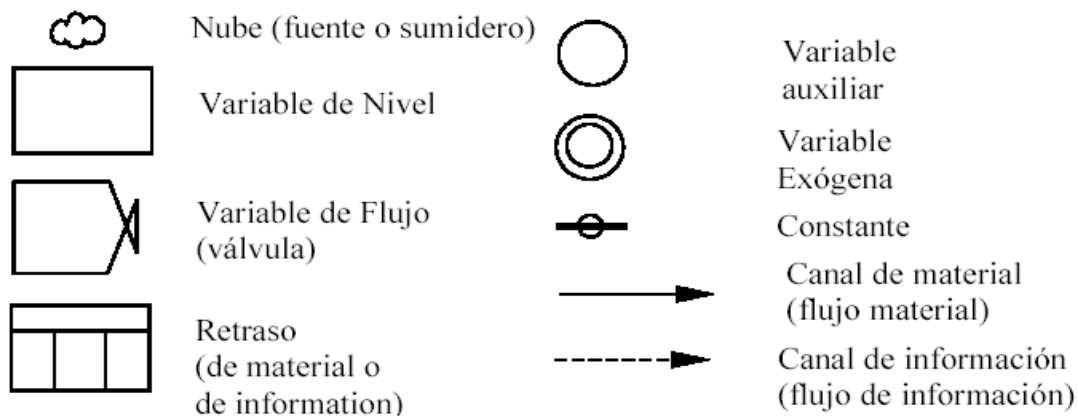


Figura 1: Elementos de los Diagramas de Forrester

Los **niveles** corresponden a las variables de estado de la teoría de sistemas, y representan las variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema.

Los niveles acumulan material a través de los *canales de material*, que son controlados por las válvulas. El flujo de material es estrictamente conservativo (conservación en torno a las válvulas).

Las **válvulas** (**variables de flujo**) definen el comportamiento del sistema, ya que determinan la velocidad del flujo de material (a través de los canales de material) de acuerdo a un conjunto de ecuaciones asociadas. Las ecuaciones dependen de la información que las válvulas reciben del sistema (niveles, variables auxiliares y parámetros) y del entorno (variables exógenas). La información se transmite instantáneamente a través de los **canales de información**.

Las **variables auxiliares** corresponden a pasos intermedios en el cálculo de las funciones asociadas a las válvulas; se utilizan para simplificar el proceso, bien porque ciertos cálculos matemáticos se emplean en varias ecuaciones o bien porque tienen cierto significado o interpretación física que puede ser interesante observar, pero en cualquier caso no aportan más potencia de modelado.

Las **nubes** representan fuentes y sumideros, es decir, una no determinada (infinita) cantidad

de material, y las *constantes (parámetros)* representan simplemente valores fijos del sistema. La interacción del sistema con el exterior se representa con las *variables exógenas*, cuya evolución se supone independiente a la del sistema. Los **retrasos** pueden afectar a la transmisión de material o de información, pero en ambos casos tampoco introducen mayor capacidad descriptiva, ya que simplemente representan en notación compacta los elementos que producen tal retraso.

