

De Leo, Eduardo; Aranda, Diego; Addati, Gastón Andrés

**Working Paper**

## Introducción a la dinámica de sistemas

Serie Documentos de Trabajo, No. 739

**Provided in Cooperation with:**

University of CEMA, Buenos Aires

*Suggested Citation:* De Leo, Eduardo; Aranda, Diego; Addati, Gastón Andrés (2020) :  
Introducción a la dinámica de sistemas, Serie Documentos de Trabajo, No. 739, Universidad del  
Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA), Buenos Aires

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/238364>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

**UNIVERSIDAD DEL CEMA**  
**Buenos Aires**  
**Argentina**

Serie  
**DOCUMENTOS DE TRABAJO**

**Área: Ingeniería Informática**

**INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

**Eduardo De Leo, Diego Aranda y Gastón Andrés Addati**

**Julio 2020**  
**Nro. 739**

**[www.cema.edu.ar/publicaciones/doc\\_trabajo.html](http://www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html)**  
UCEMA: Av. Córdoba 374, C1054AAP Buenos Aires, Argentina  
ISSN 1668-4575 (impreso), ISSN 1668-4583 (en línea)  
Editor: Jorge M. Streb; asistente editorial: Valeria Dowding [jae@cema.edu.ar](mailto:jae@cema.edu.ar)



# Introducción a la Dinámica de Sistemas

Eduardo De Leo, Diego Aranda, Gastón Andrés Addati<sup>1</sup>

## Resumen

*La dinámica de sistemas es una herramienta que se basa en la construcción de modelos que nos permite abordar situaciones complejas, aplicando la observación del todo y la relación con cada una de sus partes.*

*Es una metodología ideada para resolver problemas concretos, fue creada en la década del 50 y se la denominó dinámica industrial, pero a lo largo del tiempo se fue adaptando para la aplicación a diferentes problemáticas. Hoy en día los campos de aplicación de la dinámica de sistemas es muy variado y amplio.*

*Este trabajo pretende desarrollar conceptos históricos, el estado del arte, y propone analizar casos testigos donde aplicar esta temática de gran interés en la actualidad.*

---

<sup>1</sup> Eduardo De Leo y Diego Aranda: Alumnos de 5to año de la carrera de Ingeniería en Informática – UCEMA. Addati Gastón Andrés: Director de la carrera de Ingeniería en Informática, y profesor de la materia Simulación de Sistemas. Los puntos de vista de los autores no necesariamente representan los de la Universidad.

# INTRODUCCION

La *dinámica de sistemas* es una herramienta que se basa en la construcción de modelos de simulación que nos permite abordar situaciones complejas, aplicando la observación del todo y la relación con cada una de sus partes.

Es una metodología ideada para resolver problemas concretos, fue creada en la década del 50 y se la denominó dinámica industrial, pero a lo largo del tiempo se fue adaptando para la aplicación a diferentes problemáticas. Hoy en día los campos de aplicación de la dinámica de sistemas es muy variado y amplio.

Para poder seguir y desarrollar en profundidad este tema, primero debemos definir algunos conceptos fundamentales.

En primer lugar empezaremos por definir **sistema**. Hablamos de un sistema como un objeto dotado de alguna complejidad, formado por partes coordinadas, de modo que el conjunto posea una cierta unidad, que es precisamente el sistema. Ejemplos de esto pueden ser el sistema planetario, formado por los planetas unidos mediante las fuerzas gravitatorias; un sistema económico, formado por agentes económicos, relacionados entre sí por el intercambio de bienes y servicios; un sistema ecológico, formado por distintas poblaciones, relacionadas mediante cadenas alimentarias o vínculos de cooperación; una empresa, como sistema, en la que los distintos departamentos se coordinan en la organización empresarial; una máquina, cuyas diferentes partes interactúan para lograr el fin para el que ha sido concebida.

Un sistema, en este sentido, lo entendemos como una unidad cuyos elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes.

Otro concepto el cual debemos definir es **dinámica**. El término dinámica lo empleamos por oposición a estática, y queremos con él expresar el carácter cambiante de aquello que adjetivamos con ese término. Al hablar de la dinámica de un sistema

nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Su comportamiento vendrá dado por el conjunto de las trayectorias de todas las variables, que suministra algo así como una narración de lo acaecido al sistema. Por otra parte, el término dinámico tiene una connotación no sólo de cambio, sino de la fuerza, de la determinación, que lo engendra.

