

## LA REINGENIERÍA Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS

**Giampaolo Orlandoni Merli**

Universidad de Los Andes  
Instituto de Estadística  
Aplicada y Computación

**RESUMEN.-** Uno de los temas actuales en el campo estadístico y gerencial es el tema de la Reingeniería(RI) y del Mejoramiento Continuo(MC). La Reingeniería se entronca con los conceptos de Calidad Total y puede verse como una parte del proceso de mejoramiento continuo. Por otra parte, la Dinámica de Sistemas es un enfoque que, entre otras cosas, estudia las propiedades de retroacción de los sistemas dinámicos. En este artículo se plantea la relación entre la Dinámica de Sistemas, como metodología de análisis, y la Reingeniería, implementando dicha relación a través de lenguajes de simulación dinámica específicos. Se describen, además, los pasos necesarios para modelar los procesos de mejoramiento continuo, luego de explicar sus características más relevantes.

### 0 INTRODUCCIÓN

Los inicios del Control de Calidad (CC) se remontan a los primeros esfuerzos de producción de la humanidad. En la Edad Media, los artesanos elaboraban sus artículos y, luego de alcanzar cierto estándar de calidad, trataban de eliminar toda variabilidad entre productos; surgió la costumbre de colocarle marcas a esos artículos, desarrollándose el interés por mantener cierto prestigio asociado con dichas marcas.

La Revolución Industrial desplaza al artesano, implantándose el sistema de producción fabril y, con ello, la división y especialización del trabajo, resultando una mayor cantidad de producción y, en general, una disminución en la calidad del producto final.

Uno de los primeros enfoques al problema de controlar la calidad fue la inspección del producto al final del proceso productivo. El objetivo de la inspección final está en identificar los productos que no se ajustan a los estándares fijados, aunque es evidente que la calidad se logra a lo largo del proceso de producción. Es por eso que el CC se enfoca cada vez más hacia el estudio de los procesos diseñados para la fabricación del producto. La idea del CC Estadístico es mantener las características del producto dentro de un nivel satisfactorio, utilizando una metodología específica, basada en principios estadísticos, que permiten fijar normas deducidas del análisis de datos históricos, relacionados con el problema de la calidad.

El control estadístico de calidad comienza formalmente en 1924, cuando Walter A. Shewhart, de la Bell Telephone Co. (USA), crea el gráfico de control de fabricación, considerando que, aun en un proceso de producción bajo control, se generan variaciones inevitables, pero susceptibles de control estadístico. La situación que originó la idea de la inspección a posteriori de los productos fabricados, basándose en los gráficos de control, fue la inspección de piezas de equipamiento de centrales telefónicas de la Bell Co.; se fabricaban en serie gran cantidad de piezas de diversos tipos, que luego se ensamblaban en el equipamiento. La inspección completa de todas las piezas resultaba lenta e impracticable, por tratarse de pruebas destructivas. Bajo estas circunstancias surge el control de fabricación, para así minimizar el número de piezas fuera de especificación. Además se origina la Inspección por Muestreo con el objeto de reducir al mínimo la cantidad de piezas examinadas.

A partir de los años 50, el Dr. Edward Deming introduce la idea del mejoramiento de la calidad, según la cual un producto nunca es suficientemente bueno y puede mejorarse continuamente. Es a partir de estas ideas que los programas de mejoramiento de calidad hacen énfasis en el uso de experimentos diseñados para mejorar el producto en todas sus etapas (diseño, producción, ensamblado), en lugar de centrarse en la inspección a posteriori. Las ideas de Deming se basan en la aplicación de las leyes estadísticas a los procesos de producción; todo trabajo forma parte de un proceso cuyos resultados están sujetos a variación estadística, lo que genera desperdicio y retrabajo, aumentando los costos y

disminuyendo la productividad. La clave está en identificar esa variabilidad, tratando de minimizarla para así mejorar los procesos productivos.

Durante las cuatro décadas que median entre los años 50 y los 90 se fue enriqueciendo y perfeccionando el bagaje estadístico destinado al logro de la calidad en todos los aspectos de la actividad humana. Es durante ese período que surge el conjunto de técnicas estadísticas destinadas a alcanzar la estabilidad de los procesos y mejorar su capacidad, mediante la reducción de la variabilidad (Control Estadístico de Procesos). Estas herramientas estadísticas constituyen sólo la parte técnica, pues este enfoque debe considerarse como una actitud a favor del mejoramiento continuo de la calidad y productividad por parte de toda la organización involucrada.