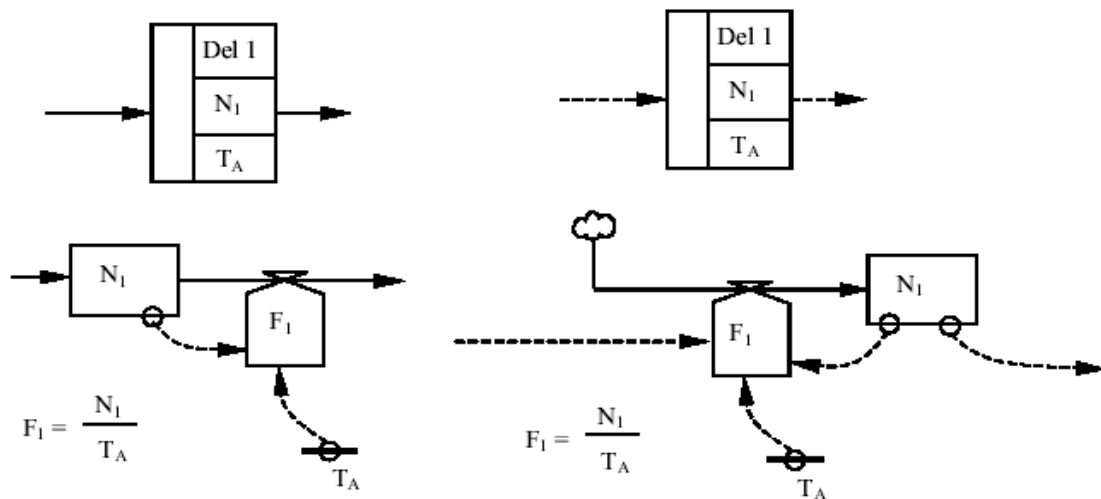


Figura 2: Retrasos de primer orden en flujos de material e información en diagramas de Forrester.

El interés de la analogía reside en que indica que un modelo en DF es equivalente a un sistema de ecuaciones de primer orden (eventualmente no lineales y dependientes del tiempo), y viceversa. Las ecuaciones del modelo son simplemente la representación analítica del DF, y permiten no sólo la simulación del modelo, sino también la aplicación de modernas técnicas de teoría de control.

3.3Elementos

Analizando cada uno de ellos, tenemos:

3.3.1 Variables de Estado

Los niveles son conocidos también como acumulaciones o variables de estado. Los niveles varían a través de un período de tiempo. Los niveles cambian en función de los flujos o válvulas y en algunas ocasiones por variables auxiliares.

La elección de los elementos que se presentan por variables de estado, en un modelo determinado, dependen del problema específico que se está considerando. En la elección de estas variables desempeña un papel primordial, la experiencia del diseñador del modelo.

3.3.2 Variables de Flujo

Las variables de flujos determinan las variaciones en los estados del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes estados. Es decir, determinan como se convierte la información disponible en una acción o actuación.

A las variables de flujo se le asocian ecuaciones que definen el comportamiento del sistema.

3.3.3 Variables Auxiliares

Una variable auxiliar es aquella que realiza cálculos auxiliares. Las variables auxiliares se introducen al modelo para dar una mayor claridad de los pasos que se llevan a cabo para hacer los cálculos que dan como resultado cambios en las variables de nivel. En muchas ocasiones las variables auxiliares determinan el valor de una variable de flujo y la variable de flujo es la que determina como se comporta una variable de nivel. De vez en cuando, las variables auxiliares llevan a cabo cálculos que determinan directamente el comportamiento de un nivel, en estos casos es cuando no tiene mucho sentido la utilización de flujos, especialmente cuando cambian los flujos de información.

3. 4 Ejemplos

En este punto, desarrollaremos algunos ejemplos elementales de aplicación de la dinámica de sistemas con el fin de ilustrar los conceptos vertidos anteriormente.

Ejemplo 1:

Llenado de un vaso de agua

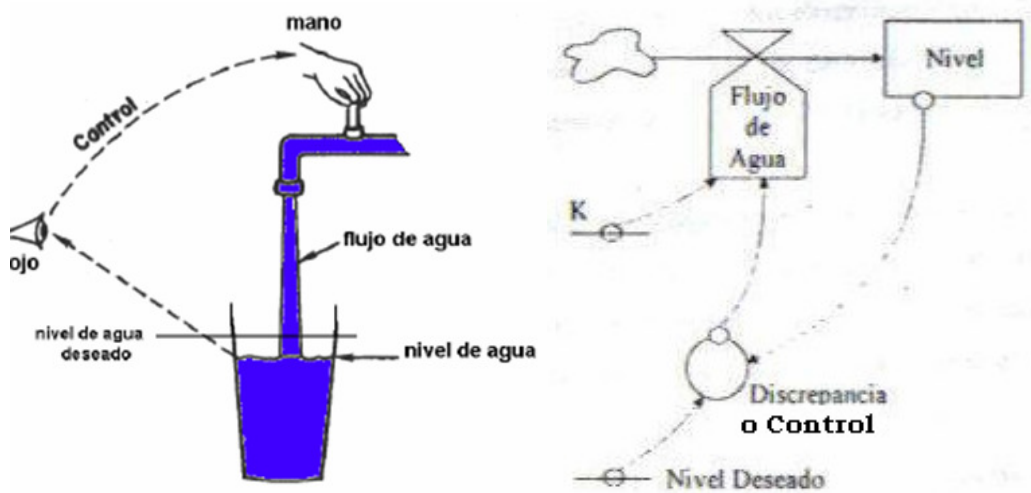


Figura 3: A la derecha el Diagrama de Forrester, modelo llenado de un vaso de agua

A la izquierda se presenta el sistema cuyo mapa conceptual sistemodinámico (diagrama de Forrester) aparece a la derecha del dibujo. El nivel de agua en el vaso es controlado por el flujo de agua hacia el vaso, el que a su vez es regulado por la posición del grifo, que a su vez es ajustada por la persona de acuerdo con la brecha entre el nivel de agua en el vaso y el nivel deseado.

