

LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO

Systems dynamics and the limits to growth

Marco Aurelio Zevallos Y Muñiz*

Danilo Gómez Peñaherrera*

Resumen

El artículo muestra la importancia de la Dinámica de Sistemas como técnica para realizar prognosis en diferentes áreas.

El origen de esta técnica se da con los trabajos de Forrester y su aplicación al modelo de "Los Límites del Crecimiento" que se realizó en el MIT. Se hace un seguimiento de los diferentes cambios y aproximaciones que se han dado durante los últimos 40 años sobre el tema de "Los Límites del Crecimiento", lo que permite ver las diferencias que se han ido dando en este enfoque.

Posteriormente se muestra una de las tantas aplicaciones donde se usa la Dinámica de Sistemas. En este caso se trata de analizar detalladamente el caso de la Fiebre Amarilla. Se explica la metodología paso por paso; lo que permitirá una mayor profundización de los interesados.

Cabe resaltar que la técnica de Dinámica de Sistemas nace como una aplicación en las áreas de las ingenierías. Sin embargo esta metodología se ha ido expandiendo a muchas otras especialidades.

Palabras clave: *Modelo de Crecimiento, Límites de Crecimiento, Dinámica de Sistemas, Diagramas de Forrester.*

Abstract

The article shows the importance of the System Dynamics as a technique for prognosis in different areas.

The origin of this technique is given with Forrester and your application work the model of "The limits of growth" that took place at MIT. Of the different changes and approaches that have occurred during the past 40 years on the topic of "The limits of growth", tracking which allows you to see the differences that have been taking place in this approach.

Demonstrates one of the many applications where the system dynamics is used subsequently. In this case it's analyze in detail the case of yellow fever. The methodology is explained step by step; allowing a greater deepening of stakeholders.

It should be noted that the technique of system dynamics is born as an application in the areas of engineering. However this methodology it has expanded to many other specialties.

Key words: Limits to growth, Model of growth, Dynamics of systems, Diagrams of Forrester

INTRODUCCIÓN

Este artículo está dividido en dos grandes partes. La primera trata sobre el famoso informe elaborado por el MIT por encargo del Club de Roma titulado “Los Límites del Crecimiento” y la segunda sobre el instrumento que se usó para elaborar dicho modelo, que es la “Dinámica de Sistemas”.

En la primera parte se comienza haciendo un resumen del origen del Club de Roma para después mostrar las principales conclusiones a las que se llegaron en el primer informe elaborado por el MIT.

Acá se mencionan los diferentes parámetros que influyen en los límites del crecimiento como es la producción de energía, alimentación y otros.

Posteriormente se hace un resumen de las conclusiones que se elaboraron en los diferentes informes que se fueron actualizando durante los diferentes años hasta llegar al último que se hace cuarenta años después.

Es importante ver el impacto que causaron estos informes, que pasaron desde desprestigiarlo hasta ver que hoy en día se toma muy en cuenta las conclusiones a nivel general.

Las preocupaciones por la protección del medio ambiente a nivel mundial, se puede decir que tuvieron su origen en el informe original y los posteriores, tal es el caso de la prohibición de los CFC para la protección de la capa de Ozono pero existen otros fracasos como el lograr la disminución de los compuestos que contribuyen al calentamiento global. Teniendo en el Protocolo de Kioto el más grande fracaso.

Esta primera aproximación no es nueva considerando que muchas de las técnicas de la ingeniería se vienen usando en las ciencias sociales. Como ejemplo de esto tenemos las Matemáticas Discretas; la Teoría de Grafos; la Inteligencia Artificial, los Bonds Graph entre los principales.

La segunda parte del informe trata sobre la herramienta que se usó para efectuar el modelo y el respectivo análisis de dicho modelo.

La técnica usada fue la Dinámica de Sistemas, la cual se sigue utilizando hasta el momento

y que cada vez tiene más aceptación en la Especialidad de Ingeniería de Sistemas y de otras ramas, como las Ciencias Económicas y las Ciencias Sociales.

Esta técnica comienza con la elaboración de los Diagramas Causales para continuar con la elaboración de los Diagramas de Forrester, de ahí se pasa a la elaboración de las ecuaciones correspondientes al sistema para finalmente ser tratadas con uno de los múltiples paquetes de software que hay en el mercado.