Hacia el año 1989 surge otra idea en el ámbito del mejoramiento de los procesos, denominada Reingeniería de los Procesos de Negocios (RPN), siendo sus primeros exponentes McKeense, Michael Hammer, Arthur D'Little. Ellos proponen un análisis fundamental y un rediseño radical de los procesos, tratando de alcanzar mejoras drásticas en los índices básicos de rendimiento (calidad, costos, servicios, etc.). Es decir, la RPN conlleva al rediseño de las tareas en cualquier actividad. Significa ello que para tener éxito en la implantación de los programas de calidad y reingeniería es fundamental identificar y comprender plenamente el sistema bajo estudio, sobre el que se pretende actuar. El interés en esta nueva idea refleja el hecho de que el mejoramiento continuo producido por los programas de calidad total es importante pero no suficiente, especialmente en periodos de crisis económicas, tiempos en que las mejoras drásticas son imprescindibles.

El objetivo de este trabajo es presentar las ideas del proceso de Reingeniería bajo el enfoque de la Dinámica de Sistemas, tratando de evidenciar que el éxito de estos procesos estriba en plantear el problema desde la óptica sistémica, lo cual ofrece gran potencialidad en la solución de los problemas enfrentados.

## **1 EL ENFOQUE DE MEJORAMIENTO CONTINUO**

El enfoque de Mejoramiento Continuo (MC) está basado en los principios de Calidad Total. Sus características principales son las siguientes:

- Visión global, en oposición a la visión inmediata y aparente. Implica hacer análisis de sistemas del problema en estudio para así poder ver más allá de lo inmediato y superficial.
- Análisis dinámico y de largo plazo: los procesos de mejoramiento continuo, en general no se adaptan a los análisis estáticos y de corto plazo. Las iniciativas de MC requieren tiempo para que sus efectos se hagan sentir.

Por tanto, las organizaciones que desean incorporar procesos de mejoramiento continuo deben ajustar su visión espacial y temporal para así pensar sistémica y dinámicamente.

Los sistemas en estudio, bajo el enfoque de Dinámica de Sistemas (DS) se caracterizan por presentar relaciones estructurales que generan patrones de comportamiento dinámico. Esta disciplina, la DS, establece explícitamente un vínculo entre dicha estructura y el comportamiento dinámico del sistema estudiado, con lo cual es posible construir modelos de esos sistemas y analizar diseños alternativos de las posibles estructuras que lo conforman.

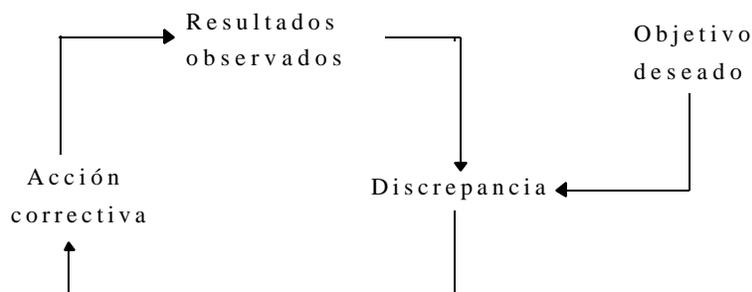
En este sentido, los lenguajes de simulación de DS implementan este enfoque a través de:

- Diagramas: Diseño y esquematización de la estructura del sistema en estudio, presentando las hipótesis que se tienen en relación con su funcionamiento.
- Modelos: Consiste en llevar la estructura conceptualizada a un conjunto de relaciones funcionales entre sus componentes.
- Simulación: Estudia el sistema tal cual es, analizando su comportamiento dinámico. Permite probar situaciones del tipo "debería ser" y su efecto dinámico sobre el sistema modelado.

## 2 MEJORAMIENTO CONTINUO Y RETROALIMENTACIÓN (*FEEDBACK*)

El enfoque de mejoramiento continuo se apoya conceptualmente en el principio de *feedback* y el control que genera dicho principio. Las relaciones de retroalimentación o relaciones recíprocas, son imprescindibles para que el sistema pueda autorregularse, es decir, para que sea capaz de generar comportamientos que se mantengan dentro de límites predefinidos.