El flujo circular de información y materia constituye un bucle de realimentación o cadena circular de causas y efectos.

Ejemplo 2:

Presa/depredador (*)

Rabbits: Conejos

Rabbits Births: Nacimientos de Conejos

Rabbits natural deaths: Muertes de Conejos

Captures: Capturas

Foxes: Zorros

Foxes Births: Nacimientos de Zorros

Foxes deaths: Muerte de Zorros

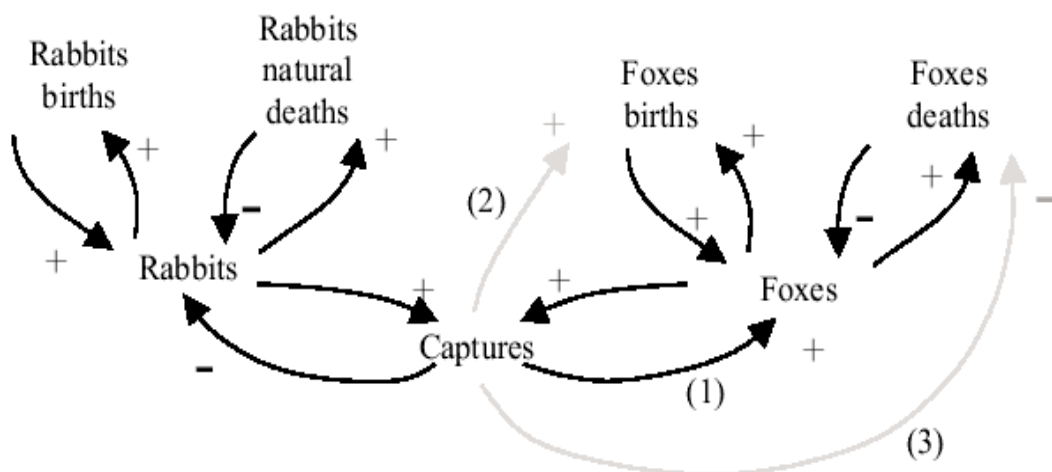


Figura 4: Diagrama causal del modelo básico presa/depredador. (**)

(*) Podemos clasificar este modelo como básico.

(**) Hay que destacar que las capturas deberían influir en los depredadores a través de los nacimientos y las

muertes de éstos (relaciones (2) y (3) de la figura) en vez de directamente (1), pero para simplificar el modelo, las relaciones (2) y (3) se han simplificado por la relación equivalente (1)

El DF que se obtiene a partir del diagrama causal anterior se muestra en la figura 4, incluyendo las ecuaciones de flujo que deben aparecer para describir totalmente el modelo.