Se desarrolla la técnica de la Dinámica de Sistemas para mostrar la aplicación directa que se tiene, en este caso específico el de la “Fiebre Amarilla”, con la finalidad de mostrar la versatilidad del método

Se termina el artículo presentando unas conclusiones sobre los informes presentados así como sobre la metodología empleada.

CLUB DE ROMA

La iniciativa de la fundación del Club de Roma, se debe a Aurelio Peccei, industrial y académico Italiano, quien conjuntamente con Alexander King, científico Escocés, crean dicha institución en la reunión que tuvo lugar entre el 7 y 8 de Abril de 1968, en la Accademia dei Lincei en Roma; donde estuvieron cerca de 30 científicos y economistas europeos.

Giovanni Agnelli, nieto del fundador de la FIAT, heredero de la fortuna familiar y presidente de la fundación que lleva su nombre, patrocina la fundación del Club de Roma.

El objetivo principal de esta reunión fue la de analizar y discutir los problemas globales que afectaban a la humanidad, así como los problemas que se presentarían en el futuro.

El Club de Roma, se legaliza en 1970, bajo la legislación suiza.

El Club de Roma cuenta con más de 100 especialistas de aproximadamente 52 países, habiendo

publicado más de una treintena de informes; sobre todo en lo relacionado al medio ambiente.

En 1972, el Club publica un informe sobre Los Límites del Crecimiento, que se realizó por su encargo a los siguientes investigadores del M.I.T. Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J; Behrens, W.

Como consecuencia de este informe, se inició una toma de conciencia de los problemas medioambientales.

El Club de Roma, ha publicado un nuevo informe, titulado “2052: Una proyección para los próximos 40 años”. Dentro de otros se quiere lograr que el incremento de la temperatura del medio ambiente este por debajo de los 2° C.

EL INFORME MEADOWS O LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO

En el año 1972, se publica el informe “The Limits to Growth”. Elaborado en el MIT por Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J; Behrens, W.(1).

Para la realización de dicho informe, se usaron las técnicas de la Dinámica de Sistemas, técnica desarrollada por Jay Forrester (2) (3)], para modelar diferentes sistemas complejos, utilizando los Diagramas de Forrester; que se tratarán en la parte correspondiente a la Dinámica de Sistemas.

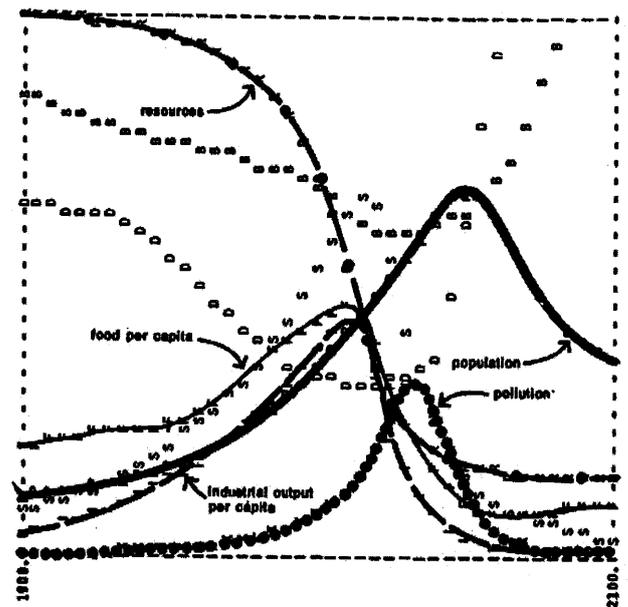
En dicho estudio se recopilaban datos sobre la evolución de los primeros setenta años del siglo XX.

Las variables analizadas entre otros, fueron:

- El crecimiento poblacional
- La producción industrial y agrícola
- La contaminación ambiental
- Las reservas de algunos minerales.

Se describieron las perspectivas de crecimiento para el siguiente siglo y las conclusiones a las que se llegaron fueron pesimistas.

En el siguiente gráfico se muestra un resumen de la información elaborada por los autores:



Las principales conclusiones del informe, se presentan de manera resumida, en el libro publicado por los mismos autores, 20 años después[4], y son las siguientes:

- “Si las actuales tendencias de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación, producción de alimentos y explotación de recursos continua sin modificaciones, los límites de crecimiento en nuestro planeta se alcanzará en algún momento dentro los próximos 100 años”
- “Es posible alterar estas condiciones de crecimiento y establecer unas condiciones de una estabilidad económica y ecológica, capaces de ser sostenida en el futuro”

MAS ALLÁ DE LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO (20 AÑOS DESPUÉS DEL PRIMER INFORME)

A iniciativa de Ricardo Diez Hochlitner, quien asumió la presidencia del Club de Roma en 1992, solicita a los mismos investigadores del M.I.T. una actualización del informe original.