## DESARROLLO

### HISTORIA

Fue una técnica creada a mediados de 1950 por el profesor Jay W Forrester para estudiar los problemas que se presentaban en determinadas empresas en las que los retrasos en la transmisión de información, unido a la existencia de estructuras de realimentación, da lugar a modos de comportamiento indeseables, normalmente de tipo oscilatorio. Originalmente se denominó dinámica industrial, por el tipo de aplicación que había suscitado su desarrollo.

A mediados de los 60, Forrester propone la aplicación de la técnica que había desarrollado originalmente para los estudios industriales, a sistemas urbanos. Surge así lo que se denominó la dinámica urbana en la que las variables consideradas son los habitantes en un área urbana, las viviendas, las empresas, etc. Una aplicación análoga a la dinámica urbana la constituye la dinámica regional. Con estos modelos se pretende aportar un elemento auxiliar para la planificación urbana y regional, representando las interacciones que se producen entre las principales magnitudes socio-económicas del área correspondiente, y generando, a partir de ellas, las evoluciones de las magnitudes consideradas significativas: habitantes, indicadores económicos, etc. para, a partir de estas evoluciones, planificar las necesidades de infraestructura y otras.

A fines de los 60 el Club de Roma llevó a cabo un estudio conocido como "Los límites al crecimiento" que se basó en precisamente en un modelo de dinámica de

sistemas. Se trataba de analizar la previsible evolución de una serie de magnitudes agregadas a nivel mundial como son la población, los recursos y la contaminación. Dicho informe tuvo una gran incidencia en la opinión pública y ha sido objeto de múltiples debates, tanto a favor como en contra, sin embargo ha sido de gran importancia para la difusión del método utilizado.

Luego de este estudio se llegó a la conclusión de que el método empleado era de una gran versatilidad y que se podía aplicar a campos más amplios de los cuales ya se había utilizado. Fue en este momento en el cual se decidió reemplazar el nombre de dinámica industrial o dinámica urbana por *dinámica de sistemas*.

## ESTADO DEL ARTE

Hoy en día los campos de aplicación de esta técnica son muy amplios y variados, constituye una de las herramientas sistémicas más sólidamente desarrolladas y que mayor grado de aceptación e implementación ha alcanzado.

Actualmente podemos hablar de tres grandes ámbitos de aplicación: ámbito empresarial, ámbito medio ambiental y ámbito social. Algunas de las aplicaciones que ha experimentado este sistemas además del ámbito industrial y urbano, se ha empleado en sistemas sociológicos donde se han modelado desde aspectos teóricos, hasta cuestiones de implantación de la justicia. Otra área en la que ha servido es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se ha aplicado tanto a dinámica de población, como de difusión de la contaminación. También se ha implementado para definir estrategias para el suministro de recursos energéticos, entre otros.

Hoy existen herramientas computacionales que permiten apoyar el proceso de modelado y simulación con dinámica de sistemas. Los diferentes softwares han posibilitado el uso y la difusión de la dinámica de sistemas en diversos sectores como en la educación, investigación, la empresa, lo ambiental, lo sociales, entre otros.

Los software más utilizados actualmente en el ámbito empresarial y académico podemos nombrar a Vensim, Simile, Powersim, Stella, Evolution, entre otros. Estos software ofrecen diferentes servicios, las principales prestaciones son: herramientas para el modelado, como los editores para la creación de diagramas causales y diagramas de flujo-nivel y el uso de funciones matemáticas. Herramientas para realizar y controlar la simulación del modelo. Al momento de realizar el análisis del modelo y su comportamiento, se observa que existen diferentes herramientas para este propósito. Para modelos complejos estos mecanismos de análisis son de gran de ayuda para el entendimiento del comportamiento, depuración y ajuste del modelo.

## DEFINICION, CONCEPTO E IMPORTANCIA DEL TEMA

La Dinámica de sistemas es una metodología basada en el pensamiento sistémico para abordar situaciones complejas, aplicando la observación del todo y sus partes a diferencia del método analítico que hace todo lo contrario, es decir analiza las partes del sistema sin observar las relaciones entre todas las partes del sistema.

El pensamiento sistémico toma en cuenta tanto las partes de un sistema como sus interconexiones entre estas, y cómo influyen una con otras. Considerando por sistemas, el que esta formado por diversos elementos que interactúan entre si dado que se afectan unos a otros orientados hacia una meta común, siendo así una identidad que se distingue de su entorno y es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entorno cambiantes.

Al construir un modelo de simulación de un sistema, se debe, en primer lugar, estimar qué componentes interactúan para producir el comportamiento que se está investigando. La elección implica la selección de aquellos componentes situados en el interior de los límites del sistema que tengan interés para el estudio concreto que se esté realizando, y excluye todos aquellos componentes potenciales que son irrelevantes al caso y que, por consiguiente, se sitúan fuera de los límites considerados.



