

EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES EN ENTORNOS COMPLEJOS: UNA APLICACIÓN METODOLÓGICA



Yolanda Álvarez Castaño y M^a Isabel Alonso Magdaleno
Dpto. de Administración de Empresas y Contabilidad
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos e instrumentos actualmente utilizados en la práctica totalidad de los centros de formación en Dirección de Empresas, son insuficientes para hacer frente a los entornos complejos a los que nos enfrentamos hoy en día, lo que hace más difícil la toma de decisiones.

Como subrayan Senge y Sterman en su artículo “Systems Thinking and Organizational Learning” los simuladores de empresa y los laboratorios de aprendizaje ayudarán a superar las persistentes dificultades que afrontan los directivos en las organizaciones complejas, dificultades que pueden aumentar de forma dramática en un entorno global que cambia rápidamente (Senge y Sterman, 1992 p. 129).

La dinámica de sistemas integra el conocimiento sobre el mundo real mediante conceptos sobre como las estructuras de realimentación causan todos los cambios a través del tiempo, y con la simulación por ordenador, lo cual permite, manejar sistemas que son demasiado complejos para un análisis matemático. La dinámica de sistemas se inicia con la detección de problemas importantes, llega hasta la comprensión de las estructuras que producen los síntomas no deseados, y continúa hasta encontrar cambios en la estructura y las políticas que propiciarán un mejor comportamiento del sistema. La dinámica de sistemas puede conducir a una mejora en el esquema para entender la complejidad.

El creciente interés por esta metodología queda patente al constituir el objeto de estudio en un gran número de Universidades, Escuelas de Negocios y Colegios norteamericanos/as y europeos/as para la enseñanza directiva. Además, muchas empresas han aplicado la dinámica de sistemas, y algunas han introducido programas de aprendizaje (Forrester, 1961; Lyneis, 1980; Morecroft, Lanes y Viita, 1991; E. Roberts, 1978; Wolstenholme, 1990). La dinámica de sistemas se ocupa del cambio, de ahí que los gobiernos de varios países estén utilizando esta metodología para comprender los cambios sociales y económicos.

Los conocidos y ampliamente debatidos modelos de dinámica de sistemas han ilustrado las fuerzas sociales y de negocios, presentes en el crecimiento y el estancamiento de las ciudades (Alfeld y Graham, 1976; Forrester, 1969; Mass, 1974; Schoroeder, Sweeney y Alfeld, 1975). Los estudios de dinámica de sistemas sobre el crecimiento de la población, la industrialización y la polución son objeto de atención en todo el mundo, incluso del libro *Los Límites al Crecimiento*, se han vendido más de tres millones de copias, y el mismo ha sido traducido a más de treinta lenguas (Forrester, 1971 a; Forrester, 1971 b; Meadows, Randers y Beherens, 1972; Meadows y Meadows, 1973). De hecho, el Modelo Nacional de Dinámica de Sistemas del MIT es probablemente la más extensa aplicación existente al comportamiento económico (Forrester, 1979; Forrester, 1980 a; Forrester, 1985; Forrester, 1987 a). Los programas de educación con dinámica de sistemas se encuentran bien avanzados en unas treinta escuelas secundarias estadounidenses, y algunas actividades han comenzado en unas trescientas más (Forrester, 1990; Forrester, 1991). Un programa conjunto de los países escandinavos, está desarrollando la dinámica de sistemas para la educación de jóvenes estudiantes. Alemania ha desarrollado un programa para usar la dinámica de sistemas, así como el programa STELLA, para enseñar física elemental (Schecker, 1993).

A tenor de estos hechos, puede afirmarse que la dinámica de sistemas se encuentra ahora en el umbral de su mayor expansión, con una rapidísima diversificación de oportunidades en negocios, sociedad y educación.

Hoy en día el enfoque de sistemas y la formulación de modelos estratégicos se utiliza ampliamente en una gran variedad de empresas¹ y sectores para resolver problemas prácticos de dirección y planificación de empresas. Las aplicaciones van desde generación de escenarios y modificación de la normativa sectorial hasta diseño de políticas, reingeniería de procesos y análisis de escenarios hipotéticos a nivel de empresa.

¹ Algunas empresas que aplican este enfoque son AT&T, Ford, IBM o Shell.

Como consecuencia de su extensa utilidad y aplicabilidad, nuestro objetivo en las siguientes páginas es presentar al lector algunas nociones sobre pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas como metodología.

2. PENSAMIENTO SISTÉMICO

Se espesan las nubes, el cielo se oscurece, las hojas flamean, y sabemos que lloverá. También sabemos que después de la tormenta el agua de desagüe caerá en ríos y lagunas a kilómetros de distancia, que el cielo estará despejado para mañana. Todos estos acontecimientos están distanciados en el espacio y en el tiempo, pero todos están conectados dentro del mismo patrón. Cada cual influye sobre el resto, y la influencia está habitualmente oculta. Sólo se comprende el sistema de la tormenta al contemplar el todo, no cada momento individual, (Senge, 1995).

El *pensamiento sistémico* puede ser considerado como un lenguaje potente, ya que expande nuestro modo de abordar los problemas complejos. Es un modo de ver el mundo que afecta al modo de pensar. Mediante el pensamiento sistémico podemos aprender a articular las complejas interconexiones de causalidades circulares que nos rodean en el mundo en que vivimos y a evaluar las consecuencias del acto que escogemos.

Cuando estudiamos un lenguaje nuestro aprendizaje es lineal (la construcción de una oración sigue un orden, sujeto-verbo-objeto), esto trasladado a una visión global X causa Y. Esta linealidad nos predispone a pensar de un modo lineal en vez de un modo circular donde X causa Y pero Y influye en X.

En su nivel más amplio, el pensamiento sistémico abarca una amplia y heterogénea variedad

de métodos, herramientas y principios, todos orientados a examinar la interrelación de fuerzas que forman parte de un proceso común. La conducta de todos los sistemas sigue ciertos principios comunes. Pero hay una forma de pensamiento sistémico que se ha vuelto sumamente valiosa como idioma para describir el logro de un cambio fructífero en las organizaciones: la *dinámica de sistemas*. Las herramientas del pensamiento sistémico (diagramas causales, arquetipos y modelos) nos permiten hablar con mayor soltura de las interrelaciones, pues se basan en el concepto teórico de los procesos de realimentación (Senge, 1997).

El pensamiento sistémico es un marco conceptual, un cuerpo de conocimientos y herramientas que se han desarrollado en los últimos cincuenta años, para que los patrones totales resulten más claros y para ayudarnos a modificarlos. Todo ello supone una visión del mundo extremadamente intuitiva. El problema es que nos solemos concentrar en partes aisladas del sistema y solemos actuar sobre el síntoma del problema. Sin embargo, las soluciones sintomáticas sólo mejoran el sistema temporalmente, lo encubren, pues lo realmente importante es conocer la estructura del mismo para retroceder en el tiempo y eliminar la raíz del problema, y esto no es posible si nos centramos en las partes y no en el todo. El pensamiento sistémico es una disciplina para ver totalidades, para ver las estructuras que subyacen a las situaciones complejas. El pensamiento sistémico ofrece un lenguaje que comienza por reestructurar nuestro pensamiento.

La clave del pensamiento sistémico es la palanca, es decir, el punto donde los actos y modificaciones en estructura pueden conducir a mejoras significativas y duraderas. El propósito de los arquetipos sistémicos² es ayudar a ver esas estructuras y así hallar el punto de apalancamiento.

En la FIGURA 1 se recoge la esencia, principios y prácticas del pensamiento sistémico.

² Estructuras que se repiten una y otra vez en nuestra vida personal y laboral.

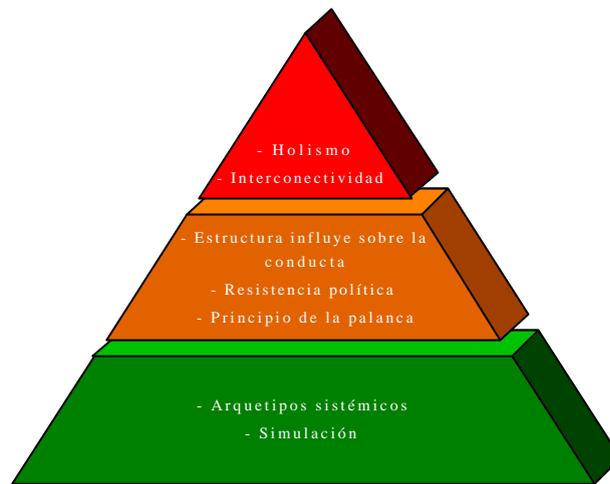


FIGURA 1. ESENCIAS, PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO

Fuente: Senge, 1995

3. LA DINÁMICA DE SISTEMAS COMO METODOLOGÍA: ORIGEN HISTÓRICO, CONCEPTO Y FUNDAMENTOS

El origen histórico de la *dinámica de sistemas* se encuentra ligado a la compañía Sprague Electric, empresa dedicada a la fabricación de componentes electrónicos de gran precisión. Los clientes de esta compañía eran empresas de material electrónico destinado a usuarios altamente especializados. Dado los pocos clientes fuertes que existían era de esperar que el flujo de pedidos se mantuviese más o menos constante pero, sin embargo a mediados de los años 50 se observó como los pedidos experimentaban fuertes oscilaciones.