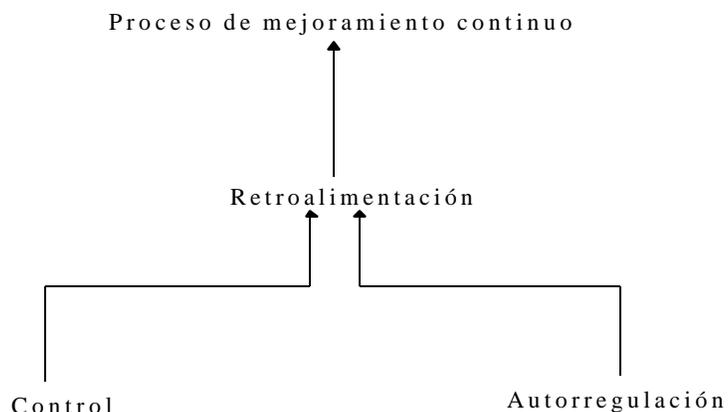
La idea consiste en hacer seguimiento de resultados en relación al objetivo deseado. Esta estructura de retroalimentación permite, en base a cualquier discrepancia que pueda surgir entre objetivo y resultados, tomar acciones correctivas que redireccionan el comportamiento del sistema hacia el objetivo deseado (Ver Figura 1). Y es esta estructura la que proporciona las bases del proceso de mejoramiento continuo (Ver Figura 2).



**FIGURA 1. ESTRUCTURA DE RETROALIMENTACIÓN**

Los diagramadores de los lenguajes de simulación de DS, están diseñados específicamente para capturar las relaciones de *feedback* de los procesos estudiados; por eso pueden simular el

comportamiento dinámico generado por tales procesos, luego de ser modelados.



**FIGURA 2. MEJORAMIENTO CONTINUO Y RETROALIMENTACIÓN**

Las iniciativas de mejoramiento continuo, en general, se sustentan sobre las estructuras de *feedback* negativo incorporadas en los sistemas en estudio. En la Figura 3 se ilustra esta idea. El lazo L1 esquematiza el control y evaluación que debe aplicarse al proceso cuyo comportamiento se quiere mejorar. La evaluación consiste en comparar el comportamiento observado con objetivos previamente fijados (proceso de creación de objetivos). Las discrepancias alimentan un proceso generador de acciones correctivas, el cual produce iniciativas para mejorar el proceso.

Un segundo lazo (L2) envía una fuente continua de ajustes al proceso de creación de objetivos. A medida que se van cumpliendo los objetivos fijados, se introducen nuevos objetivos que cubren otras dimensiones de comportamiento, asegurándose así que el proceso de mejoramiento es un proceso continuo, pues permanentemente se va mejorando él mismo de manera continua.