Empleando la misma metodología con equipos más potentes llegan a las siguientes conclusiones (4):

- “La utilización humana de muchos recursos esenciales y la generación de muchos tipos de

contaminantes han sobrepasado ya las tasas que son físicamente sostenibles. Sin reducciones significativas en los flujos de materiales y energía, habrá en las décadas venideras una incontrolada disminución per cápita de la producción de alimentos, el uso energético y la producción industrial”.

- “Esta disminución no es inevitable. Para evitarla son necesarios dos cambios. El primero es una revisión global de las políticas y prácticas que perpetúan el crecimiento del consumo material y de la población. El segundo es un incremento rápido y drástico de la eficiencia con la cual se utilizan los materiales y las energías”.
- “Una sociedad sostenible es aún técnica y económicamente posible. Podría ser mucho más deseable que una sociedad que intenta resolver sus problemas por la constante expansión. La transición hacia una sociedad sostenible requiere un cuidadoso equilibrio entre objetivos a largo y corto plazo”.

LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO (30 AÑOS DESPUÉS DEL PRIMER INFORME) (5)

Doce años más tarde, en 2004, Donella H. Meadows, Jorgen Randers y Dennis L. Meadows publican *Límites del crecimiento: a los treinta años* (Limits to growth: the 30 years up date). El peligro aumenta. La urgencia de adoptar medidas también.

Federico Mayor Zaragoza (6), presenta el sumario de las conclusiones del libro, que son las siguientes:

- “Las señales se hallan en todas partes alrededor nuestro:”
- “El nivel del mar ha crecido entre 10 y 20 centímetros desde 1900. La mayoría de los glaciares (no polares) se están reduciendo y la extensión y espesor del hielo del polo Ártico decrece notoriamente, especialmente en verano”.
- “En 1998 más del 45% de los habitantes de la Tierra han tenido que vivir con ingresos que se sitúan alrededor de los 2 dólares diarios como

máximo. Entretanto, el 20% de la población ‘rica’ del mundo posee el 85% del PIB global. Y la fosa entre ricos y pobres no deja de ampliarse”.

- “En el año 2000, la FAO anunció que el 75% de la pesca en el océano estaba sobrepasando los límites que podrían garantizar su conservación”.
- “Lo mismo sucede con el suelo, que presenta una extraordinaria degradación de la tierra utilizada para explotación agrícola”.

“Está claro que son síntomas de un mundo explotado en exceso, del cual extraemos recursos más rápidamente de lo que pueden restablecerse, y liberamos productos de deshecho y contaminantes en mayor cantidad de la capacidad de la Tierra para absorberlos o hacerlos inocuos”.

“Todo ello nos está conduciendo a un colapso medioambiental y económico, aunque existen todavía posibilidades de tratar estos desafíos y reducir su impacto”.

LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO REVISADO (40 AÑOS DESPUÉS DEL PRIMER INFORME)

Ugo Bardi (7), en el 2011, publica el libro “Los Límites del Crecimiento Revisados”,

En dicho libro se presenta la historia de la publicación original, explicando el tema de los modelos y la simulación que se pueden hacer con ellos.

Menciona que tuvo objetivos muy ambiciosos para entender el dilema de la humanidad que define como “Un conjunto de Problemas Cruciales sobre el uso de los recursos del mundo”. Con la finalidad de lograr que el sistema económico mundial vaya a un nivel de sostenibilidad; lo que resultó muy difícil de llevar a la práctica.