La compañía preocupada por esos comportamientos anti-intuitivos³ que se observaban en la evolución de sus pedidos y los efectos negativos que originaban decidió encargar a un equipo del M.I.T (Massachusetts Institute of Technology), bajo la dirección de Jay Forrester⁴, el estudio del problema. Forrester a lo largo del estudio comprendió el papel primordial que desempeñan las estructuras de realimentación de información y observó, como la combinación de retrasos en la transmisión de información, junto con las estructuras de realimentación estaban, en gran medida, en el origen de las oscilaciones. Forrester trató de aplicar al estudio del problema de Sprague Electric la idea de que un bucle de realimentación con retardo puede producir oscilación.

Forrester fue sistematizando sus ideas y metodología para dar lugar al final de los años cincuenta a la *dinámica industrial*, la cual comenzó a aplicarse sistemáticamente a distintos casos prácticos. La dinámica industrial trata del sistema central subyacente en la actividad industrial y tiene como objetivo el “diseño de empresa”, cuya meta es crear mejores políticas de dirección y mejores estructuras organizativas. La dinámica industrial configura una forma de orientar el estudio de los sistemas industriales que persigue mostrar como las políticas, decisiones, estructura y demoras se interrelacionan para influir en el desarrollo y estabilidad de los mismos (Forrester, 1961). La dinámica industrial agrupa cada una de las áreas funcionales: dirección, inversión, investigación, comercialización, personal, producción y contabilidad, reduciéndolas a una base común, de modo que cualquier actividad económica o empresarial se reduce a un flujo, ya sea monetario, de pedidos, de materiales, de personal o de equipamiento. Estos cinco flujos se conectan a través de una red de información; dicha red es considerada fundamental por la dinámica industrial puesto que es la que otorga al sistema sus propias características dinámicas.

³ Al hablar de comportamiento anti-intuitivo nos referimos a la contradicción existente entre la predicción de una demanda más bien constante y unos pedidos que fluctúan a lo largo del tiempo como se describe en el primer párrafo.

⁴ Jay W. Forrester es profesor emérito en el Massachusetts Institute of Technology y fundador de la dinámica de sistemas. Desde su retiro en 1989, ha estado trabajando en la aplicación de la dinámica de sistemas en el 12th grade schools, como base para un nuevo tipo de educación. Forrester analiza como varía el comportamiento de las organizaciones a lo largo del tiempo. Definió la dinámica industrial como un método de análisis que estudia las características de la realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar cómo la estructura organizativa, la amplificación (de

A mitad de los años sesenta se empezó a extender esta metodología a otros tipos de sistemas, como a dinámica urbana⁵ y mundial⁶. Estas aplicaciones pusieron de manifiesto que esta metodología era lo suficientemente potente como para abordar problemas sociales, de ahí que se experimentase un cambio en la denominación pasando a llamarse dinámica de sistemas⁷, la cual surge, por tanto, en un contexto histórico en el que se desarrollan movimientos intelectuales de tipo científico y técnico, que determinan sus características esenciales. En la dinámica de sistemas se combinan tres líneas de desarrollo científico - técnico (Aracil, 1986):

⇒ *Las técnicas tradicionales de gestión de sistemas sociales (privados o públicos).*

Los procesos de toma de decisión tradicionales empleados se basan en la intuición, la experiencia y la información. Estos métodos tradicionales de gestión utilizan la experiencia acumulada por el decisor, construyéndose a partir de pautas repetitivas (modelos mentales que a su vez son modificados, es decir corregidos y/o perfeccionados mediante un proceso de aprendizaje).

La dinámica de sistemas traslada esos modelos mentales a procesos computerizados, capaces de deducir las consecuencias de la interacción entre las distintas partes del sistema lo cual escapa a nuestra capacidad de comprensión. Esos modelos, a su vez, se corrigen y perfeccionan mediante un proceso de aprendizaje. Cualquier intento de establecer de una forma sistemática modelos formales para facilitar la toma de decisiones deberá partir del hecho histórico de que los métodos tradicionales de gestión están basados en una acumulación de experiencia ampliamente contrastada (Aracil, 1986, p.34).

políticas) y las demoras (en las decisiones y acciones), interactúan e influyen en el éxito de la empresa (Forrester, 1961).

⁵ *Urban Dynamics* (Forrester, 1969).

⁶ En 1970 el Club de Roma encargó a Forrester la realización de un modelo del mundo analizándolo desde un punto de vista dinámico. El trabajo fue publicado en 1971 por este autor con la denominación de *World Dynamics*.

⁷ Por dinámica de sistemas se entiende una metodología de simulación basada en computación. Cabe destacar la definición proporcionada por Jay J. Forrester (1961) que únicamente hacía referencia al ámbito de la industria pero, sin embargo es posible extenderlo a toda la realidad y a todo tipo de organización.

Richardson en 1981, define de un modo más genérico esta metodología diciendo que está diseñada para entender problemas de gran complejidad. Según este autor los problemas analizados a través de la dinámica de sistemas tienen dos características en común:

❶ *Problemas dinámicos*. En el sentido de que incluyen cantidades que varían a lo largo del tiempo.

❷ *Existencia de feedback (realimentación) en los mismos*. Es decir, cuando la situación en la que se encuentra un sistema da lugar a una decisión cuyo resultado es una acción que a su vez influye en la misma y en decisiones futuras.

La principal característica (Aracil, 1986) de la dinámica de sistemas reside en que la estructura del modelo no está previamente determinada y la establece el constructor del mismo. La dinámica de sistemas tiene por objetivo mostrar cómo se produjo el problema. No siempre es evidente que el origen del mismo y por tanto, su solución, estén íntimamente relacionados con los síntomas de comportamiento que dicho problema provoca en el sistema, (Schroeder, W. 1977). Si no se entiende el sistema no es posible distinguir entre causa y efecto. La construcción del modelo ha de ser simplificada, dado

⇒ *La teoría de los sistemas realimentados.*

En este contexto cabe destacar la aparición formal del concepto de *sistema dinámico* como sumario abstracto de los datos de observación de un sistema real.

Esta teoría suministra las estructuras básicas para generar una gran variedad de comportamientos dinámicos que pueden servir para explicar los comportamientos observados en la realidad⁸. Al mismo tiempo, también se dispone de técnicas específicas que permiten realizar la integración de la información obtenida de la realidad en los modelos (Aracil, 1986, p.35).

⇒ *Simulación por computador.*

Gracias a esto es posible conseguir en tiempos cortos y a bajo coste cálculos, que permitirán convertir acciones irreversibles en reversibles, permitiendo tener una perspectiva global. De este modo se consigue operatividad, que es sobre la que en último extremo se basa el interés práctico de esta metodología.

De acuerdo con estas tres corrientes, la dinámica de sistemas trata de construir, basándose en la opinión de expertos, modelos dinámicos en los que juegan un papel primordial los bucles de realimentación y empleando el computador como útil básico de simulación. El hecho de que los modelos de la dinámica de sistemas traducen, fundamentalmente, la opinión de expertos es absolutamente crucial para la comprensión del significado de la misma. A la dinámica de sistemas cabe considerarla como un lenguaje para la expresión de modelos de sistemas sociales; la voz lenguaje se entiende aquí en su sentido más amplio y no, por supuesto, en el de un lenguaje de programación (Aracil, 1986, p.35).

A continuación, en la FIGURA 2, se resumen de un modo esquemático las interrelaciones existentes entre estos conceptos.

que de lo que se trata es de mejorar la comprensión de un cierto aspecto de la realidad.

⁸ Peter Senge, 1995 señala varios "arquetipos o estructuras genéricas" (véase apartado 6).