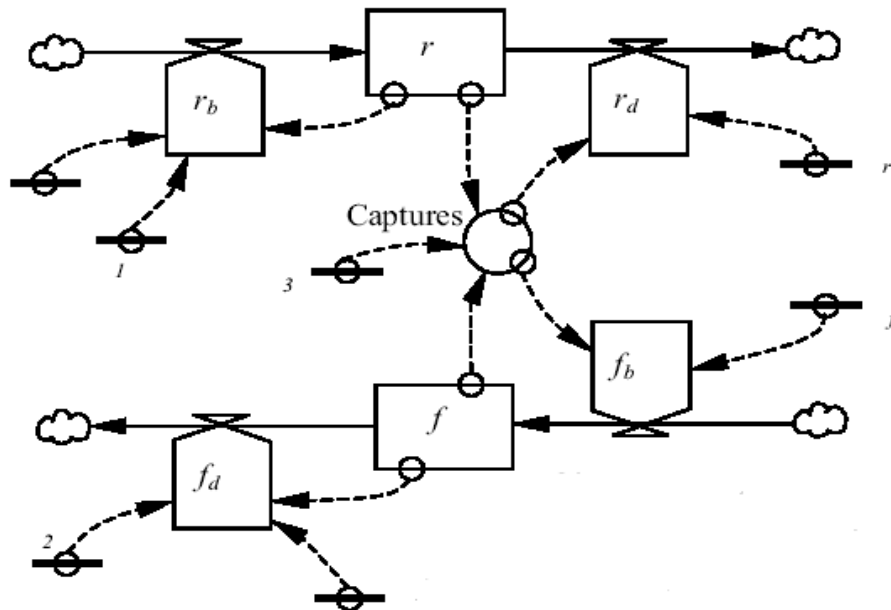


Figura 5: Diagrama de Forrester, modelo presa/depredador

Según Forrester:

Conejos (r) }
Zorros (f) } **Variables “Nivel” (variable de Estado)**

Cb, Conejos Vivos }
Cd, Conejor Muertos } **Variable “Flujo”**
Fb, Zorros vivos }
Fd, Zorros Muertos }

Captures } **“Discrepancia” (Variable auxiliar)**

También encontramos constantes, “**nivel deseado**” y las “**nubes**”, que representan un

estado, que no tiene interés y prácticamente es inagotable.

Ejemplo 3:

Modelo Empresa.(*)

Aquí encontramos un modelo más elaborado, donde estudian una empresa Innovadora. Primero, realizan el Diagrama Causal, para luego analizar las distintas áreas de la organización.

En este ejemplo, solo se analizó el área I+D (Investigación y Desarrollo)

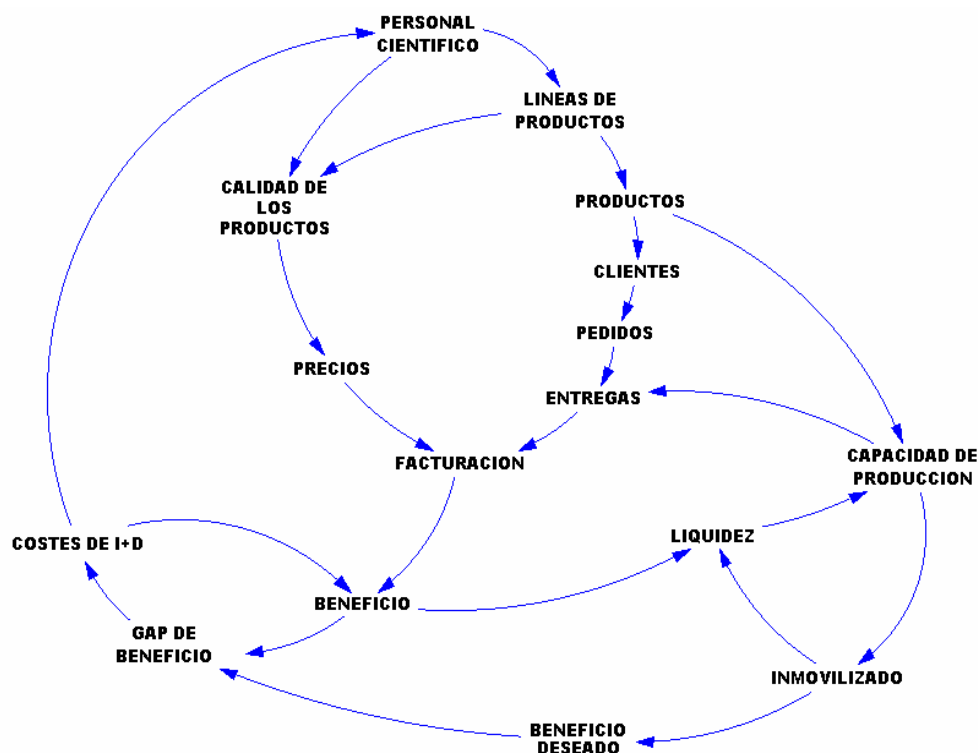


Figura 6: Diagrama Causal

Podemos ver como los gastos de I+D permiten contratar al personal científico, el cual genera líneas de productos que dan origen a unas entregas en base a la capacidad de producción existente. Por otra parte, la calidad de los productos influye en el precio, y este junto con las entregas nos define la facturación. La facturación permite obtener un cierto beneficio.