Bardi, llega a las siguientes conclusiones:

- Existió una dificultad muy grande para entender el mensaje original. Que fue mal entendido y mal interpretado. Sobre todo,

porque se pedía detener la contaminación y desacelerar el crecimiento económico lo que generó “Una fuerte oposición de los poderosos lobbies industriales y políticos”

- El informe original se distribuyó masivamente lo que generó una serie de mecanismos cuya reacción no se pudo predecir. Surgieron muchos informes en contra como los escritos por Naomi Oreskes y Erik Conway titulado “Los Mercaderes de la Duda”(8); además del libro escrito por Thomas McGarity y Wendy Wagner, titulado “La Ciencia Distorsionada”(9).
- Bardi menciona que el estudio original fue “finalmente enviado al basurero de teorías científicas equivocadas”; debido a “una desinformación mediática y al efecto Cassandra”.
- Hubo mucha dificultad para poner en práctica “las acciones diseñadas”, para resolver los problemas mencionados ya que “a problemas globales, se requieren soluciones globales”
- Sin embargo a la fecha existen varios casos exitosos a nivel internacional para combatir “las amenazas ambientales”, tal es el caso el de la prohibición del uso de los compuestos CFC (Clorofluorocarbonos); con la finalidad de proteger a la capa de ozono y que la humanidad no este expuesta a los rayos ultravioleta.
- Este tipo de tratados han resultado relativamente simples ya que se tratan de problemas específicos, mientras que los problemas más complejos como el del calentamiento global es mucho más difícil de lograr un acuerdo.
- Otro tema en el cual es difícil de lograr un acuerdo, es el de reducir la explotación de las reservas minerales con la finalidad de extender su duración.
- Si se quiere implementar medidas impopulares se debe de llegar a un nivel de “visión compartida”.
- Se debe asegurar lograr dar pequeños pasos que sean coherentes con los objetivos deseados.
- Todo tipo de modelo es útil siempre y cuando se entiendan sus límites así como sus propósitos.

Porque existe una discrepancia entre los modelos académicos y el mundo real.

- No se debe de olvidar que el modelo no es más que una herramienta para el proceso de la toma de decisiones. Pero la decisión es un proceso más complejo.

LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Definiciones

Javier Aracil en su libro “Introducción a la Dinámica de Sistemas”(10). Define a esta como:

- “Una metodología para la construcción de modelos de sistemas sociales, considerando en esta clase a sistemas socioeconómicos, sociológicos y psicológicos; pudiendo aplicarse también a sistemas ecológicos. Su desarrollo se inserta en el intento de establecer técnicas que permitan expresar en un lenguaje formalizado, el de las matemáticas, los modelos verbales (mentales) de los sistemas sociales”

Ernesto Lagarda, en su publicación “Introducción a la Dinámica de Sistemas”(11), menciona tres definiciones de los autores siguientes:

Silvio Martinez y Alberto Requema (12), definen a la Dinámica de Sistemas como: “Es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo con tal de que tenga características de existencias de retardos y bucles de realimentación”

- Jay Forrester, sobre la Dinámica de Sistemas dice que esta, “Estudia las características de realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar como la estructura organizativa, la amplificación (de políticas) y la demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa”.

- Javier Aracil y Francisco Gordillo[13], indican que “Es un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica.

- La dinámica de sistemas suministra un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema, y explicar cómo se genera su comportamiento”.
- Jay Forrester, en una conferencia en la Universidad de Sevilla, define que "La dinámica de sistemas usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por computadora. Una computadora ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo”.

HISTORIA

Forrester, desarrolla esta metodología en la década de los cincuenta.

Publica en 1961 el libro *Industrial Dynamics*, como resultado del estudio de las variaciones de las ventas de una empresa.

En 1969, publicó otro estudio sobre la dinámica urbana aplicando la misma metodología.

En 1970, realiza el “Modelo del Mundo”, que sirvió de base para el trabajo del Club de Roma.

Forrester establece un paralelismo entre los sistemas dinámicos que son evolutivos con uno hidrodinámico, constituido por depósitos, intercomunicados por canales con o sin retardos.

ETAPAS PARA EL DESARROLLO DE LA DINAMICA DE SISTEMAS

De acuerdo a Aracil (10), las etapas para elaborar el modelo son las siguientes:

1. Observar los modos en los que se comporta el modelo real e identificar los elementos fundamentales del mismo.
2. Analizar las estructuras de realimentación que producen el comportamiento observado.

3. En función a la estructura observada, construir el modelo matemático del sistema para que pueda ser programado en una computadora.
4. Usando este modelo simular el comportamiento dinámico de la estructura del sistema.
5. Modificar la estructura hasta que las componentes y el comportamiento resultante coincidan con el comportamiento observado en el sistema.
6. Modificar las decisiones a introducir en el modelo hasta obtener decisiones aceptables y utilizables.