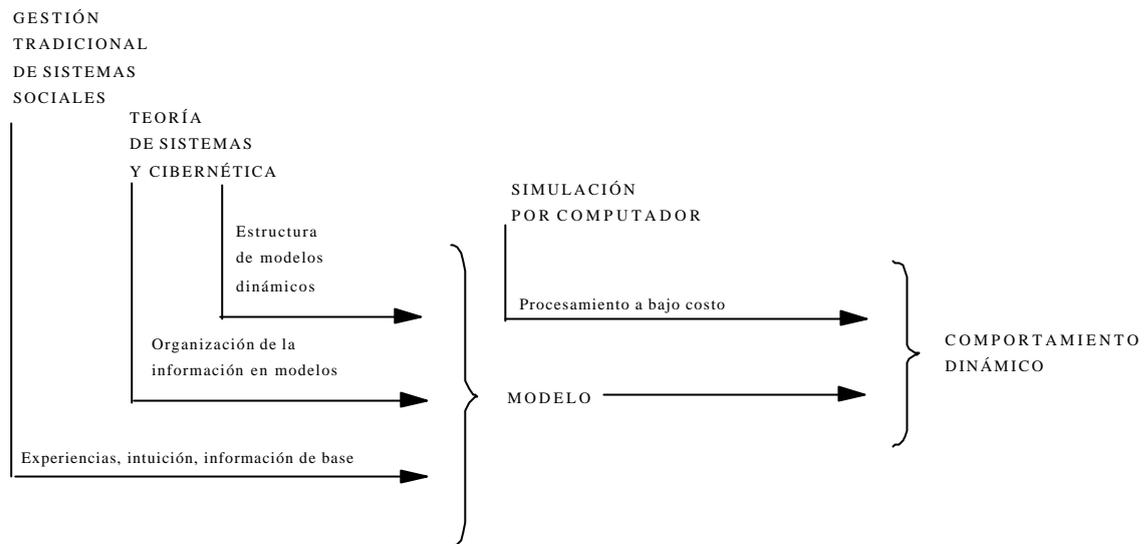


FIGURA 2. ESQUEMA DE LA GÉNESIS DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Fuente: Aracil, 1986⁹

La gestión de todo sistema social implica la toma de decisiones que se pretende que sean óptimas en términos de racionalidad y consistencia. Los procesos de toma de decisiones se suelen basar en factores tales como la intuición, la experiencia pasada en situaciones similares y en la utilización de cierta información de base. Todos estos factores configuran los denominados modelos mentales que subyacen a la toma de decisiones en cualquier ámbito.

Estos modelos tradicionales que se basan en la experiencia acumulada por el decisor y en la información disponible sobre situaciones anteriores han servido como base de los procesos decisorios. De toda la información que posee el decisor y experiencia acumulada se extraen aquellas pautas repetidas a lo largo del tiempo a partir de las cuales se efectúan generalizaciones y predicciones. Como consecuencia toda metodología que se emplee para la construcción de modelos mentales debe de contener la opción de incluir la experiencia acumulada como parte de los modelos. En este sentido la dinámica de sistemas, como metodología incluye esta recomendación ya que todo modelo que se construye se basa en la

⁹ Aracil recoge mediante esta figura las ciencias y metodologías que constituyen los antecedentes y los fundamentos de la aparición de la dinámica de sistemas, (Aracil, 1986; p. 34).

opinión de los expertos involucrados en ese sistema que se desea representar.

Ahora bien, cuando abordamos problemas complejos emplear la intuición a la hora de tomar decisiones no es fiable, dado que nuestra mente no está preparada para conocer a lo largo del tiempo como se desarrollan las interrelaciones entre las distintas variables que intervienen en un modelo. El ordenador es el complemento del investigador en la utilización de esta metodología, pues el investigador construye el modelo tras un cuidadoso estudio de los distintos elementos que intervienen en el sistema, tratando de lograr una mayor precisión, ayudándose de sus conocimientos y de la información que le suministran los especialistas en el sistema social que se trate de modelar (las personas son la fuente de datos en la formulación de la estructura del modelo) y el ordenador es el encargado de predecir las consecuencias de las interrelaciones que el investigador ha reflejado en el modelo.

Muchas veces tendemos a pensar en términos de una relación causa - efecto, olvidando la estructura de realimentación que subyace en todo sistema. Es decir, se tiende a observar las variables que intervienen en los procesos de realimentación de un modo aislado, sin tener en cuenta la relación dinámica que existe entre ellas. La dificultad a la hora de captar esas relaciones se encuentra en la existencia de demoras temporales que impiden observar relaciones causa - efecto alejadas en el tiempo.

La FIGURA 2 hace referencia a la teoría de sistemas y a la cibernética. Así la dinámica de sistemas ha recogido estudios sobre sistemas realimentados no lineales desarrollados por la cibernética. Por otra parte, la teoría de sistemas realimentados proporciona una serie de estructuras básicas que subyacen a un gran número de sistemas y que permiten generar una gran variedad de comportamientos dinámicos presentes en la realidad.

Gracias a la cibernética, la teoría general de sistemas y la informática; la dinámica de sistemas trata de elaborar modelos dinámicos en los que se recojan los bucles de realimentación detectados en el sistema real, empleando como herramienta básica para la simulación el ordenador. Ello permite obtener en poco tiempo y con un bajo coste los cálculos implícitos a

un modelo, facilitando la simulación sucesiva con el modelo de situaciones o condiciones alternativas.

Es fundamental que los modelos reflejen las opiniones de los expertos que posean la información y estén íntimamente vinculados al sistema que se trata de analizar. La participación de personas involucradas en el sistema (Vennix y Gubbels, 1992) y que en último término son las poseedoras de los modelos mentales de los mismos es un requisito fundamental para que un modelo resulte aceptable y aplicable.

La dinámica industrial fue posible gracias a cuatro fundamentos desarrollados durante los veinte años anteriores a su aparición (Forrester, 1961). En primer lugar, la teoría de los sistemas de realimentación de información que sirvió de apoyo para comprender la búsqueda de objetivos, el denominado “interjuego autocorrectivo” entre las partes de un sistema. En segundo lugar, la investigación efectuada en relación con la naturaleza de la adopción de decisiones en el ámbito de las tácticas militares modernas constituyó una base para comprender el lugar que ocupa la toma de decisiones en el ámbito industrial. En tercer lugar, el diseño de modelos experimentales de sistemas altamente complejos, tanto de ingeniería como militares, demostró que también podían ser puestos en práctica para sistemas sociales. Por último, la aparición de los computadores digitales supuso un gran avance en la medida en que se convirtió en el instrumento idóneo para la resolución de gran cantidad de cálculos requeridos en los modelos¹⁰.

En cuanto a la teoría del control de la realimentación, el principal fundamento de dinámica industrial es el concepto de *servomecanismo o sistema de realimentación de la información*¹¹. La idea que subyace a este concepto es que las interacciones entre los componentes de un sistema pueden ser más relevantes que los componentes en sí mismos. Como definición a este concepto:

¹⁰ Contenido en el prefacio de *Dinámica Industrial* (Forrester, 1961) y desarrollados con más profundidad en las pp. 14 – 19 de dicha obra.

¹¹ Su evolución se produjo durante la Segunda Guerra Mundial.

El sistema de realimentación de información existe cuando el medio conduce a un acto decisivo cuyo resultado es una acción que influye en el medio y por lo tanto, en las decisiones futuras.

Hay que señalar que esta definición no hace referencia, exclusivamente, a decisiones conscientes o explícitas, sino también a decisiones inconscientes o implícitas. La utilidad que se desprende del estudio de estos sistemas de realimentación es la posibilidad de comprender de qué modo el volumen de las acciones correctivas y de las demoras en el tiempo entre acción y efecto en los componentes interconectados de un sistema pueden originar comportamientos fluctuantes o inestables.

Por lo que respecta al segundo fundamento antes señalado referido al *proceso de toma de decisiones*, comentar que en la década de los cincuenta se consiguió un mejor entendimiento de la toma de decisiones íntimamente ligadas a la automatización de las operaciones de táctica militar¹². La experiencia resultante en el ámbito militar de este nuevo enfoque, en relación con la determinación de las bases de decisión, se puso a disposición del estudio de los sistemas gerenciales.

El tercer fundamento consiste en el *acercamiento experimental al análisis del sistema*. El análisis matemático en ocasiones no es lo suficientemente potente para proporcionar soluciones analíticas de carácter general para situaciones de elevada complejidad, como las que se producen en el mercado¹³. El enfoque alternativo consiste en el empleo de un enfoque experimental mediante la elaboración de un modelo matemático de un sistema industrial que describa de forma detallada el sistema. A partir del mismo, se observa el comportamiento del

¹² Durante el transcurso de la Segunda Guerra Mundial y debido a la rapidez con la que se sucedían los acontecimientos, se comenzó a centrar más la atención en el planteamiento estratégico que en las decisiones tácticas. Con ello se pretendía anticipar cualquier tipo de eventualidad, estableciendo de antemano la política a seguir y el modo en que habían de tomarse las decisiones tácticas. Este tipo de predicciones se efectuaba automáticamente a través de máquinas y fueron investigadas, aceptadas y, finalmente llevadas a la práctica.

¹³ Recordar que Forrester en un primer momento sólo tiene en cuenta el ámbito industrial, de ahí que haga mención al comercio; sin embargo ha de recordarse que dicha afirmación puede hacerse extensible a cualquier ámbito en que se detecten sistemas susceptibles de ser analizados mediante el empleo de esta óptica, (véase Forrester 1961)..

modelo y se efectúan experimentos con el fin de dar respuesta a preguntas específicas acerca del sistema representado. Este proceso de experimentación se denomina *simulación*¹⁴.

Finalmente, y como cuarto fundamento de la dinámica industrial se señala la aparición de los *computadores* digitales. El hecho de que el coste de su utilización para el cálculo de cálculos aritméticos se redujera notablemente y de que se incrementase su velocidad de cálculo favoreció su expansión. De hecho, su uso se generalizó a partir de la segunda mitad de la década de los cincuenta y hoy en día es el instrumento fundamental para la elaboración de cualquier modelo sistémico.