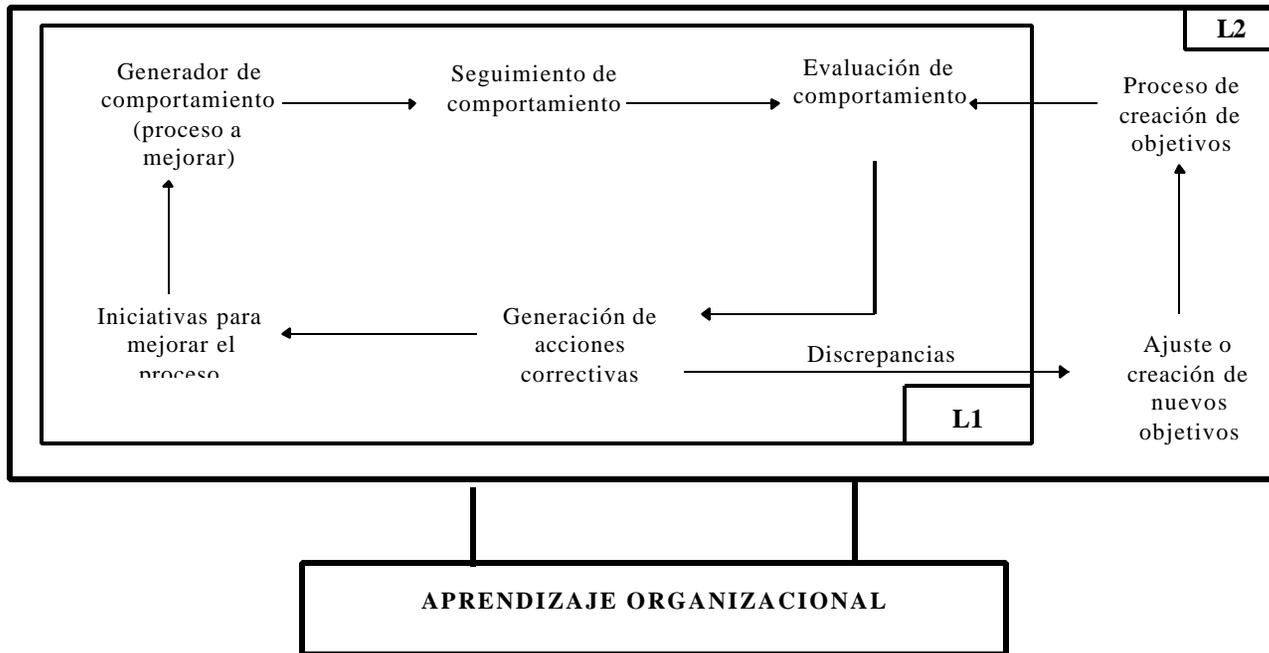


FIGURA 3. LAZOS DEL PROCESO DE MEJORAMIENTO CONTINUO

Un tercer lazo negativo se materializa en el aprendizaje organizacional, lo cual asegura que los procesos de mejoramiento también estén sujetos a mejoramiento continuo.

### 3 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE MEJORAMIENTO CONTINUO

Puede decirse que el proceso de Mejoramiento Continuo tiene las siguientes características:

- a) Estudia el sistema a niveles macro (nivel estratégico) y no a niveles micro (nivel táctico). Es efectivo para analizar políticas que gobiernan la toma de decisiones, inconsistencias en fijación de objetivos, y patrones dinámicos de comportamiento.
- b) Los análisis hechos son del tipo Arriba-Abajo (*top-down*): comienzan con lo más agregado (nivel macro) y van particularizando según sea necesario (bajar al nivel micro) (Ver Figura 4).

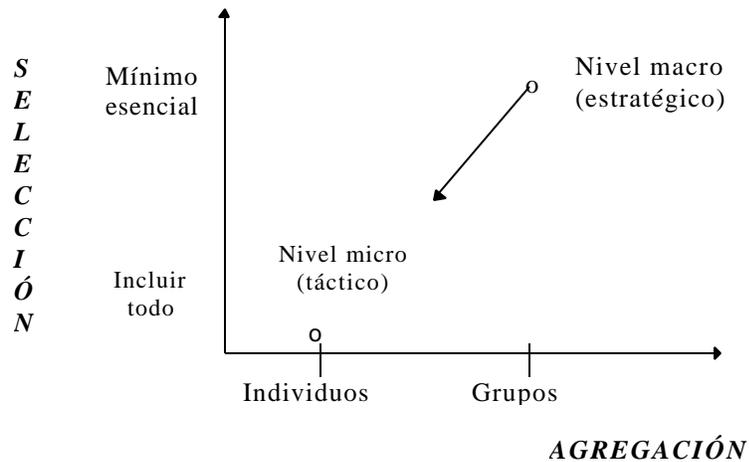


FIGURA 4. ANÁLISIS TOP-DOWN EN MC

- c) Enfoque sistémico: el análisis inicial arriba-abajo implica agregación, mas no un enfoque estrecho y limitado; es simple en detalles, pero amplio en sus objetivos.
- d) Enfoque dinámico: no es un análisis de corto plazo, sino que toma en cuenta los comportamientos dinámicos residentes en el proceso en estudio.

#### **4 MODELAJE EN MEJORAMIENTO CONTINUO**

El proceso de modelaje en mejoramiento continuo es iterativo y se desarrolla a varios niveles:

- **Proceso iterativo:** no se mueve linealmente a lo largo de una serie de pasos, sino en forma cíclica regresando a pasos previos según sea necesario.
- **Proceso a varios niveles:** el proceso se desarrolla a través de niveles crecientes de complejidad, desagregando y seleccionando mayor detalle en cada nivel según sea necesario.