Los elementos que se encuentran fuera de los límites del sistema están relacionados con aquellos que se encuentran dentro de manera muy diferente a cómo los elementos que se encuentran dentro están interrelacionados entre sí. Las relaciones de causa a efecto entre el medio y el sistema son unidireccionales, mientras que los elementos en el interior del sistema están estructurados por medio de bucles de realimentación que determinan una fuerte interacción entre ellos. Normalmente, interesa considerar únicamente las acciones del medio sobre el sistema, y no las posibles acciones del sistema sobre el medio.

La forma de entender un fenómeno o situación compleja, está representado por la imagen o modelo mental que de éste nos hacemos, modelo que cambia continuamente, ya sea porque, al estar en contacto con el fenómeno se crean nuevas percepciones y experiencias, o porque re interpretamos experiencias y conceptualizaciones al verlas desde otra perspectiva.

El modelo mental no solamente representa el fenómeno desde nuestro punto de vista, sino que además actúa como filtro en nuestra relación con el fenómeno. Es decir, condiciona tanto nuestras percepciones como nuestras acciones sobre el fenómeno. Esta interacción, mediada por el modelo mental, se puede representar mediante el ciclo externo fenómeno-modelo mental.

Desde esta perspectiva, para elaborar modelos con Dinámica de Sistemas se hace uso habitualmente de los siguientes lenguajes: El primero es el lenguaje en prosa, donde se realiza una descripción verbal del sistema por medio del lenguaje natural. El segundo el lenguaje es la representación o formulación del modelo por medio de un diagrama causal o de influencia, en el cual se identifican los elementos del sistema y las relaciones de influencia y realimentación entre estos. El tercer lenguaje corresponde a la representación del modelo en términos de flujos y niveles. Un cuarto lenguaje corresponde al lenguaje de las ecuaciones las cuales surgen a partir del diagrama flujo nivel. Un último lenguaje, el del comportamiento, permite considerar los resultados de la simulación haciendo uso de diversas herramientas, como lo son las gráficas y análisis de sensibilidad, entre otras.

## ESTRUCTURA DEL SISTEMA

### 1.1 DIAGRAMAS CAUSALES O DE INFLUENCIAS

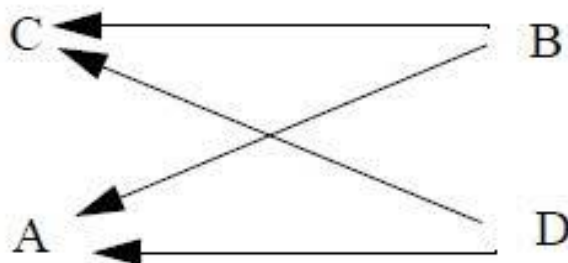
Entre los elementos que constituyen el sistema se establece un bosquejo esquemático de aquellos que están relacionados entre sí, lo cual se hace por medio de un diagrama en el cual los nombres de los distintos elementos están unidos entre sí por flechas. El diagrama que así se obtiene recibe las denominaciones de *diagrama causal* o de *diagrama de influencias*.

A las flechas que representan las aristas se puede asociar un signo. Este signo indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son, o no, del mismo signo. Ello quiere decir que si A se incrementa, lo mismo sucederá con B; y, por el contrario, si A disminuye, así mismo lo hará B. Por otra parte, si la influencia fuese negativa a un incremento de A seguiría una disminución de B, y viceversa. De este modo, asociando un signo a las relaciones de influencia, se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, aunque continúe conservando su carácter cualitativo.

Los diagramas causales se clasifican según su estructura en:

- diagramas abiertos, de estructura simple (fig.1)
- diagramas cerrados, de estructura compleja o bucles de realimentación

FIGURA 1



## 1.2 BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN

En un diagrama causal complejo se pueden distinguir bucles realimentados. Un bucle realimentado es una cadena cerrada de relaciones causales. En todo diagrama causal coexisten normalmente bucles de realimentación positiva con bucles de realimentación negativa. Las interacciones entre ambos tipos de bucles determinan el comportamiento global del sistema.

### 1.2.1 BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

Son aquellos en los que una variación en un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que determine una variación que contrarreste la variación original. El comportamiento de estos bucles está, por tanto, caracterizado por una acción autocorrectora. Cualquier variación que se produzca en uno de los elementos del bucle tiende a anularse. Un bucle de realimentación negativa tiende a crear equilibrio. Un bucle realimentado es negativo si contiene un número impar de relaciones negativas.