4. PRINCIPIOS Y ELEMENTOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS

Básicamente son tres los principios o pilares fundamentales sobre los que se apoya la dinámica de sistemas. Estos son:

- a) Existencia de bucles de realimentación.
- b) Existencia de no linealidad en las relaciones entre variables.
- c) Existencia de retrasos en las relaciones entre variables.

a) Existencia de bucles de realimentación

El concepto de bucle de realimentación es básico para poder comprender el comportamiento dinámico de un sistema. Forrester afirma que existe realimentación cuando el medio o situación en que se encuentra el sistema, da lugar a una decisión cuyo resultado es una acción que a su vez, influye en dicho medio y por tanto, en las decisiones futuras (Forrester, 1961). De un modo más simplificado Richardson (1981) dice que la retroalimentación es la transmisión y retorno de información. En este sentido podemos distinguir entre sistemas abiertos y cerrados.

¹⁴ La simulación (en el ámbito industrial) se refiere a colocar en un ordenador las condiciones que describen las operaciones efectuadas por la empresa y a partir de las mismas, probar distintas políticas gerenciales e hipótesis en cuanto al mercado para así determinar el comportamiento esperado de la empresa en dichas situaciones y en definitiva, las posibilidades de éxito de la misma. Así, el empleo de este método de simulación no requiere de elevados conocimientos matemáticos, si bien deberá ser revisado por expertos en la materia. Por tanto, se denomina simulación al proceso de laboratorio que se realiza con el modelo construido, tratando de mejorar la comprensión del sistema observando como distintos cambios le afectan, por otro lado los modelos dinámicos tienen un gran interés para la previsión de tendencias a largo plazo.

Los sistemas abiertos se caracterizan por que los resultados obtenidos no tienen influencia sobre los inputs que los generaron, es decir en un sistema abierto no existe realimentación, sin embargo en un sistema cerrado ocurre todo lo contrario, los resultados influyen sobre los inputs que los generaron y que a su vez volverán a influir en los resultados.

Por otro lado, en los sistemas simples, causa y efecto suelen producirse de un modo cercano en el espacio y en el tiempo, sin embargo esto no sucede en los sistemas complejos, en los cuales existe una gran cantidad de bucles de realimentación interactuando entre sí.

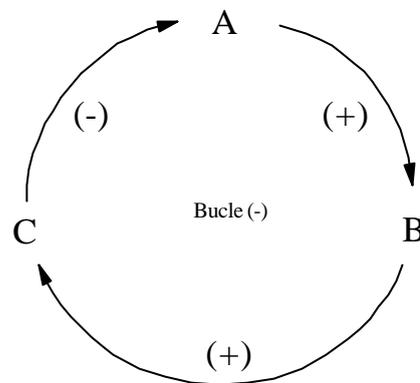
Uno de los aspectos que resalta la dinámica de sistemas es que las causas de los problemas que aparecen en los problemas sociales se encuentran habitualmente, no tanto en sucesos previos, como en la estructura misma del sistema (Aracil, 1986).

Las relaciones entre variables se reflejan en los bucles de realimentación. Un bucle de realimentación es una cadena cerrada de relaciones causales. Todo modelo está formado por uno o varios bucles de realimentación que interactúan entre sí y permiten explicar comportamientos de variables que no tendrían justificación mediante una relación lineal. Podemos distinguir entre bucles de realimentación positiva y bucles de realimentación negativa, en la terminología de Forrester. Senge, sin embargo, los denomina bucles positivos o reforzadores y bucles negativos o compensadores.

Los bucles de realimentación positiva se caracterizan por que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle reforzando la variación inicial. Es decir, se caracterizan por generar un crecimiento exponencial del sistema. En estos bucles, todo movimiento es amplificado produciendo más movimiento en la misma dirección pudiéndose generar círculos virtuosos en los cuales partiendo de una situación buena se llega a una mejor o círculos viciosos en los cuales partiendo de una situación mala se llega a una peor, es decir se

produciría un crecimiento acelerado o un empeoramiento acelerado. En la práctica se dice que un bucle de realimentación es positivo si contiene un número par de relaciones negativas - FIGURA 3^a -.

Los bucles de realimentación negativa se caracterizan por que una variación en un elemento se transmite a lo largo del bucle de forma que determina una variación que contrarresta la variación original. Es decir, estos bucles buscan ajustar el sistema con el objetivo de alcanzar una meta que se ha determinado de antemano, buscan la estabilidad del sistema. También se



detecta un bucle de realimentación negativo si contiene un número impar de relaciones negativas – FIGURA 3b-. Estos bucles negativos suelen surgir al detectarse una discrepancia entre el estado actual y el deseado, lo cual dará lugar a la aplicación de una acción correctora. Si esta acción sufre retrasos temporales el sistema comienza a oscilar debido a que la gente tiende a reaccionar con impaciencia redoblando sus esfuerzos con el fin de obtener el resultado deseado (Senge, 1995).

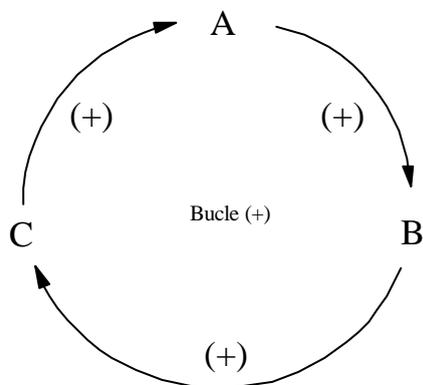


FIGURA 3 a. BUCLE POSITIVO

FIGURA 3 b. BUCLE NEGATIVO

Por otro lado, toda toma de decisiones implica los siguientes componentes –FIGURA 4–.

1. Considerar la idea de un estado deseado.
2. Observar si el estado actual del sistema, difiere del deseado.
3. Seleccionar una determinada alternativa que elimine o al menos reduzca la discrepancia que pueda existir entre el objetivo y el resultado.

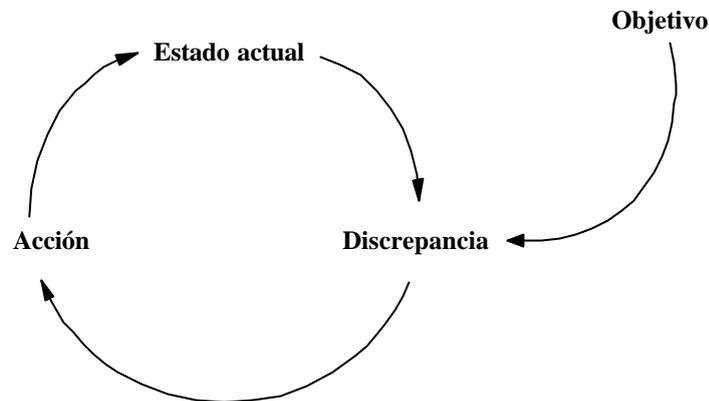


FIGURA 4. TOMA DE DECISIONES

Fuente: Aracil, 1986

En todo diagrama causal existen bucles de realimentación positiva y negativa que interactúan entre sí determinando el comportamiento global del sistema. El comportamiento conjunto dependerá de que bucle domine en cada momento.

b) Existencia de no linealidad en las relaciones entre variables

La dinámica de sistemas se caracteriza por considerar una visión sistémica, abandonando la típica visión lineal que es común aplicar en la resolución de todo tipo de problemas y que se caracteriza por centrar su atención en las relaciones lineales causa - efecto que existen entre las variables. Este enfoque lineal permite captar, mostrar la realidad en un momento del tiempo, pero no considera la realidad en su conjunto a diferencia del enfoque sistémico.

La visión sistémica es un nuevo modo de plantear la realidad, va más allá de la visión miópica considerada hasta entonces en las organizaciones. La visión lineal implica analizar componentes de un modo aislado sin considerar el efecto que distintas políticas pueden tener

sobre el resto de la organización. El objetivo de la visión sistémica, por el contrario es el de obtener una visión global de la organización, analizándola en su conjunto, como un todo al objeto de tomar decisiones y establecer políticas teniendo en consideración el efecto de unas sobre otras.

A veces las relaciones entre las variables son tantas y/o tan complejas que seguir un proceso intuitivo para corregir el problema no es suficiente ni tampoco lo más adecuado de tal modo que el comportamiento que se genera solo puede ser representado mediante la simulación. La no linealidad en las relaciones puede ocasionar que varios sistemas respondan de distinto modo ante una misma acción correctiva aplicada al mismo problema. La intuición resulta inapropiada para llevar a cabo cualquier análisis o previsión sobre el comportamiento global.

c) Existencia de retrasos en las relaciones entre variables

Al estudiar los sistemas dinámicos debe considerarse la existencia de retrasos materiales y/o de información que pueden producirse. La existencia de demoras implica que los efectos de las decisiones no se reflejen de un modo inmediato, sino paulatinamente a lo largo del tiempo (Forrester, 1961).

La existencia de retrasos (también denominados demoras o retardos) implican que los efectos de las decisiones tomadas no se reflejen de un modo inmediato, lo cual dificulta detectar la existencia de relaciones causa -efecto, ya que los síntomas aparecerán con frecuencia alejados temporal y espacialmente de la acción que los origina. Como los cambios necesitan tiempo, sus efectos no pueden verse de un modo instantáneo. Como el efecto de una decisión se manifiesta en el largo plazo, los problemas a los que se enfrenta la empresa en un momento dado son fruto de decisiones pasadas.