De acuerdo a Martínez y Requena (11), las etapas para la elaboración de un modelo siguen los siguientes pasos:

1. Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales.
2. Elaboración de los Diagramas Causales.
3. Definición precisa de cada magnitud, así como el código de variables.
4. Elaboración del Diagrama de Forrester y el del Diagrama de Dinámica de Sistemas.
5. Elaboración de las Ecuaciones que representan el modelo.
6. Calibración del modelo.
7. Análisis de sensibilidad.
8. Evaluación del modelo contrastado con la realidad.
9. Utilización del modelo en escenarios e imágenes simuladas.

Este último procedimiento es más detallado que el ofrecido por Aracil.

ELABORACION DE LOS DIAGRAMAS CAUSALES

Un diagrama causal es desde ya un modelo, puesto que es la representación gráfica de un sistema.

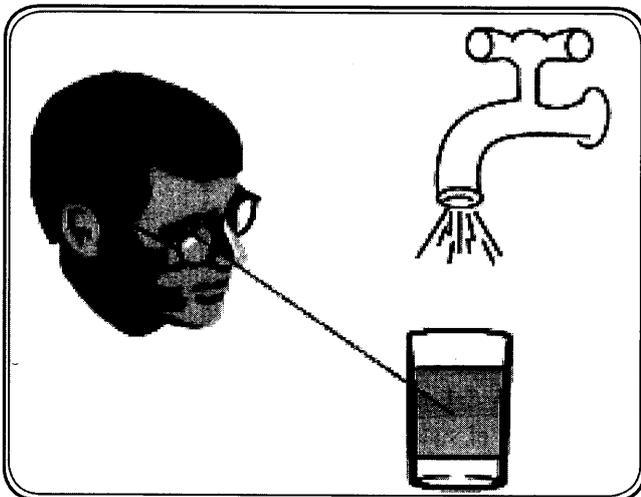
Para la elaboración de estos Diagramas se deben considerar que hay 2 tipos de relaciones:

1) Relaciones de influencia simples.

Establece las relaciones entre los diferentes elementos señalando específicamente cual es el signo de variación entre cada par de elementos.

Aracil, presenta el siguiente ejemplo:

Gráfico 1.



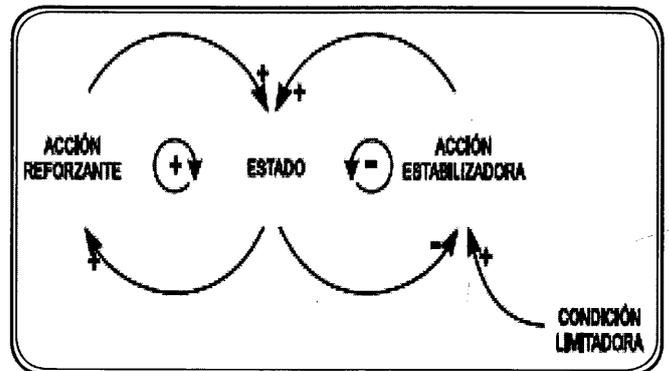
FLUJO DE AGUA → NIVEL

2) Bucle de realimentación positiva y/o negativa.

De acuerdo a Martínez y Requena [12]: Existe un bucle de realimentación cuando en un diagrama causal existe una flecha que partiendo de una variable vuelve a ella después de un camino más o menos largo.

Aracil nos muestra un ejemplo de dicho diagrama:

Gráfico2.