Los bucles de realimentación negativa son bucles estabilizadores, que tienden a anular las perturbaciones exteriores. Por ello, los ingenieros que diseñan sistemas de regulación automática los incorporan en sus proyectos como elementos básicos para conseguir la acción reguladora (lo que logran mediante la adición de bucles de realimentación negativa a los procesos que diseñan). El efecto de un bucle de realimentación negativa es, por tanto, el tratar de conseguir que las cosas continúen como están, que no varíen. Son bucles que estabilizan los sistemas.



### 1.2.2 BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN POSITIVA

Son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que se refuerza la variación inicial. Se tiene un comportamiento explosivo caracterizado por un autorreforzamiento de las variaciones. Un bucle realimentado es positivo si contiene un número par de relaciones negativas.

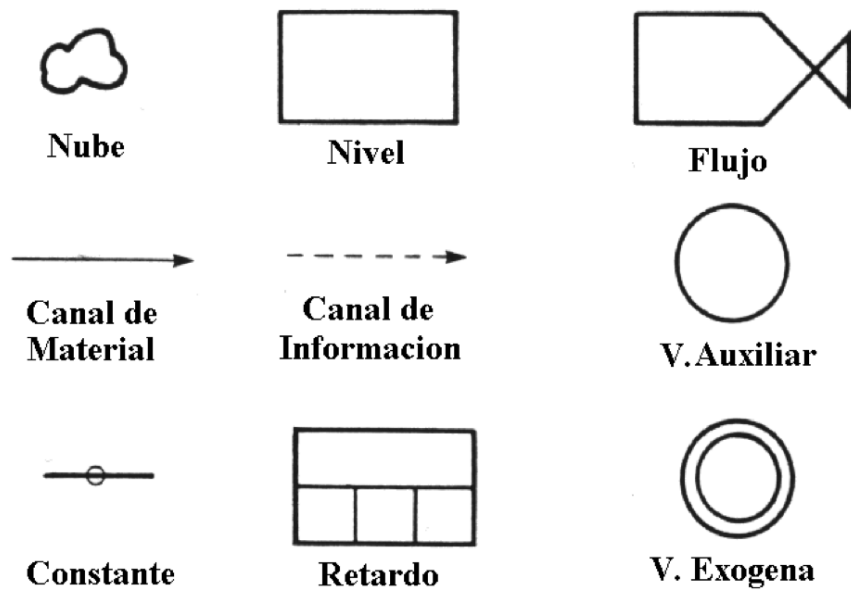


### 2.1 DIAGRAMA DE FORRESTER

El diagrama de Forrester es una representación simbólica de las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal una vez identificadas y constituye un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que le corresponde.

Los elementos que intervienen en un diagrama causal se representan por medio de variables que pueden ser de tres tipos: variables de nivel, variables de flujo, variables auxiliares.

Los símbolos que se utilizan en los diagramas son los siguientes:



### 2.1.1 VARIABLES DE NIVEL

Son aquellas variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Físicamente se definen como magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado. Una característica común a las variables de nivel es que cambian lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables, en concreto de las variables de flujo.

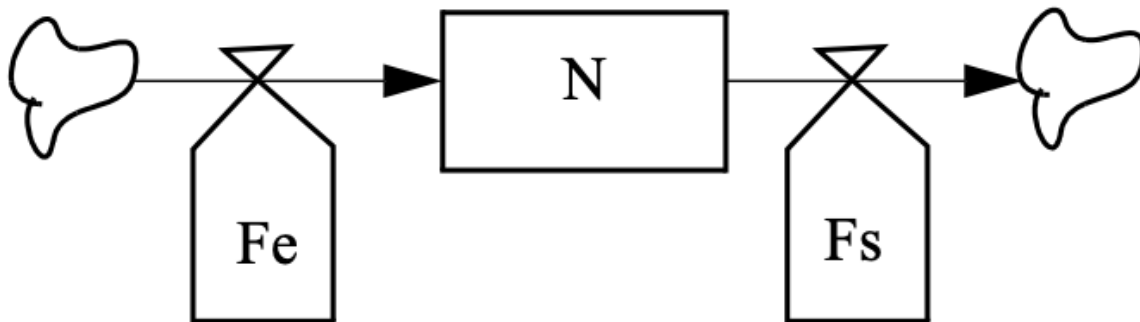
A cada nivel  $N(t)$  se le puede asociar un flujo de entrada  $F_e(t)$  y salida  $F_s(t)$ , de acuerdo con

$$N(t) = N(t_0) + \int_{t_0}^t (F_e - F_s) dt$$

o bien en forma diferencial

$$dN/dt = F_e - F_s$$

Estas ecuaciones se ven representadas en el diagrama de Forrester



Una variable de nivel no puede influir directamente en otra variable de nivel, sino que a través de un flujo.