Por otro lado, esas demoras acaban generando una reducción de responsabilidad y moral en los directivos, que en la mayor parte de los casos no van a hacer frente a los resultados de las

decisiones que hayan tomado en su día, puesto que permanecen en la organización un número limitado de años, y no van a tener que rendir cuenta de sus acciones (Forrester, 1961). Senge llama a este problema *desplazamiento de la carga*, es decir ante un problema determinado, los directivos optarán por la aplicación de soluciones que contrarresten los síntomas del problema más que las causas del mismo, ya que además de ser más cómodo adoptar esta postura es la que más mejoras genera en el corto plazo, aunque en el largo plazo puedan resultar peligrosas.

La existencia de retrasos entre las variables constituye un aspecto fundamental de la dinámica de sistemas ya que los efectos de las decisiones o políticas adoptadas no se ponen de manifiesto inmediatamente, sino tras un periodo de tiempo. Se requiere tiempo para reconocer un problema, tomar una decisión al respecto e implementar la misma (Hamilton, 1980, p. 163). El tiempo es un aspecto fundamental a la hora de estudiar el comportamiento de un sistema dinámico ya que su evolución discurre a lo largo del tiempo. Muchas decisiones adoptadas pueden ser erróneas y provocar efectos contrarios a los deseados si se subestima la duración de la demora. Así, los retrasos en la transmisión de información o en los flujos de materiales deben ser tomados especialmente en cuenta (Aracil, 1986, p.129).

La dinámica de sistemas aparece como un enfoque capaz de reflejar las interdependencias que existen en un sistema, revelando la existencia de una gran variedad de decisiones alternativas y susceptibles de ser aplicadas ante un determinado suceso. Algunas de las opciones supondrán cambios en el sistema de carácter profundo, mientras que otros solo producirán cambios con un carácter superficial. Por otro lado, también permitirá observar si decisiones que han sido tomadas acarrear consecuencias indeseables en otros ámbitos de la organización.

El gran potencial de la dinámica de sistemas se encuentra en que se trata de un modelamiento dinámico, es decir, que se centra en el tiempo, permitiendo observar que consecuencias pueden producirse a corto, medio y largo plazo, de las decisiones adoptadas.

5. FASES EN LA ELABORACIÓN DE UN MODELO

Forrester habla de diez fases en el proceso de construcción de un modelo:

❶ En primer lugar habría que identificar el problema, así como definirlo. Este paso es fundamental y determinante, ya que si identificamos correctamente todos los aspectos implicados lograremos elaborar un modelo dinámico que sea representativo del comportamiento real del sistema permitiendo de ese modo, la simulación de distintas políticas alternativas, y en consecuencia, conocer cual de ellas resulta más idónea para su posterior aplicación.

Se necesita una gran cantidad de información, así como de experiencia, para poder aislar el problema con el objeto de simularlo, por otro lado, la definición del proceso debe ser lo más concisa, precisa y clara posible.

❷ En segundo lugar hay que identificar y aislar los factores que parecen interactuar creando los síntomas observados. A la hora de definir esos factores o variables no debemos de olvidar que todo modelo es una representación simplificada de la realidad y que por tanto, no podemos reflejar el sistema real de comportamiento en su totalidad.

Deberán especificarse cuales son los límites del sistema, es decir se debe discernir que factores se van a incluir en el modelo y cuales se excluirán, seleccionando aquellos que, intuitivamente, parecen ser los más significativos.

Derivado de la necesaria simplificación del modelo siempre habrá aspectos no recogidos por el mismo, siempre que estos no sean determinantes a la hora de explicar su comportamiento.

El dominio de patrones estructurales -arquetipos sistemáticos o estructuras recurrentes- permitirá observar características o elementos comunes en muchos problemas, así como descubrir un punto de apalancamiento -el lugar dónde actos y modificaciones de estructuras pueden conducir a mejoras significativas y duraderas- (Senge, 1995). Combinando distintas estructuras genéricas podemos aproximarnos al modelo que nos hemos propuesto representar.

❸ El siguiente paso consiste en trazar circuitos de realimentación de información de causa-efecto que unen las decisiones con la acción. Estos circuitos permitirán observar como la

situación actual es el resultado de decisiones que han sido tomadas en el pasado, y como esa situación a su vez es empleada para la toma de decisiones en la actualidad.

En este momento será posible elaborar un diagrama causal del problema en el cual se incluyan todos los elementos necesarios para comprender lo que está sucediendo en el sistema, pudiendo representar y describir los bucles de realimentación que existen en el mismo, así como identificar el tipo de relación existente entre las variables implicadas.

④ A continuación, una vez que han sido detectados los bucles se deben formular las políticas de decisión empleadas por la organización habitualmente, comprobando que tales políticas son las que originan el problema que se plantea.

⑤ La siguiente fase consiste en la elaboración de un modelo matemático que refleje el funcionamiento real del sistema objeto de estudio. Este modelo matemático estará formado por una serie de ecuaciones que recojan las políticas de decisión que han sido definidas previamente, así como las fuentes de información existentes y la interacción entre las variables significativas.

⑥ Una vez elaborado el modelo matemático se procederá a generar el comportamiento del sistema estudiado, a lo largo del tiempo. Mediante la simulación se observará el comportamiento del sistema ante las distintas decisiones aplicadas, con ello se obtendrán unos resultados que le servirán al investigador para validar o rechazar el modelo en función de que estos se acerquen o no a la realidad.

⑦ En este paso se compararán los resultados obtenidos de la simulación con los datos de que se dispone sobre el sistema real. En la medida en que esos resultados se aproximen a los datos reales se supondrá que el modelo refleja con bastante exactitud el comportamiento real, pudiendo realizar simulaciones para conocer los efectos que distintas políticas alternativas tendrían sobre el comportamiento del modelo.

⑧ Si el modelo no cumple lo anterior se deberá proceder a efectuar una revisión del mismo con el fin de obtener un modelo aceptable para la representación del sistema real.

El modelo se acaba perfeccionando mediante un proceso de aprendizaje que tiene lugar tanto durante la realización del modelo como en las posteriores simulaciones. A través de ese proceso de aprendizaje se acaba obteniendo un conocimiento profundo del modelo.

⑨ Una vez que el modelo ha sido contrastado y es capaz de reflejar de un modo fiel la realidad, deben replantearse las políticas y relaciones que existen hasta el momento en la organización, decidiendo, de este modo, que cambios son convenientes efectuar en el sistema real con el fin de mejorar su comportamiento.

⑩ El último paso, consiste en aplicar las políticas consideradas óptimas en la fase anterior.

Podemos decir, que esta es la fase más importante, ya que el estudio de simulación efectuado no resultará útil si no tiene ningún impacto sobre la toma de decisiones.

El estudio realizado deberá de servir para conocer si han de seguirse nuevas pautas o si por el contrario no es preciso, si las acciones que se están desarrollando en el presente son las correctas.

De un modo resumido las fases anteriores pueden sintetizarse en tres; fase de conceptualización, fase de formalización, y fase de evaluación y explotación –simulación-

A) FASE DE CONCEPTUALIZACIÓN

Esta fase consiste en familiarizarse con el problema que se trata de estudiar. Posteriormente deben definirse los aspectos a resolver del problema describiéndolos de una forma precisa y clara. En este proceso de comprensión mental se debe tratar de lograr una descripción verbal lo más concisa, precisa y clara posible.

De un modo progresivo se van identificando los distintos elementos que configurarán el sistema, así como los bucles de realimentación existentes en el mismo, finalizando esta fase con el establecimiento de un diagrama causal que muestre el tipo de relaciones que existe entre las variables.

B) FASE DE FORMALIZACIÓN

Esta fase consiste en la formalización del diagrama anterior utilizando un lenguaje matemático. Es el momento de elaborar un diagrama de flujo, a partir del cual se escriben las ecuaciones del modelo mediante un lenguaje que permita tratarlas por ordenador.

Esta fase concluye cuando disponemos de un modelo del sistema que se estudia en forma de ecuaciones matemáticas que pueden ser tratadas por un ordenador.

C) FASE DE EVALUACIÓN Y EXPLOTACIÓN

Esta fase consiste en ensayar a través de diversas simulaciones las hipótesis sobre las que se ha construido el modelo, observando la consistencia entre las mismas. En este proceso puede tener lugar una reformulación o modificación del modelo. Es también el momento de realizar un análisis de sensibilidad del modelo que permite estudiar la dependencia de las conclusiones extraídas del mismo respecto a posibles variaciones en los valores de los parámetros que aparecen en él.

Una vez que se consideran satisfactorios los análisis anteriores efectuados de hipótesis y de sensibilidad se procede al estudio del comportamiento del modelo ante distintas políticas con el objeto de establecer recomendaciones en cuanto a una actuación futura. Es decir, una vez validado el modelo, a través de la simulación podremos proceder a seleccionar la política más adecuada. El análisis de las distintas políticas permitirá conocer mejor el sistema, la mayor comprensión lograda influirá sobre la política a adoptar, que a su vez dará lugar a unos nuevos resultados, repitiéndose de este modo el proceso.