La idea es proceder, iterativamente, dentro de cada nivel, moviéndose hacia niveles cada vez más complejos, conceptualmente. En la mayoría de las aplicaciones de mejoramiento continuo hay tres niveles principales: nivel físico, nivel de índices financieros y nivel de variables blandas o cualitativas.

Los pasos a seguir en MC para construir modelos bajo el enfoque de DS son los siguientes:

1. Focalización de esfuerzos y definición de objetivos.
2. Elaboración de mapas globales y sectoriales.
3. Construcción del modelo(o modelos) del sistema.
4. Simulación dinámica del sistema modelado.
5. Implementación de los resultados.

A continuación se explican los puntos más importantes en cada paso:

#### **4.1 FOCALIZACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFINICIÓN DE OBJETIVOS**

La misión en este primer paso es llegar a una definición clara y operativa de los objetivos buscados. La pregunta básica es la siguiente: qué comportamiento observado del sistema se quiere mejorar, en qué magnitud y a lo largo de qué período de tiempo.

En este paso es esencial construir Patrones de Comportamiento Referencial (PCR) y gráficos de brechas: estos son gráficos de variables que representan el comportamiento del sistema bajo estudio, reflejando posibles brechas al comparar "lo que es" con "lo que debería ser" (Ver Figura 5).

#### **4.2 DIAGRAMA DEL SISTEMA**

Como segundo paso, el diagrama general del sistema proporciona una visión global y sistémica del problema en estudio; su elaboración implica definir el número mínimo de actores cuya interacción puede generar el patrón de comportamiento referencial observado.

Es en este paso que debe hacerse la distinción, nada fácil, entre simplificación de procesos y reingeniería:

##### **1. Simplificación de procesos:**

En esencia, la simplificación de procesos se reduce a eliminar las redundancias y funciones que no agregan valor a los procesos estudiados. Generalmente, las organizaciones se sobrecargan de normas y procedimientos administrativos a lo largo de su vida; ocasionalmente es necesario revisar y eliminar lo superfluo para que el sistema funcione más eficientemente. La simulación de iniciativas que simplifican procesos, usualmente confirman lo que parece obvio: si se acorta el tiempo requerido para completar un proceso, el tiempo total necesario para terminar el trabajo también se reduce.

## 2. Reingeniería:

La Reingeniería consiste en reestructurar el sistema en estudio, agregando elementos nuevos o rediseñando radical y sustancialmente los procesos que ya existen, mediante el uso de nueva tecnología basada esencialmente en la cibernética. Se centra en los procesos, tratando de eliminar todo lo que no agrega valor. Implica reestructurar las políticas y reglas de decisión que gobiernan el comportamiento del sistema:

- **Reestructuración Radical:** es necesario ir a la raíz del problema, cambiando totalmente lo que se tiene. En este sentido, se opone al proceso de simplificación que busca arreglar lo que está funcionando para obtener beneficios marginales.
- **Reestructuración Sustancial:** no se ocupa de cambios que conllevan a mejoras marginales, sino de cambios drásticos y muy visibles.
- **Reestructuración de Procesos:** un proceso implica el flujo de material e información a través de una secuencia de actividades, que se traducen en alguna transformación o almacenamiento de las magnitudes que están fluyendo. La unidad fundamental de análisis de un proceso es **la actividad**, cuyas características básicas son sus elementos (variables de estado y variables de flujo) y los lazos de *feedback*.

El flujo de material e información va desde y hacia las actividades y, a medida que esto sucede, varían las acumulaciones. Las relaciones de *feedback* actúan como controladores, asegurando que dichos niveles no sobrepasen ciertos límites y que los flujos procedan a la velocidad y dirección esperada. La RI inicia sus actividades rediseñando los procesos del sistema en estudio.

Los lenguajes de simulación de DS pueden usarse para llevar a cabo ambos análisis de mejoramiento continuo, tanto simplificación de procesos como reingeniería, aunque su gran efectividad se manifiesta en esta última. Para hacer uso efectivo de esos simuladores, es necesario desarrollar análisis de sensibilidad del

modelo estudiado, para así reconocer los sectores que requieren simplificación y los que necesitan de RI y centrar la atención en estos últimos casos.