### 2.1.2 VARIABLES DE FLUJO

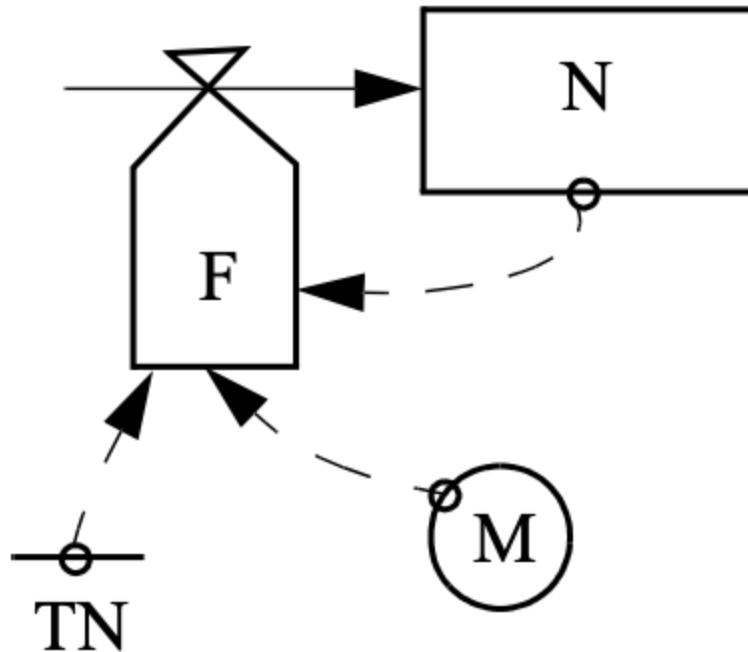
Son aquellas variables que determinan las variaciones en las variables de nivel del sistema y caracterizan las acciones que se toman en el sistema las cuales quedan acumuladas en los niveles correspondientes.

Físicamente expresan como se convierte la información disponible del sistema en una acción.

A cada flujo  $F(t)$  se le asocia una ecuación llamada ecuación de flujo o función de decisión que admite como variables de entrada niveles, auxiliares y constantes, en la forma general

$$F(t) = TN \cdot M(t) \cdot N(t)$$

Siendo  $TN$  el flujo normal constante,  $M(t)$  el multiplicador de flujo normal y  $N(t)$ , el nivel. El diagrama de Forrester de la ecuación de flujo es el siguiente :



En general el multiplicador de flujo normal es producto de  $k$  multiplicadores  $M_i$  cada uno función de una variable  $V_i$

$$M(t) = M_1(V_1(t))M_2(V_2(t))\dots M_n(V_n(t))$$

Cada  $M_i$  establece la contribución de la variable  $V_i$  en la acción a tomar que define el flujo  $F(t)$ , con  $M_i(V_{in}) = 1$ , siendo  $V_{in}$  el valor normal de  $V_i$ , que en general será variable de nivel o variable auxiliar.

A todo nivel se le asocia al menos una variable de flujo. Por otro lado, >

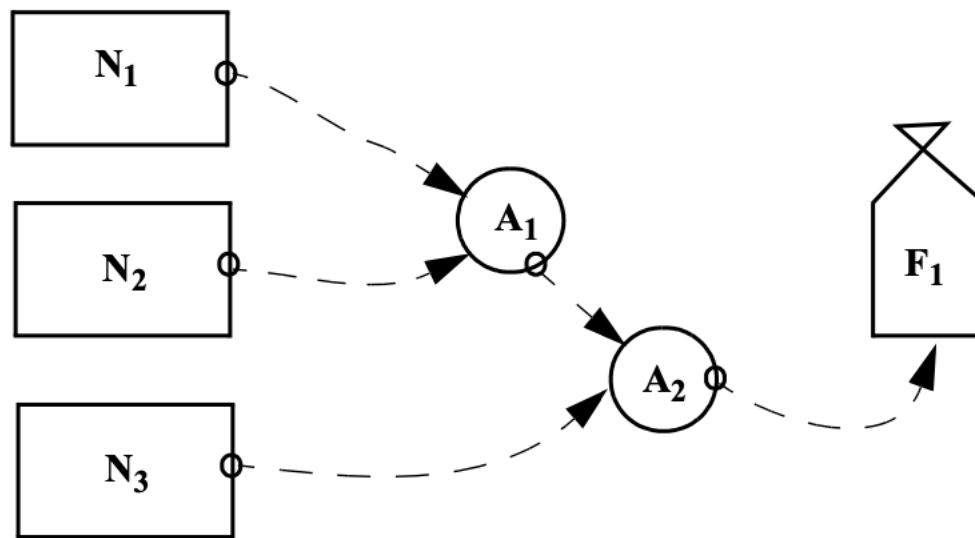
Las unidades de medida de un flujo han de ser consistentes con las variables que *unidad de nivel* relaciona, en general

$$\frac{\textit{unidad de nivel}}{\textit{tiempo}}$$

### 2.1.3 VARIABLES AUXILIARES

Las variables auxiliares representan pasos en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

El propósito del uso de las variables auxiliares está en facilitar la comprensión y definición de las variables de flujo ya que las variables auxiliares suelen representar en si mismas conceptos individuales.