6. ESTRUCTURAS GENÉRICAS O ARQUETIPOS

La palabra arquetipo proviene del vocablo griego *arkhetypos*, que significa el primero de su especie. Los arquetipos sistémicos, ahijados del pensamiento sistémico fueron desarrollados en Innovation Associates a mediados de los años ochenta. En esa época, el estudio de la dinámica de sistemas dependía de una graficación de los circuitos causales complejos y de la modelación por ordenador, que utilizaba ecuaciones matemáticas para definir la relación entre las variables. Charles Kiefer, presidente de la compañía, deseaba comunicar los conceptos de

manera más simple. Jennifer Kemeny (con Michael Goodman¹⁵ y Peter Senge¹⁶, basándose en notas de John Sterman¹⁷) desarrolló ocho diagramas que ayudarían a catalogar las conductas más comunes. Algunos arquetipos, entre ellos el de “límites del crecimiento” y “desplazamiento de la carga”, eran traducciones de “estructuras genéricas”, mecanismos que Jay Forrester y otros pioneros del pensamiento sistémico habían descrito en las dos décadas anteriores, (Peter Senge, 1997).

Los arquetipos sistémicos consisten, por tanto, en diferentes combinaciones de bucles de realimentación. Las organizaciones pueden utilizar arquetipos para enfrentarse a problemas complejos de diferentes formas. En primer lugar, los arquetipos pueden ser utilizados como herramientas de diagnóstico para poder tener una mayor comprensión de la situación actual del problema que se aborda. En segundo lugar, pueden ser utilizados como herramientas de planificación, en el sentido de que pueden ser útiles para anticipar futuras consecuencias. En tercer lugar, pueden ser utilizados como herramientas de construcción, ayudándonos a construir y a aumentar el cuerpo de conocimiento entorno a nuestra comprensión del mundo. Los arquetipos permiten identificar las fuerzas fundamentales que llevan a la situación actual así como los puntos fundamentales sobre los que actuar para resolver la situación y evitar que se repitan los errores en el futuro.

¹⁵ Michael Goodman es vice-presidente de Innovation Associates, Inc con veinte años de experiencia en el campo de dinámica de sistemas.

¹⁶ Peter Senge es director de pensamiento de sistemas y aprendizaje organizacional de la Sloan School of Management del MIT y socio fundador de la consultora Innovation Associates, de Massachusetts. Ha formado cientos de gerentes en empresas como Ford, Digital, Apple, Procter & Gamble, A T & T, Herman Miller, Hanover Insurance y Shell.

¹⁷ John Sterman es profesor de dirección y director del System Dynamics Group del MIT.

Podemos identificar¹⁸ varios tipos de arquetipos sistémicos, entre ellos se distinguen los siguientes:

- Compensación entre proceso y demora
- Límites del crecimiento
- Desplazamiento de la carga
- Erosión de metas
- Escalada
- Éxito para quien tiene éxito
- Tragedia del terreno común
- Soluciones rápidas que fallan
- Crecimiento y subinversión

A continuación se muestran las características y estructura de cada tipo:

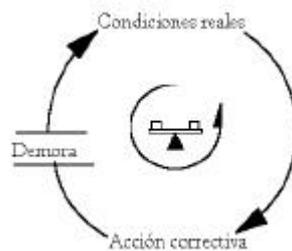
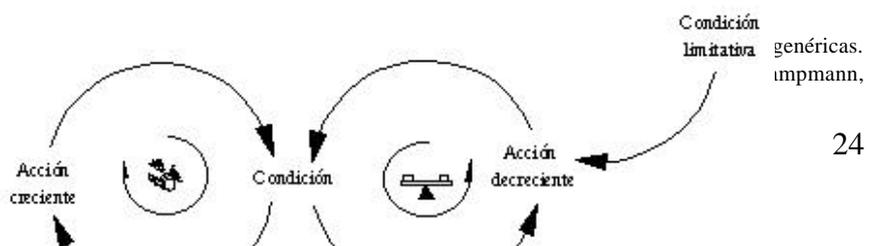


FIGURA 5. COMPENSACIÓN ENTRE PROCESO Y DEMORA

Ejemplo: Una ducha donde el agua caliente reacciona con lentitud ante los cambios de

¹⁸ Muchas personas del área c
Entre ellos hay que destacar



posición del grifo. Ante unas condiciones reales -temperatura del agua- regulamos las mismas mediante una acción correctiva hasta lograr la temperatura adecuada. En este proceso existe una demora, la acción correctiva no conduce inmediatamente a las condiciones reales deseadas.

FIGURA 6. LÍMITES DEL CRECIMIENTO

Ejemplo: Cuando adquirimos una nueva destreza, por ejemplo, cuando aprendemos a nadar, progresamos rápidamente al principio, al adquirir competencia y confianza, pero a medida que transcurre el tiempo nos topamos con límites a nuestra aptitud natural.

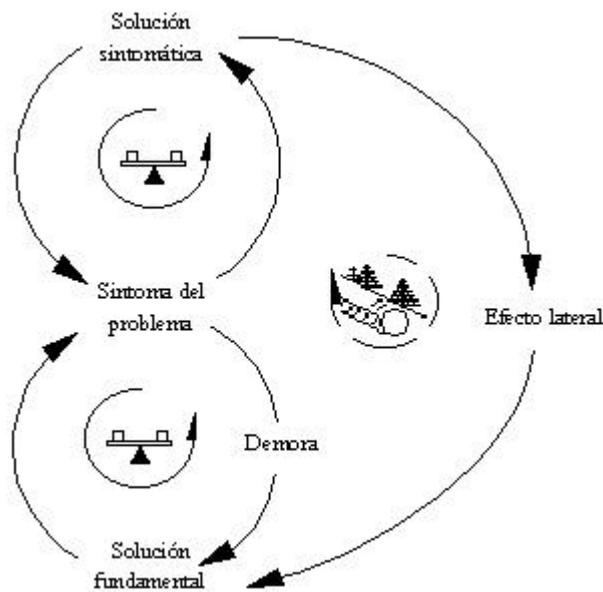


FIGURA 7. DESPLAZAMIENTO DE LA CARGA

Ejemplo: Dadas las presiones de los directivos para alcanzar objetivos de ventas, los vendedores venden a quien esté dispuesto a comprar, habitualmente “clientes generales”, pues hay más de ellos y las demoras en el ciclo de ventas son más cortas. Con el tiempo, la nueva

tecnología no obtiene una clientela leal y queda sujeta a las presiones de precios y de márgenes que caracterizan a los productos de consumo.

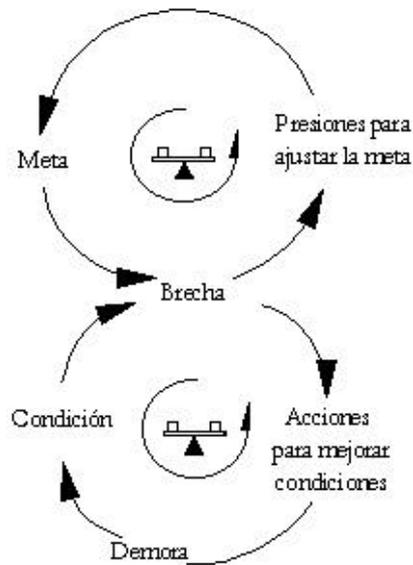


FIGURA 8. EROSIÓN DE METAS

Ejemplo: Personas de éxito que reducen sus expectativas sobre sí mismas y gradualmente tienen menos éxito.

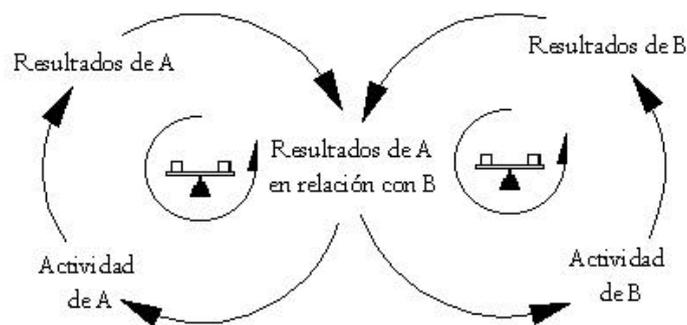


FIGURA 9. ESCALADA

Ejemplo: Guerras de precios o de publicidad.

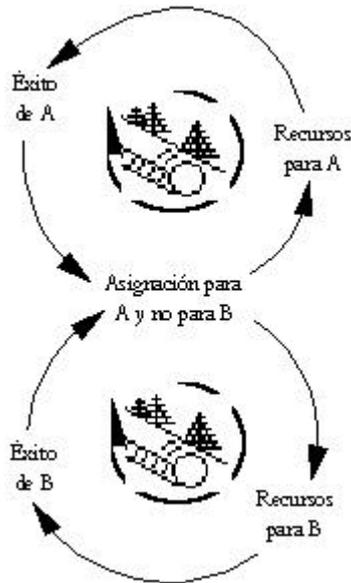


FIGURA 10. ÉXITO PARA QUIEN TIENE ÉXITO

Ejemplo: Equilibrio entre la vida familiar y laboral, donde algún miembro de la familia dedica horas excesivas al trabajo y las relaciones familiares se deterioran, con lo cual se vuelve más “doloroso” regresar a casa, lo cual aumenta las posibilidades de seguir descuidando la vida familiar.