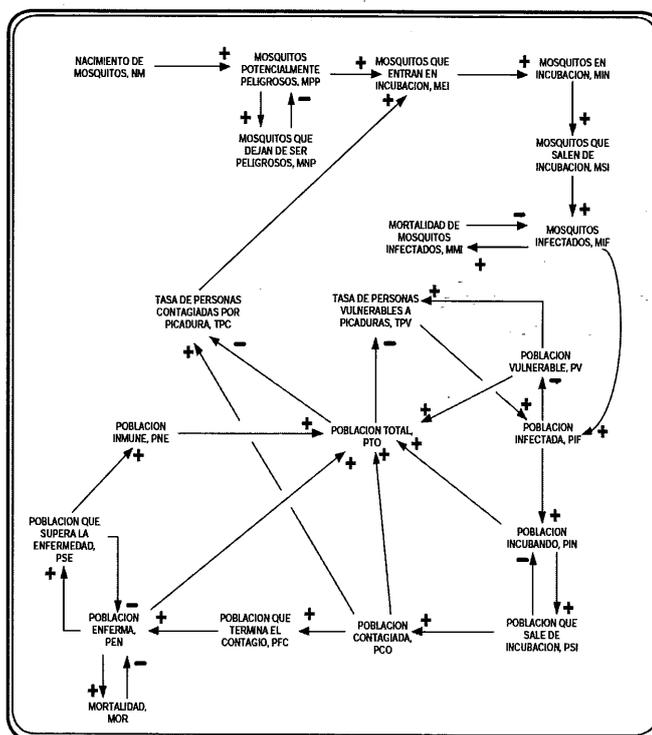


El diagrama muestra dos bucles, uno con realimentación positiva y otro con realimentación negativa.

A continuación se presenta un diagrama causal del modelo de “Fiebre Amarilla”, tomado del libro de Martínez y Requena.

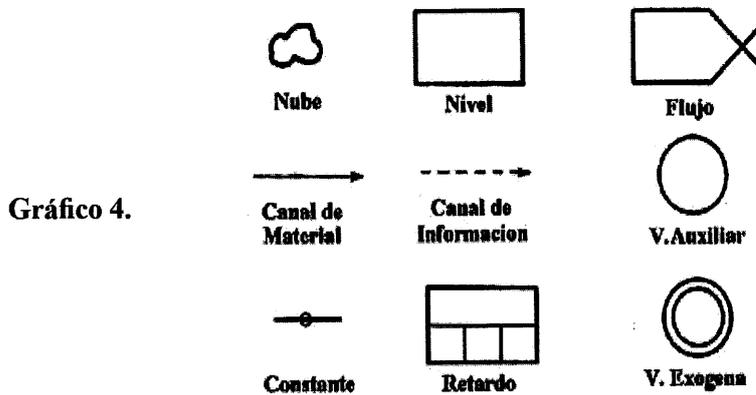
DIAGRAMA CAUSAL DEL MODELO “FIEBRE AMARILLA”

Gráfico 3.



DIAGRAMAS DE FORRESTER

Los Diagramas de Forrester usan una serie de símbolos cuyo significado se detalla a continuación:



Nube.

Representa una fuente o un pozo y que se interpreta como un nivel sin interés y prácticamente inagotable.

Nivel o Estado.

Representa la acumulación de un flujo.

Flujo.

Es la variación de un nivel, lo que implica un cambio en el estado del sistema.

Canal de Material.

Es el canal de transmisión de una magnitud física que se conserva.

Canal de Información.

Es el canal mediante el cual se transmite una cierta información y que a su vez no es necesario que se conserve.

Variable Auxiliar.

Es una cantidad que tiene un significado físico en el mundo real y a su vez un tiempo de respuesta instantánea.

Constante.

Elemento que no cambia de valor.

Retraso.

Es un elemento que simula retrasos en la transmisión de información o material.

Variable Exógena.

Es una variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema.

RELACION EXISTENTE ENTRE EL DIAGRAMA CAUSAL Y EL DIAGRAMA DE FORRESTER

Nos ha parecido mucho más útil el uso de ambos diagramas utilizando un ejemplo específico.

Este ejemplo ha sido tomado del libro de Aracil[10], relacionado con modificación que hay en la población con respecto a los nacimientos y defunciones, su relación con el empleo, la población activa, el empleo total, la tensión del empleo, la inmigración, el empleo fijo generado, así como el empleo eventual generado.

En relación al diagrama causal no debemos olvidar que es el primer modelo, puesto que si la tensión del empleo disminuye la inmigración también tendrá a disminuir.

Un ejemplo típico de esto es lo que sucedió en España, puesto que la cantidad de inmigrantes aumento mientras se vivió el auge de las empresas.

Con motivo de la recesión el empleo ha disminuido lo que también a hecho que disminuya la inmigración.

El Diagrama Causal y el de Forrester, son los siguientes:

Gráfico 5.