Reconocer la diferencia entre procesos que requieren simplificación de los que necesitan RI es una de las tareas más difíciles de quienes se encargan de hacer trabajo de MC. Generalmente es sencillo descubrir redundancias en algunas etapas de cualquier proceso, pero es mucho más difícil descubrir que las políticas y las reglas que gobiernan las actividades de un proceso generan comportamientos dinámicos inapropiados.

Es muy importante tener claro el propósito operativo para lo que se está usando MC, pues ello ayuda a definir los límites del sistema con lo cual la atención no tiende a centrarse en los efectos sino en la estructura: las causas de comportamientos mediocres son estructurales y tienen que ver con las relaciones que regulan el flujo de actividades en el proceso. La reducción de los tiempos de ejecución no son un fin en sí mismo, sino el resultado de mejorar las relaciones estructurales que definen el proceso en estudio.

Luego de hacer los diagramas globales del sistema, es necesario construir diagramas sectoriales: esto implica dividir el sistema en subsistemas o sectores, y hacer un diagrama más detallado para cada uno de ellos. El análisis de los diagramas sectoriales debe hacerse a diversos niveles; en general, pueden definirse tres niveles de complejidad:

- **Nivel Físico:** incluye la información básica sobre flujos y niveles del proceso.
- **Nivel Financiero:** incorpora al modelo índices financieros y de comportamiento en caso de ser relevantes.
- **Nivel Cualitativo:** toma en consideración el aspecto más difícil del sistema: las variables blandas o cualitativas, como son, la resistencia al cambio, la calidad de liderazgo, los aspectos organizacionales, la moral del equipo.

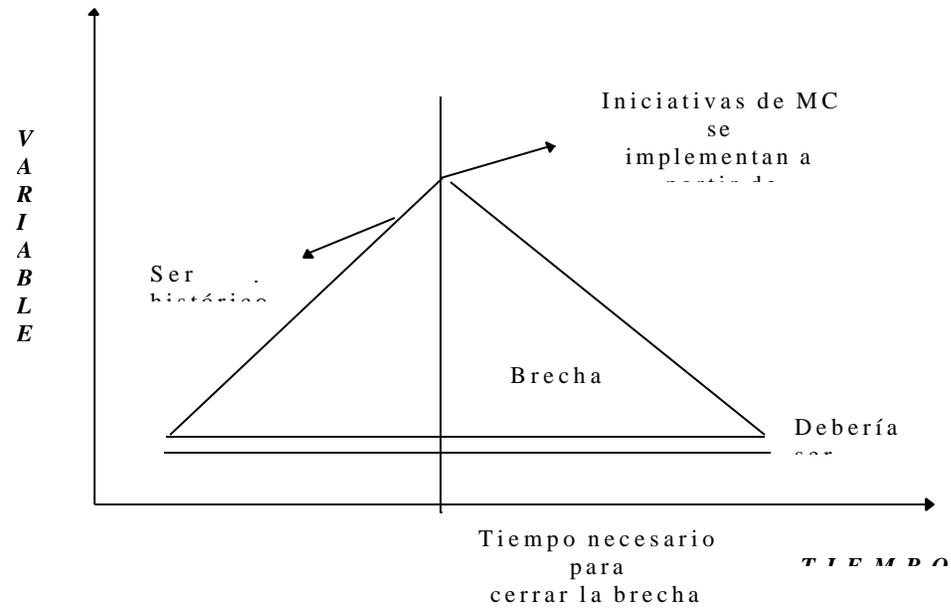


FIGURA 5. GRÁFICO DE BRECHAS Y COMPORTAMIENTO REFERENCIAL

### **4.3 MODELAJE Y SIMULACIÓN**

Después de analizar los diagramas general y sectoriales del sistema, se continúan con su modelaje y simulación, respectivamente. El proceso de análisis se realiza en forma iterativa entre los pasos 2, 3 y 4 (esquemas, modelos, simulación). Debe comenzarse con niveles físicos bastante agregados del sistema; luego se hace análisis de sensibilidad para determinar los sectores más apropiados en los cuales debe profundizarse el estudio. Las actividades prioritarias en esta profundización son las que tienen asociadas tiempos altos de ejecución, elevado porcentaje de consumo de recursos, colas largas. Luego de identificar las actividades sensitivas, se desagregan y se hace más trabajo de simulación a estos niveles. El siguiente nivel de análisis consiste en incorporar los aspectos financieros y cualitativos, simulando el modelo ampliado.