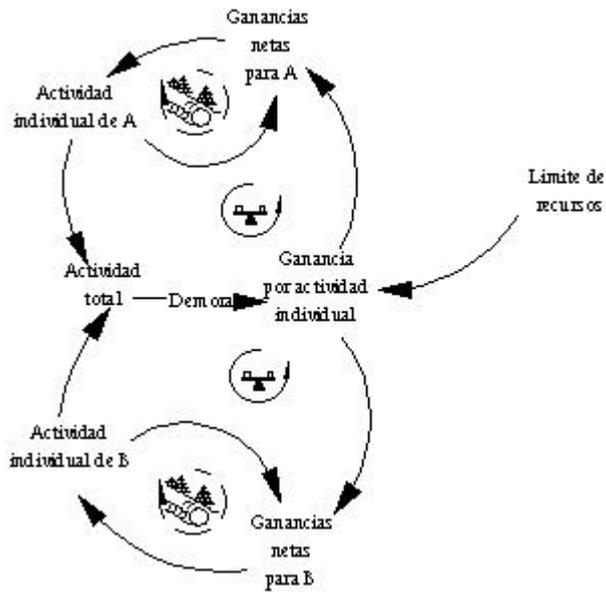


FIGURA 11. TRAGEDIA DEL TERRENO COMÚN

Ejemplo: El agotamiento de un recurso natural cuando varias compañías rivales lo explotan, o los problemas de contaminación, desde la lluvia ácida hasta el agotamiento del ozono.

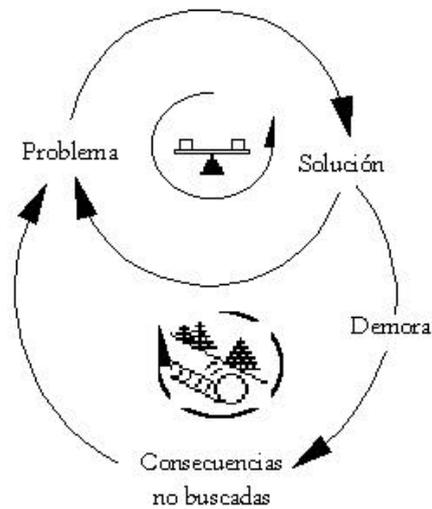


FIGURA 12. SOLUCIONES RÁPIDAS QUE FALLAN

Ejemplo: Personas y organizaciones que piden préstamos para pagar el interés de otros préstamos, con lo cual tendrán que pagar más intereses más tarde.

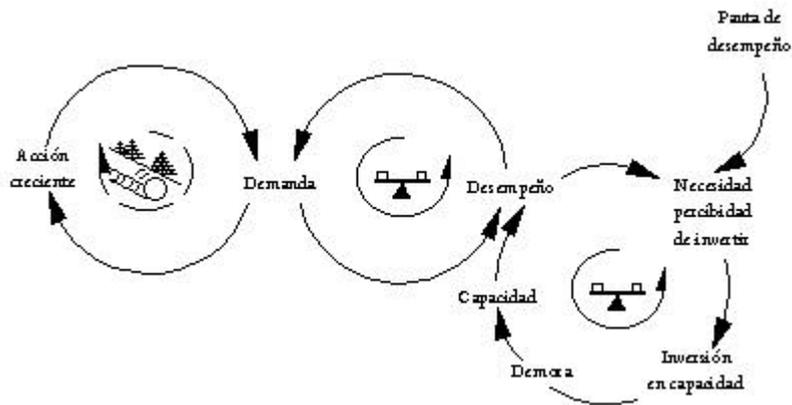


FIGURA 13. CRECIMIENTO Y SUBINVERSIÓN

Ejemplo: Compañías que dejan decaer la calidad de los servicios o los productos, culpando a la competencia o la gerencia de ventas por no empeñarse en mantener las ventas.

Los arquetipos son herramientas accesibles que permiten construir hipótesis creíbles y coherentes acerca de las fuerzas que operan en los sistemas. Los arquetipos también constituyen un vehículo natural para clarificar y verificar modelos mentales acerca de esos sistemas. Son herramientas poderosas para abordar la asombrosa cantidad de detalles que con frecuencia abruman a los que se inician en el pensamiento sistémico. A medida que asimilamos los arquetipos, pasan a formar parte de nuestro repertorio de diagnóstico. Si pasamos a un nivel más complejo de la dinámica de sistemas (como la modelación por ordenador), comenzar con arquetipos es el modo más fructífero de desarrollar nuestra capacidad (Senge, 1997). En la TABLA 1 pueden observarse las principales características de cada uno de los arquetipos anteriormente señalados.

ARQUETIPO	DESCRIPCIÓN
Compensación entre proceso y demora	Una persona, un grupo o una organización, actuando con miras a una meta, adaptan su conducta en respuesta a la realimentación demorada. Si no son conscientes de la demora, realizan más acciones correctivas de las necesarias o a veces desisten porque no ven ningún progreso. En un sistema lento, la agresividad produce inestabilidad. Se debe ser paciente o lograr que el sistema reaccione mejor.
Límites del crecimiento	Un proceso se alimenta de sí mismo para producir un período de crecimiento o expansión acelerada. Luego el crecimiento se vuelve más lento y puede detenerse o se revierte e inicia un colapso acelerado. La fase de crecimiento es causada por uno o varios procesos de realimentación reforzadora. La desaceleración surge por un proceso compensador que se activa cuando se llega a un límite. No se debe presionar el proceso reforzador y hay que tratar de suprimir o debilitar el factor limitativo.
Desplazamiento de la carga	Se usa una "solución" de corto plazo para corregir un problema, con resultados inmediatos aparentemente positivos. A medida que esta corrección se usa cada vez más, las medidas correctivas fundamentales se aplican cada vez menos. Con el tiempo, las aptitudes para la solución fundamental se atrofian, creando mayor dependencia respecto de la solución sintomática. No debemos concentrar en la solución fundamental. Si la solución sintomática es la imperativa (a causa de las demoras de la solución fundamental), solo debe usarse para ganar tiempo mientras se trabaja en la solución fundamental.
Erosión de metas	Es una estructura de desplazamiento de la carga donde la solución de corto plazo significa el deterioro de una meta fundamental de largo plazo. Se debe sostener la visión.
Escalada	Dos personas u organizaciones entienden que su bienestar depende de una ventaja relativa de una sobre la otra. Cuando una se adelanta, la otra se siente amenazada y actúa con mayor agresividad para recobrar su ventaja, lo cual amenaza a la primera, aumentando su agresividad, y así sucesivamente. A menudo cada parte ve su conducta agresiva como una reacción defensiva ante la agresión de la otra; pero la defensa de cada parte deriva de una escalada que escapa la voluntad de ambas. Se debe buscar el modo de que ambas partes ganen o alcancen sus objetivos. En muchos casos, una parte puede revertir unilateralmente la espiral viciosa al realizar agresivos actos pacíficos que hagan sentir al otro menos amenazado.
Éxito para quien tiene éxito	Dos actividades compiten por recursos limitados. A mayor éxito, mayor respaldo, con lo cual la otra se queda sin recursos. Se debe buscar la meta abarcadora de logro equilibrado de ambas opciones. En algunos casos, rompe o debilita el eslabonamiento entre ambas, para que no compitan por el mismo recurso limitado (esto es deseable en casos donde ese eslabonamiento pasa inadvertido y crea una insalubre competencia por los recursos).
Tragedia del terreno común	Los individuos utilizan un recurso común pero limitado reparando únicamente en las necesidades individuales. Al principio son recompensados, pero eventualmente hay una disminución en las ganancias, lo cual les induce a intensificar los esfuerzos. Al final agotan o erosionan el recurso. Se debe administrar el terreno común educando a todos y creando formas de autorregulación y presión de pares, o mediante un mecanismo de regulación oficial, idealmente diseñado por los participantes
Soluciones rápidas que fallan	Una solución eficaz en el corto plazo tiene consecuencias de largo plazo imprevistas que requieren más uso de la misma solución. No se debe descuidar el largo plazo. De ser posible no recurrir a las soluciones de corto plazo, o usarlas sólo para ganar tiempo mientras se trabaja en un remedio duradero.
Crecimiento y subinversión	El crecimiento se aproxima a un límite que se puede eliminar o desplazar hacia el futuro si la empresa o individuo invierte en capacidad adicional. Pero la inversión debe ser intensa y rápida para impedir la reducción del crecimiento, pues de lo contrario no se hará nunca. A menudo las metas decisivas o las pautas de desempeño se rebajan para justificar la subinversión. Cuando esto ocurre, hay una profecía autopredictiva donde las metas más bajas conducen a expectativas más bajas, que luego se traducen en un mal desempeño causado por la subinversión. Si existe un potencial genuino para el crecimiento se ha de tratar de construir la capacidad anticipándose a la demanda, como estrategia para generar demanda. Se debe sostener la visión, especialmente en lo concerniente a la evaluación de las pautas de desempeño y la capacidad para satisfacer la demanda potencial.