### 2.1.4 OTROS ELEMENTOS

#### FUENTES Y SUMIDEROS:

Un nivel puede alimentarse, a través de un flujo desde otro nivel o bien desde una fuente exterior al sistema. Esta fuente se supone de capacidad infinita y se representa mediante una nube





Un nivel puede vaciarse, a través de un flujo sobre otro nivel o sobre un sumidero exterior al sistema. De la misma forma, el sumidero se supone de capacidad infinita y se representa mediante una nube

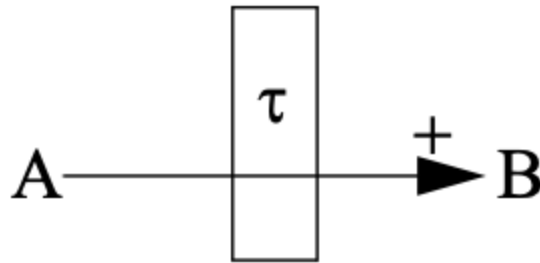


#### CANALES DE MATERIAL E INFORMACIÓN:

Las variables de nivel, flujo y auxiliares están ligadas entre sí por medio de canales. Los niveles acumulan flujos materiales que llegarán mediante canales de material y las variables de flujo y auxiliares se alimentan a partir de canales de información.

#### RETRASOS:

Una característica a considerar en el estudio de sistemas dinámicos es el retraso producido, en la transmisión de material o en la transmisión de información



## ECUACIONES DIFERENCIALES

El diagrama de forrester es esencial para poder entender el comportamiento de los sistemas a lo largo del tiempo. Nos lleva a entender sus componentes y la articulación entre ellos. Estos comportamientos son descriptibles a través de ecuaciones diferenciales, siendo estas el último paso de este proceso. Como bien es sabido, estas ecuaciones muestran la sensibilidad a cambios a lo largo del tiempo, justamente lo que uno requiere saber a la hora de hacer una simulación. Las variables de nivel afectadas por flujos entrantes, van a variar a lo largo del tiempo, dependiendo del flujo entrante. Ante un cambio en el flujo entrante, el flujo saliente será distinto y este determinado por estas ecuaciones, las cuales están asociadas a las variables de nivel. Estas marcan la sensibilidad del modelo ante cambios, basta con modificar un flujo que veremos la perturbación e incidencia en el modelo.

En definitiva, podremos realizar un modelo que nos permita ver la sensibilidad ante cambios y poder determinar que tanta incidencia tendrá en los resultados a lo largo del tiempo.

## USOS Y CASOS PRÁCTICOS EN DIFERENTES ESCENARIOS

A modo de ejemplo utilizaremos un trabajo realizado en el año 2014, publicado en la revista Dimensión empresarial en la ciudad de Barranquilla. Este se centra en la

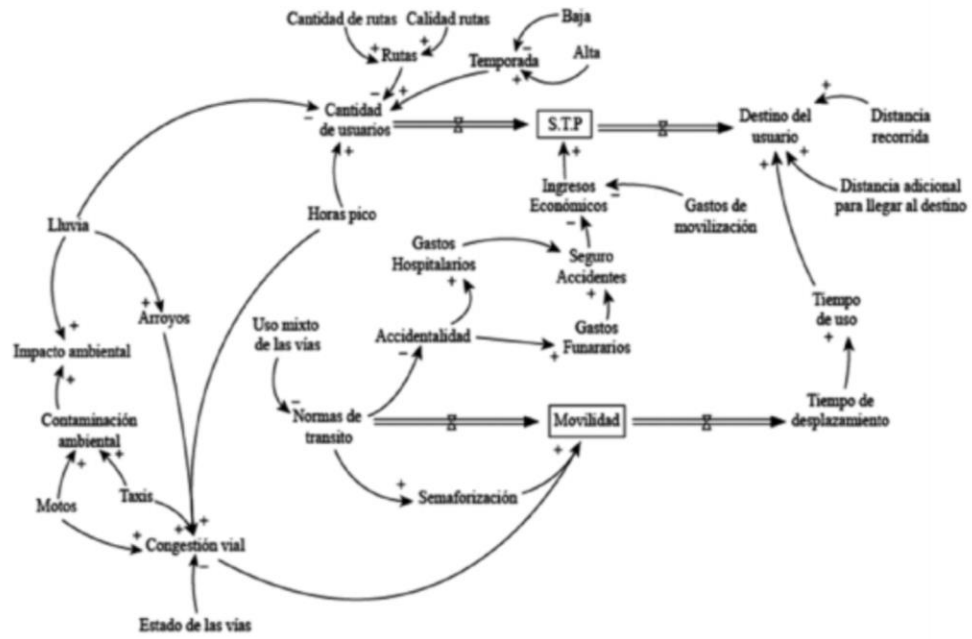
implementación de tecnologías de información y comunicación (TIC) en el sector de transporte. Para ello se hizo uso de la teoría de la dinámica de sistemas, utilizando diagramas de Forrester para modelar el sistema actual y la solución propuesta. Esto les permitió interpretar las características del sistema actual y determinar las interacciones de sus factores conjunto a las estructuras del sistema organizacional y los procesos de gestión de producción de servicios.