### **4.4 IMPLEMENTACIÓN**

El último paso consiste en hacer público los resultados obtenidos y lograr su implementación. Para ello es importante desarrollar un esquema global simplificado, de forma tal que se mantenga la estructura esencial del proceso y las conexiones más importantes.

La verdadera clave para lograr la implementación de los análisis hechos, está en el compromiso y participación de quienes quieren lograr mejoras en el sistema estudiado. Ninguna tecnología puede reemplazar a quienes no participan del rediseño del proceso con el cual van a trabajar.

Los lenguajes de simulación facilitan la incorporación y participación del personal, proporcionando un lenguaje visual y operacional para comunicar al usuario la estructura del proceso, pero de ninguna manera reemplazan la voluntad de participación colectiva en el trabajo de mejoramiento continuo.

Esquemáticamente (véase Figura 6), se puede establecer, como conclusión, la siguiente relación entre la participación de la alta gerencia, el propósito y objetivo del análisis, y la tecnología utilizada:



**BIBLIOGRAFÍA**

- Forrester, Jay (1961): Industrial Dynamics. The MIT Press. Massachusetts.
- Montgomery, Douglas (1991): Introduction to Statistical Quality Control. Second Ed. John Wiley & Sons.
- Pugh Roberts and Associates, Inc. (1986): Introductory Guide And Tutorial To Professional Dynamo Plus.
- Richmond, B. (1985): A User's Guide To Stella. High Performance Systems.
- Roberts, Nancy (1983): Introduction To Computer Simulation, Addison.
- Vaughn, Richard (1974): Quality Control. The Iowa State University Press. Iowa.
- Orlandoni M., Giampaolo (1992): Simulación y dinámica de sistemas. Corpoven. Venezuela.

**ANEXO 1  
LENGUAJES DE SIMULACIÓN EN DINÁMICA  
DE SISTEMAS**

Para simular modelos de dinámica de sistemas, puede usarse lenguajes de propósito general, como BASIC, FORTRAN, PASCAL, C. Pero es mucho más eficiente utilizar lenguajes específicos de simulación. Los principales son:

1. Lenguajes generales de simulación: estos lenguajes tienen la capacidad de simular modelos discretos, continuos y mixtos. Los principales son: SLAM, SIMAN.
2. Lenguajes de simulación para modelos continuos: *Dynamo*, *Stella*, *Powersim*. Estos lenguajes se caracterizan por:
  - Representar las relaciones de *feedback* del sistema.
  - Simular su comportamiento dinámico.
  - Hacer seguimiento continuo de la operación del sistema en relación con ciertos objetivos, para que, en base a cualquier discrepancia, se activen acciones correctivas.

Estos lenguajes permiten:

- Diagramar mapas globales y sectoriales del sistema.
- Modelar relaciones que definen la estructura del proceso.
- Simular y analizar el comportamiento dinámico del proceso.
- Observar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios.

## **ANEXO 2 SISTEMAS**

Es indiscutible que "Sistema" es hoy uno de los conceptos más ampliamente usados en la ciencia. Se encuentra en casi todos sus campos fundamentales. Un sistema es un conjunto de elementos con determinadas propiedades, relacionados de alguna forma, que operan conjuntamente para lograr un objetivo dado. El ambiente de un sistema está compuesto por otro sistema, tal que:

- a) Existe alguna interacción entre algunas variables del ambiente y del sistema considerado.
- b) No puede precisarse el comportamiento de las variables ambientales más allá de sus relaciones con las variables del sistema objeto de estudio.

Un modelo es una descripción abstracta del mundo real; los modelos se construyen con el propósito de facilitar la comprensión y mejorar la predicción del sistema en estudio.