(*) Fuente: Juan Martin García, artículo: DESARROLLO SOSTENIBLE DE EMPRESAS INNOVADORAS, Catedra: Dinámica de Sistemas.

La situación de la tesorería limita el volumen de la capacidad de producción. Por su parte el inmovilizado, que es la plasmación contable de la capacidad de producción, condiciona el beneficio deseado, el cual, cuando es superior al beneficio real tiende a reducir los gastos de I+D.

Una visión global nos permite observar la existencia de bucles positivos y negativos. Los primeros por si solos conducirán a la empresa a un crecimiento exponencial o a un rápido colapso. Los negativos actúan de estabilizadores de los anteriores.

El modelo se divide en tres grandes áreas, que son el Area de I+D, el Area de Producción y Mercado, y el Area Financiera y de Gestión, pero en este ejemplo, solo analizaremos el área I+D.

Podemos observar claramente cuales son las entradas y salidas de cada una de las áreas. Así el Area de I+D recibe como entrada los gastos de I+D, procedentes del Area Financiera y de Gestión, dando como salida unos productos con una cierta calidad. El Area de Producción y Mercado recibe estas salidas, juntamente con la situación de la tesorería y da como salidas unas entregas, a un precio, y una determinada capacidad de producción. Por último el Area Financiera y de Gestión en base a estas entradas ofrece como salida unos determinados gastos de I+D.

Veremos a continuación uno de los principales elementos y relaciones del modelo.

AREA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

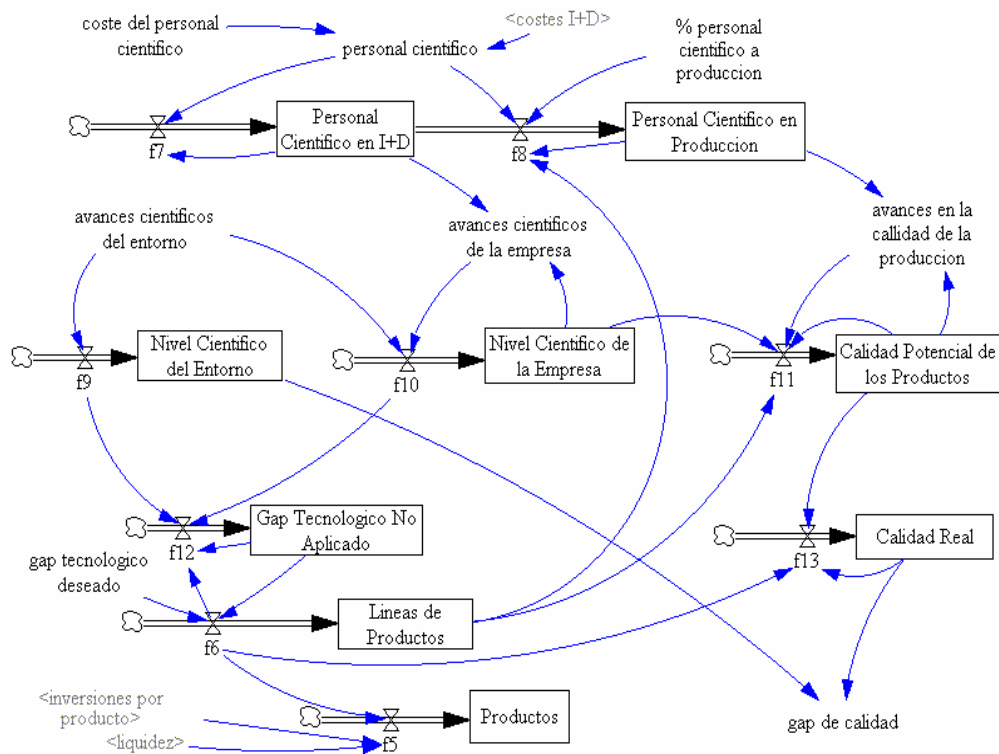


Figura 7: Diagrama de Forrester I+D

Personal científico: Son las personas que pueden contratarse en base a los gastos de I+D. El personal científico se desagrega en dos grupos, el de Personal científico destinado a I+D, y el de Personal científico destinado a producción. Si bien inicialmente todo el personal científico se dedica a I+D, tras el lanzamiento de la primera línea de productos se distribuye entre los dos colectivos.