En consecuencia del trabajo, fue propuesto una mejora en la movilidad como solución a los problemas de tráfico ocasionados por un fenómeno natural como los arroyos o por las horas pico.

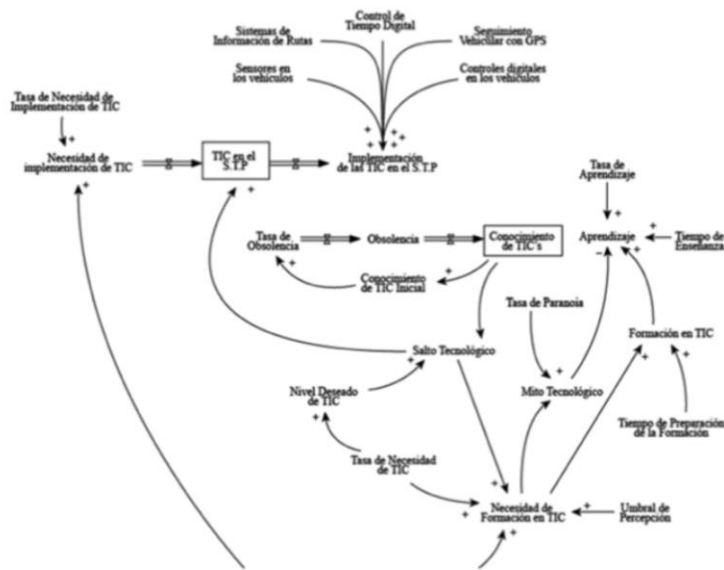
Cabe destacar que el software que han utilizado para la generación de diagramas fue Vensim, el cual permite la creación de modelos a través de diagramas causales.

Utilizaron la Dinámica de sistemas como herramienta metodológica para lograr desarrollar los modelos representativos del sector de transporte de la ciudad de Barranquilla. El modelo establecido fue de tipo descriptivo, se realizó básicamente especificando las relaciones causales entre sus diferentes variables permitiendo analizar el comportamiento del sector transporte. Inicialmente se estableció el modelo actual del sistema y luego se incluyó las TIC como un elemento fundamental en el proceso de mejoramiento del transporte urbano de la ciudad.

## MODELO INICIAL



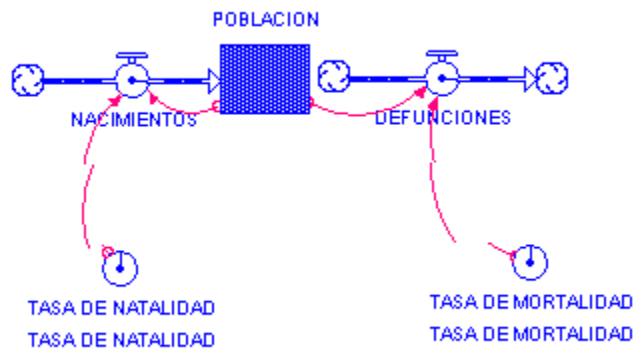
### MODELO PROPUESTO



## Ejemplo de dinamica de sistemas con el software Stella.

Dinámica de sistemas, simulación con Stella, pronóstico de crecimiento población, natalidad y mortalidad en la ciudad de México en este caso.