DIAGRAMA CAUSAL

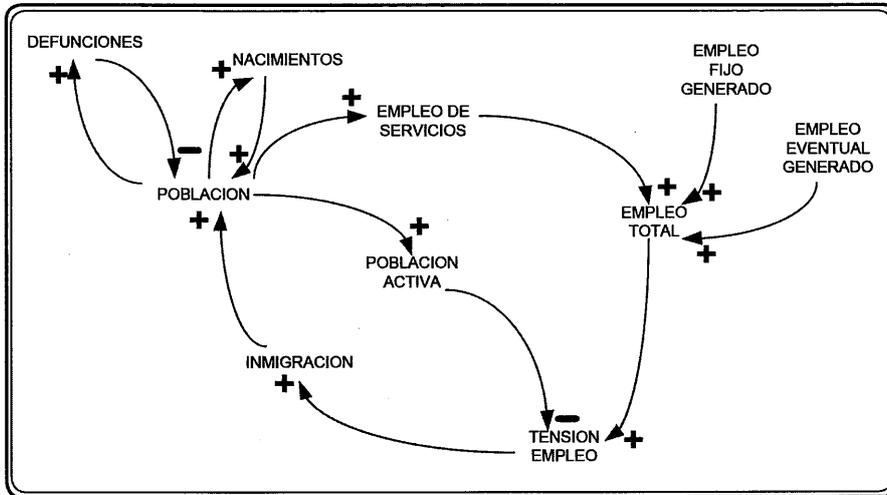
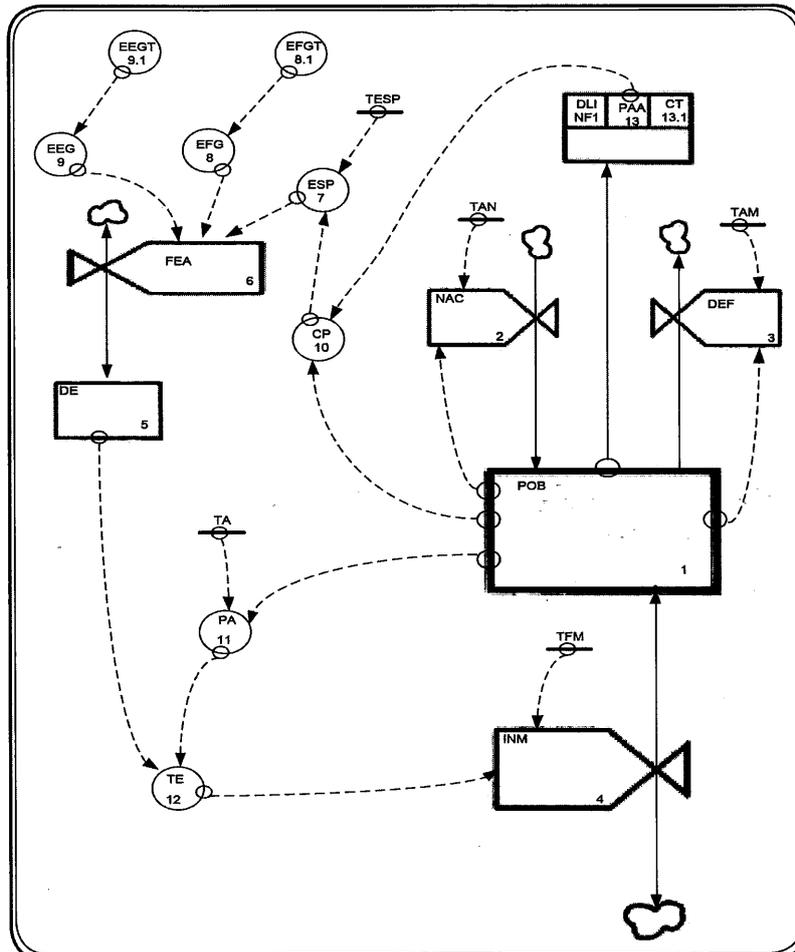


DIAGRAMA DE FORRESTER



ECUACIONES MATEMATICAS

A continuación y con la finalidad de no recargar el artículo presente pondremos solamente algunas ecuaciones del modelo de Aracil[10]:

$$NAC.KL = POB.K \times TAN$$

NAC. – Nacimiento por año

POB. – Población

TAN. – Tasa anual de natalidad

$$DEF.KL = POB.K \times TAM$$

DEF. – Defunciones por año

POB. – Población

TAM. – Tasa anual de mortalidad

$$INM.KL = TE.K \times TFM$$

INM – Inmigración neta por año

TE – Tensión de empleo

TFM – Tamaño familiar medio

$$DE.K = DE.J + (DT) (FEA.JK)$$

$$DE = DEI$$

DE – Demanda de empleo

DT – Intervalo de integración

FEA – Flujo de empleo anual

DEI – Demanda de empleo inicial

SOFTWARE UTILIZADO

A finales de los 50 se elaboró un software llamado SIMPLE.