## **ANEXO 3 DINÁMICA DE SISTEMAS**

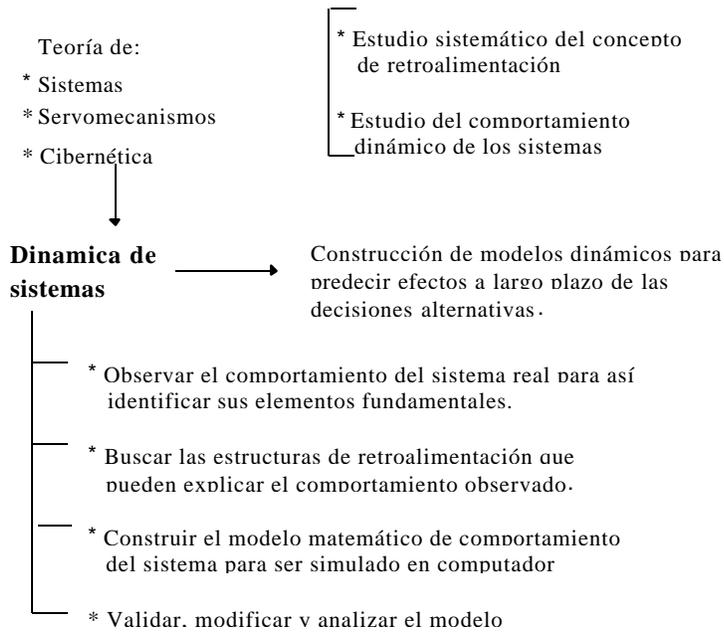
La dinámica de sistemas es una metodología de análisis que estudia de qué manera la estructura de *feedback* del sistema estudiado genera su comportamiento dinámico; es decir, trata de describir:

- Las fuerzas internas que generan los cambios observados en el tiempo en el sistema estudiado.
- La manera cómo se interrelacionan dichas fuerzas.

La dinámica de sistemas está relacionada directamente con la teoría de los servomecanismos y de la cibernética, cuya característica fundamental es la incorporación del concepto de retroalimentación de información.

La retroalimentación (*feedback*) es el proceso por el cual, al actuar sobre un determinado sistema, se obtiene continuamente

información sobre los resultados de las decisiones tomadas, y que sirve para tomar decisiones sucesivas. Es decir, es el proceso por el cual una causa inicial se propaga a través de una red de causación para reafectarse a sí misma nuevamente.



**FIGURA 7. DINÁMICA DE SISTEMAS**

Los análisis de dinámica de sistemas se caracterizan por tratar el sistema en forma continua, con lo cual se analizan los eventos en forma agregada; no se consideran eventos individuales y discretos (como hacer un pedido, enviar un producto). La dinámica de sistemas se concentra en las tasas de cambio de las diferentes magnitudes o niveles que intervienen en la organización estudiada.

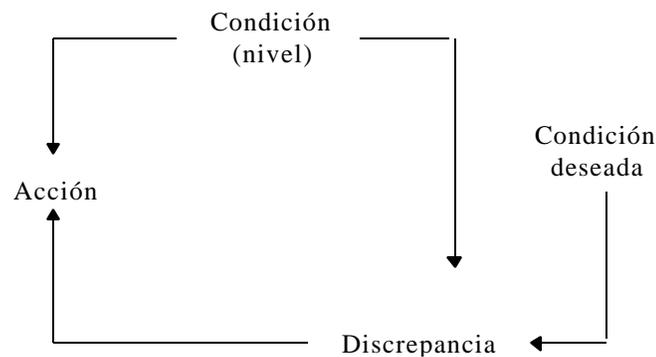
El proceso de modelaje según el enfoque de dinámica de sistemas se centra en la visión global (*global view*) del problema

en estudio, progresando desde la conceptualización y llegando a los detalles de formulación de ecuaciones y pruebas del modelo.

La esencia de la visión global se basa en dos supuestos interrelacionados:

1. La búsqueda de objetivos (*goal-seeking*).
2. Estructura de retroalimentación (*feedback structure*):

La búsqueda de objetivos requiere la existencia de la estructura de *feedback*, que es un proceso circular, en el cual cualquier desviación de las condiciones actuales respecto de las condiciones deseadas estimula acciones para que tales condiciones regresen al estado deseado (Ver Figura No. 8).



**FIGURA 8. ESTRUCTURA DE *FEEDBACK***

Este punto de vista se denomina estructura interna de retroalimentación y conlleva a la idea de que el comportamiento del sistema no es producto de impactos externos, sino de la forma cómo la estructura de *feedback* del sistema procesa esos impactos.