### Diagrama



---

### Tasa de natalidad y mortalidad en mexico

Mortalidad: 4.85/1000

Natalidad: 18.5/1000

Poblacion 2020: 123.5 millones



entendimiento de problemáticas complejas, pudiendo modelizarse con elementos estándar, que permite el entendimiento común. El modelado de sistemas complejos puede ser una tarea muy complicada, difícil de desarrollar si no se cumple con estas determinaciones. Esta tarea es esencial para poder hacer un diagnóstico y poder plantear soluciones, del mismo modo que también podremos realizar simulaciones y evaluar los resultados. Utilizando estos diagramas, no solo podremos ver resultados sino describir cómo evolucionarán a lo largo del tiempo ante los cambios en los flujos. Los terrenos de aplicación son infinitos, yendo desde el caso del problema del sistema de tránsito de Barranquilla como un sistema hidráulico.

Los procesos de simulación ayudan a las organizaciones a predecir, comparar y optimizar los resultados de un proceso, sin tener que incurrir en el costo y riesgos que supone la experimentación real. Su importancia es la utilidad para plantear la estrategia de una empresa, desde el punto de vista experimental, generando de esta manera observaciones en variables clave y el posterior análisis estadístico de los resultados obtenidos.

La simulación permite un análisis de las variaciones del sistema desde una perspectiva más amplia. Los métodos convencionales de análisis, como los modelos estadísticos matemáticos, no pueden dirigir de manera eficiente las variaciones. La simulación tiene en cuenta las variaciones como las interacciones entre los componentes y la variable fundamental: el tiempo. Brinda soluciones totales, ya que es posible modelar sistemas completos de alta complejidad, como hemos visto a lo largo de todo este trabajo de investigación.

No hay que pensar que es aplicable únicamente a un ámbito operativo, sino que es efectiva para el control de costes. Las organizaciones tratan de responder rápidamente a los cambios en sus mercados, un modelo es de utilidad para evaluar respuestas e identificar soluciones y evaluar el impacto de esas soluciones.

Otras de las ventajas que hemos divisado es la simplicidad que brindan los diagramas de Forrester. Estos permiten la esquematización de forma standard de modelos dinámicos, de tal manera que cualquier persona que comprenda los símbolos de Forrester, podrá interpretar el modelo desarrollado. Estos permiten reducir la complejidad de un sistema y poder realizar simulaciones, capturando todos sus outputs y cambios de comportamientos. Es por eso que estos diagramas son utilizados al día de hoy por muchas organizaciones a través de softwares idóneos para esto, tales como : AnyLogic, Evolución, iThink/Stella, Powersim, Simile, Vensim.

Con el paso del tiempo, estos softwares adoptaron un entorno más amigable, simplificado, para que el usuario pueda modelar sin problemas.

Al día de la fecha, contamos con más herramientas que en el pasado, facilitando el desarrollo de modelos complejos. En un futuro seguramente pueda incluso desarrollarse modelos aún más complejos, con la incursión de datos masivos y sus herramientas de procesamiento. Las simulaciones se volverán más detalladas y con resultados aún más cercanos a la realidad, otorgando una mayor precisión en la información y por ende mayor capacidad para la toma de decisiones sobre sistemas complejos. Los softwares anteriormente mencionados, ya están trabajando para complejizar aún más sus lógicas de modelaje, el uso de lógica difusa es un ejemplo de esto.

Como conclusión final a este trabajo, mencionar que consideramos fundamental el uso de modelos complejos para empresas y estados. Dadas las herramientas informáticas con las que hoy contamos, no hay excusas para realizar modelos complejos, permitiendo prever impactos de las decisiones o la evolución de una pandemia a lo largo del tiempo. Sin dudas disminuirá el riesgo y maximizará los beneficios. Obviamente, las herramientas por sí solas no funcionan, sino que hay que nutrirlas de modelos validados y que representen fielmente la realidad que queremos modelar.



# BIBLIOGRAFIA

- Aracil, Javier. Dinámica de sistemas. Madrid: Isdefe;1995.
- Aracil, Javier, Gordillo,Francisco. Dinámica de sistemas. Espana; 1997.
- Hugo Hernando Andrade Sosa,Emiliano Lince Mercado. Evolución: herramienta software para modelado y simulación con Dinámica de Sistemas. Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 5 Núm. 1. 2011.
- Begoña González-Busto Múgica. La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación. Universidad de Oviedo; 1998.
- Juan de Mata Donado Campos, Sebastian Dormido Canto, Fernando Morilla Garcia. Fundamentos de la dinámica de sistemas y modelos de dinámica de sistemas en epidemiología. Madrid;2005.
- Mercado, D. R., Sepúlveda, J. A., Pedraza, L. E. y Hernández, H. (2014). Modelo de implementación de TIC en el sector transporte de la ciudad de Barranquilla utilizando dinámica de sistemas. Revista Dimensión Empresarial, vol. 12, núm. 1, p. 36-45.