Avances científicos: Los avances científicos propios, evolucionan en base al número de empleados dedicados a investigación y se ven frenados por la dificultad científica del área de trabajo escogida, y por el nivel científico del trabajo de I+D de la empresa.

Dificultad científica: Recoge el grado de dificultad científica del área en la que la empresa desea introducir sus productos, que puede ser alto si desea ofrecer productos de tecnología

punta, o bajos en caso contrario.

Nivel científico: El nivel científico del entorno recoge los avances científicos del entorno. El nivel científico propio, con el supuesto de que hay una fluida relación con el entorno, se incrementa tanto en función de los avances científicos propios como de los avances del entorno. Ya inicialmente toma un valor superior al del entorno, recogiendo las investigaciones previas a la creación de la empresa.

Calidad potencial de los productos: Evoluciona teniendo en cuenta el nivel científico propio y los avances en la calidad de la producción. El aumento de líneas de productos provoca deseconomías que repercuten en menores incrementos de calidad.

Calidad real: Es igual a la calidad potencial en el momento de lanzar la línea de productos, y se considera que no varía hasta el lanzamiento de una nueva línea.

El Gap de Calidad es el porcentaje en el que la calidad de los productos de la empresa supera tecnológicamente al entorno. Este Gap tiene una clara influencia en el precio del producto.

Gap tecnológico no aplicado: Recoge los esfuerzos de investigación dedicados a crear una nueva línea de productos, que todavía no se han aplicado por no haber alcanzado una gap tecnológico deseado con los conocimientos del entorno.

Se incrementa en base a la diferencia entre el nivel científico propio y el nivel científico del entorno. Disminuye, al aplicarse en líneas de productos.

Líneas de productos: Indica en número de líneas que han tenido éxito y sirven de base para la creación de productos. En estas empresas no se generan los productos de forma aislada, sino que la obtención de un producto tipo genera

una cierta diversidad de productos al objeto de atender las necesidades específicas más comunes entre los clientes.

Las líneas de productos se generan cuando el Gap Tecnológico no aplicado supera en un valor deseado al nivel científico del entorno. Esta constante permite simular diferentes posiciones de entrada en el mercado.

Productos: Con posterioridad a la obtención de una línea, se van generando productos, que no son más que diferentes aplicaciones para los problemas específicos de los clientes, desarrollados sobre una única base científica, que es la línea de investigación llevada a cabo.

Esta variable recoge los productos que se comercializan, no los que potencialmente podrían hacerlo, debido a que existen limitaciones en el volumen de inversiones. Así se lanzan

productos únicamente mientras que la tesorería disponible permite financiar las nuevas inversiones en inmovilizado.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

El Diagrama de Flujos, también denominado Diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas. Es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que facilita la escritura de las ecuaciones en el ordenador. Básicamente es una reclasificación de los elementos.

No hay reglas precisas de como hacer esta transformación, pero si hay algunas forma de abordar este proceso, como por ejemplo: Hacer una fotografía mental al sistema , buscar o crear elementos que sean "la variación de los Niveles", (personas/día, litros/hora, ...) y el resto de elementos del sistema, Variables Auxiliares.

A través de éste trabajo, se pudo entender claramente que el diagrama de Forrester es un paso intermedio entre el diagrama causal y el diseño del diagrama digitalizado por computador (simulación), que nos sirve para la profundización del diagrama causal y una buena explicación de algún sistema cualquiera.

También se debe tener en claro que cualquier trayecto a través del diagrama de un sistema debe encontrar alternativamente estados y flujos y nunca dos variables del mismo tipo de sucesión (excepto cuando se encuentren variables auxiliares).

Otra observación a considerar, es que los procesos fundamentales que tiene lugar a un sistema los podemos caracterizar a través de flujos y estados, es recomendable crear un sistema dinámico para tener una idea mas clara y poder desarrollar un buen diagrama para el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/Dinamica/sdpo.htm>
- <http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/n1/1-1.pdf>
- http://www.prlsamp.org/what_is_prlsamp/Major_Events/annual_best_practices_conference/2003/Joaquin_Medin/CV_Joaquin_Medin_SDI.pdf
- http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIII/documentos/ja02_076.pdf
- <http://sysdyn.clexchange.org/people/jay-forrester.html>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Jay_Forrester
- Artículo “DESARROLLO SOSTENIBLE DE EMPRESAS INNOVADORAS”. Juan Martín García