Posteriormente, se desarrolló el DYNAMO.

En la actualidad existen los siguientes paquetes de software:

- VENSIM,
- POWERSIM
- THINK
- STELLA
- PROFESSIONAL DYNAMO
- MapSys
- Anylogic
- Evolución
- Simile
- Sphinx
- TRUE
- CONSIDEO

CONCLUSIONES

1. Todos los informes elaborados sobre “Los límites del Crecimiento” tienen una vigencia actual e importante.
2. A pesar de haber sido desprestigiado en su momento y aun posteriormente la vigencia de las conclusiones de los informes, estos siguen siendo importantes.
3. Es de consenso mundial que el cuidado del Medio Ambiente es crucial para la supervivencia del género humano y del planeta en sí.
4. Como se ha producido una toma de conciencia a nivel general es que existen políticas que han sido implantadas mundialmente, tal es el caso de la prohibición de los compuestos CFC.
5. Dentro de otros aspectos se han desarrollado nuevas fuentes de energías no-convencionales y no contaminantes.
6. Lamentablemente no se ha podido elaborar una política a nivel mundial, para evitar el efecto invernadero, como producto de la contaminación industrial.
7. Se puede hablar entonces del fracaso del famoso Protocolo de Kioto y de las siguientes reuniones donde no se ha llegado a un consenso mundial.
8. El Club de Roma también elaboro propuestas, de lo que se debe hacer para que en el año 2052, se llegue a tener un incremento de la temperatura ambiental global que sea menor de 2°C.
9. La Dinámica de Sistemas como metodología empleada sigue siendo válida, y es una de las técnicas más generalizadas para elaborar modelos de sistemas.
10. Lo que se tiene que considerar que los modelos, son solo eso, modelos de una realidad y no la realidad misma; por lo que se tiene que tener en cuenta que los resultados se deben siempre contrastar con la realidad e ir afinando el modelo para llegar a conclusiones válidas.
11. Para la carrera de Ingeniería de Sistemas y ramas afines, esta es una herramienta de uso cotidiano.

REFERENCIAS

- Donella H. Meadows et al., The Limits to Growth. Universe Books. New York, U.S.A. 1972.*
- Forrester, Jay. Industrial Dynamics. M.I.T. Press. U.S.A. 1961.*
- Forrester, Jay. World Dynamics. M.I.T. Press. U.S.A. 1971.*
- Donella H. Meadows et al., Mas Alla de los Limites del Crecimiento. New York, Editorial El Pais - Aguilar, Madrid, España. 1992*
- Donella H. Meadows, Jorgen Randers, Dennis L. Meadows. Límites del crecimiento: a los treinta años (Limits to growth: the 30 years up date).Chelsea Green Publishing company. 2004.*
- Mayor Zaragoza, Federico. Los Límites del Crecimiento. Tribuna Libre. Nº 181. España. Diciembre 2009.*
- Bardi, Ugo. The Limits to Growth Revisited. Springer. New York, U.S.A. 2011*
- Oreskes, Naomi and Conway, Erik. Merchants of Doubt. Bloomsbury Press. U.S.A. 2010*
- McGarity, Thomas and Wagner, Wendy. Bending Science: How special interests corrupt public health research. Harvard University Press. U.S.A. 2008*
- Aracil, Javier. "Introducción a la Dinámica de Sistemas" (Alianza Universidad Textos. Alianza Editorial. Madrid, España. 1992)*
- Lagarda, Ernesto. "Introducción a la Dinámica de Sistemas". <http://jmonzo.net/blogeps/ids1.pdf>*
- Martínez Silvio y Requema Alberto. "Simulación dinámica por ordenador" Alianza Editorial, Madrid, 1988.*
- Aracil Javier y Gordillo Francisco. "Dinámica de sistemas", Alianza Editorial, Madrid, 1997.*
- Forrester, Jay. Texto inédito: Universidad de Sevilla. Sevilla, España. Diciembre de 1998. <ftp://sysdyn.mit.edu/ftp/sdep/papers/D-4808.pdf>*
- Aracil, Javier. Dinámica de Sistemas. Isdefe. Madrid, España. 1995*