TABLA 1. ARQUETIPOS SISTÉMICOS

Fuente: Adaptado de Senge, 1995

7. CONCLUSIÓN

Como señalábamos al comienzo del trabajo, los métodos e instrumentos que actualmente se utilizan para la toma de decisiones a la hora de hacer frente a la complejidad que caracteriza a los sistemas empresariales, son insuficientes, lo cual dificulta aún más la toma de decisiones.

La dinámica de sistemas es una metodología que permite entender mejor la complejidad, y que está siendo enseñada en un gran número de Universidades, Escuelas de Negocios y Colegios.

Por otra parte, la dinámica de sistemas es una metodología que permite la elaboración de modelos de simulación, que ayudan a los directivos a afrontar las dificultades que surgen en sus organizaciones, permitiendo observar los efectos que la adopción de una nueva política o de una nueva forma organizativa tendrán sobre el sistema real. Las ventajas de este método frente a la experimentación sobre el sistema real son las siguientes:

- a) Su bajo coste, puesto que únicamente se requiere invertir en la elaboración del modelo mientras que la adopción de cualquier medida en el sistema real implicaría la inversión de fuertes sumas.
- b) La eliminación del riesgo de adopción de políticas inadecuadas. Las repercusiones de la adopción de una política inadecuada afectarán a todo el sistema y sus efectos negativos perdurarán en el largo plazo.
- c) La simulación mediante un modelo supone un ahorro de tiempo, puesto que, una vez elaborado el modelo, la simulación de una posible política o situación se efectúa en un momento. Por el contrario, la adopción de decisiones en el sistema real requiere mayor inversión en tiempo para su discusión y puesta en práctica y sus efectos se manifestarán en el largo plazo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUARON JOVEN, J., CALVETE FERNÁNDEZ, H., LASALA CALLEJO, P., MORENO JIMÉNEZ, J.A., Y PLO ALASTRUÉ, F. (1993): Simulación. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (Zaragoza). Colección de textos docentes.

ALFELD, L.; GRAHAM, A. (1976): Introduction to urban dynamics. Cambridge MA Productivity Press.

ARACIL, JAVIER (1986): Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Universidad Textos.

BAKKEN, E.; GOULD, J.; KIM (1992): Experimentation in learning organizations: a management flight simulator approach. European Journal of Operations Research. Nº59.

DIEHL, E. AND STERMAN, J.D. (1995): “ Effects of feedback complexity on dynamic decision making”. Organizational Behavior and Human Decision Processes. Vol. 62. Nº 2.

FORRESTER, J.W. (1961): Industrial dynamics. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. Traducción (1972): Dinámica industrial. Ed. El Ateneo. Buenos Aires.

FORRESTER, J.W (1979): Dynamique urbaine. Paris Economica French.

FORRESTER, J.W. (1980): “Un nuevo diseño de empresa”. En Las organizaciones del mañana: desafíos y experiencias. Trillas, México, 1980.

FORRESTER, J.W. (1985): Dynamic Modeling of the arms race. System Dynamics Group. Sloan School of Management, MIT. Memo D-3684.

FORRESTER, J.W. (1987): Economics, Technology, and the environment. MIT. Memo D-3938.

FORRESTER, J.W. (1990): System Dynamics as a foundation for Pre-college education. MIT. Memo D-4133.

FORRESTER, J.W. (1994): “Policies, decisions and information sources for modeling”. En John D. W. Morecroft and John D. Sterman (eds): Modeling for learning organizations. Copyright © 1994 by Productivity Press. Portland.

GARCÍA RODRÍGUEZ, R. (1997): “Aprendizaje de la organización, juegos de empresa y

dinámica de sistemas”. Revista Asturiana de Economía. 1997, 10.

GRAHAM, A.; SENGE, P. (1990): Computer-based case studies and learning laboratory projects. System Dynamics Review. N°61.

GRAHAM, A.; MORECROFT, J.; SENGE, A.; STERMAN, J. (1990): Model supported case studies for management. Education MIT System Dynamics Group. October. Memo D-418425.

GRAHAM, A.; MORECROFT, J.; SENGE, A.; STERMAN, J. (1992): Model supported case studies for management education. European Journal of Operational Research. N°59.

HAMILTON, M.S. (1980): Estimating lengths and orders of delays in system dynamics models. Elements of the system dynamics method. Part. IV, pp. 162-183.

KIM, D.H. (1994): Systems archetypes I. Toolbox reprint series. Pegasus Communications, Inc.

KIM, D.H. (1994): Systems archetypes II: using systems archetypes to take effective action. Toolbox reprint series. Pegasus Communications, Inc.

KIM, D.H. (1995): Systems thinking tools: a user's reference guide. Toolbox reprint series. Pegasus Communications, Inc.

LYNEIS, J.M. (1980): Corporate planning and policy design: a system dynamics approach. The MIT Press, Institute of Technology. Cambridge Massachusetts.

MASS, N. (1974): Self-learning revival policies in urban dynamics. In Urban Dynamics Cambridge MA Productivity Press 1227-244 ch.13.

MASUCH, M. (1995): “Vicious circles in organizations”. Administrative Science Quarterly. March 1995.

MEADOWS, D.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. (1972): The limits to growth. A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind. New York Universe Books.

MEADOWS, D.L.; MEADOWS, D. (1973): Verso un equilibrio globale. Milan Arnoldo Mondadori Italian.

MEADOWS, D.L. (1977): “Hacia una ciencia de la predicción de la predicción social”. En

Aracil (eds). Lecturas sobre dinámica de sistemas. Subsecretaría de Planificación. Madrid.

MORECROFT, J.D; LANE, D.C; VIITA, P.S (1991): "Modelling growth strategy in a Biotechnology Startup Firm". System Dynamics Review. Nº72.

M.I.T (1996, 1997, 1998): Road Maps.

RICHARDSON AND PUGH (1981): Introduction to system dynamics modeling with dynamo. MIT Press, Massachusetts.

ROBERTS, E. (1978): Strategies for effective implementation of complex corporate model. Managerial Applications of System Dynamics. Cambridge. MA Productivity Press Originally published by MIT Press.T.

SCHROEDER, W.; SWEENEY, R. (1975): Fluctuations in College Career Track Enrollments. Sixth Annual Pittsburgh Modeling and Simulation.

SENGE, PETER (1995): La quinta disciplina. Editorial Granica.

SENGE, PETER (1997): La quinta disciplina en la práctica. Editorial Granica.

SENGE, P; STERMAN, J. (1992): Systems thinking and organizational learning: acting locally and thinking globally in the organization in the future. European Journal of Operational Research. Nº59.

SHARP, J.A. AND PRICE, D.H.R. (1984): "System dynamics and operational research: an appraisal". European Journal of Operational Research. Vol. 16. Nº 1.

SCHROEDER, W.W. (1977): "Dinámica de sistemas: un instrumento único para el análisis de sistemas sociales para los que existe escasez de información". Lecturas sobre dinámica de sistemas. Subsecretaría de planificación - Madrid.

SHANON (1975): System simulation (the art and science). Prentice Hall, Inc. New Jersey.

SIMON H. (1957): Models of men. Wiley A.

SIMON H. (1969): Las ciencias de lo artificial. Editorial ATE, Barcelona.

SIMON H. (1978): On the application of servomechanism. Theory in the study of production control. Econometría 20(2).

STACEY, R. (1994): Gestión del caos. Estrategias empresariales dinámicas para un mundo

impredecible. Ediciones, Barcelona. Traducción en castellano de *Managing Chaos. Dynamic Business Strategies in an Unpredictable World*. Kogan Page, Londres, 1992.

STACEY, R. (1996): "Emerging strategies for a chaotic environment". *International Journal of Strategic Management*. Vol. 29. N° 2.

STERMAN, J.D. (1989): "Misperceptions of feedback in dynamic decision making". *Organizational Behavior and Human Decision processes*. Vol. 43.

STERMAN, J.D. (1989): "Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment". *Management Science*. Vol. 35. N° 3.

STERMAN, J.D. (1991): "A skeptic's guide to computer models". In Barney, G.O. et al. (eds), *Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog*. Boulder, CO: Westview Press.

STERMAN, J.D. (1992): "System dynamics modeling for project management". Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.

STERMAN, J.D., REPENNING, N.P. AND KOFMAN, F. (1997): "Unanticipated side effects of successful quality programs: exploring a paradox of organizational improvement". *Management Science*. Vol. 43. N° 4.

VENNIX, J.A; GUBBELS, J.W. (1992): Knowledge elicitation in conceptual model building: a case study in modeling a regional Dutch health care. *System European Journal of Operational Research*. N° 59.

WOLSTENHOLME, E. (1990): *System Enquiry – A system dynamics approach*. John Wiley 2600-471-92783.