

POLÍTICAS, DECISIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS*

Jay W. Forrester

*Sloan School of Management
Massachusetts Institute of Technology*

Todo modelo de simulación está basado en grupos explícitos de políticas (o reglas) que gobiernan las decisiones que se toman de acuerdo con las condiciones que rigen en el sistema que está siendo modelado. El proceso de toma de decisiones, consta de tres partes — la formulación de un grupo de conceptos, que indican las condiciones que se desean, la observación de lo que parecen ser las reales condiciones, y la generación de la acción correctiva que aproxima las condiciones y aparentes a las deseadas. El modelo debería generar las verdaderas condiciones de las variables implícitas; pero en general, esas condiciones verdaderas no están disponibles para la gente en el sistema real, y, por tanto, no deberían ser usadas para tomar decisiones en el modelo. La información distorsionada y retrasada sobre las condiciones reales, constituye la base para crear los valores de las condiciones deseadas, y también de las aparentes. La acción correctora será retrasada y distorsionada por el sistema, antes de influir sobre las condiciones reales y en consecuencia sobre las aparentes. En la modelización de los negocios y del comportamiento económico, así como en la representación de las políticas y la toma de decisiones, deberá utilizarse todo tipo de información, y no sólo los datos numéricos. En las bases de datos mentales, construidas a partir de la experiencia y de la observación, se encuentra disponible una abundante y rica información, sobre las políticas rectoras y las estructuras económicas.

Palabras clave: modelos de simulación, dinámica de sistemas, políticas.

1. LA VISIÓN REALIMENTADA DE LA DIRECCIÓN Y LAS POLÍTICAS

La dirección es el proceso de convertir información en acción. Este proceso de conversión es denominado *toma de decisiones*. La toma de decisiones está controlada por varias políticas tanto explícitas como implícitas, a través de las cuales, la información disponible es interpretada.

(*) Traducción castelloana de «Policies, Decisions and Information Sources for Modeling», Jay W. Forrester, en John D. W. Morecroft and John D. Sterman (eds.): *Modeling for Learning Organizations*. Copyright (c) 1994 by Productivity Press, PO Box 13390, Portland, OR 97213-0390, U.S.A. Reproducido con autorización del editor.

En este contexto, una «política» es una regla que establece cómo son tomadas día a día, las decisiones operativas. Las «decisiones» son acciones tomadas en un momento particular y resultan de aplicar las políticas, a las particulares condiciones que prevalecen en ese momento.

Si dirigir es el proceso de convertir la información en acción, entonces, el éxito directivo depende en primer lugar, de qué información ha sido elegida, y de cómo se ha llevado a cabo su conversión. La diferencia entre un buen y un mal directivo, se encuentra en este punto, entre la información y la acción. Cada persona tiene disponible una gran cantidad de fuentes de información; pero incluso así se suele hacer un uso incompleto y erróneo de la información seleccionada.

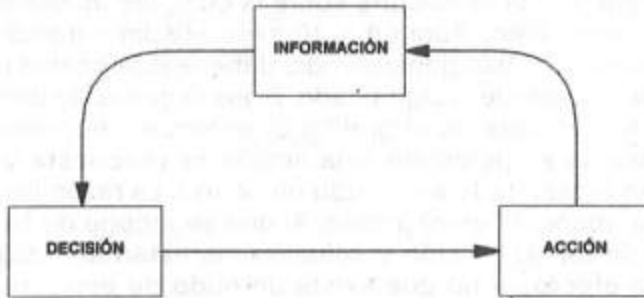
Un directivo establece el escenario para la acción, eligiendo qué fuentes de información va a tomar en consideración, y cuáles no. Su éxito, depende tanto de seleccionar la más relevante información, como del uso eficaz de la misma. ¿Cuál es la rapidez de conversión de la información en acción? ¿Cuál es el peso relativo que debe darse a cada una de las diferentes fuentes de información en función de los objetivos deseados? ¿Cómo son estos objetivos creados a partir de la información disponible?

En los modelos de dinámica de sistemas, se considera a los directivos como procesadores de la información, a quienes llegan flujos de información, y de quienes salen flujos de decisiones, que controlan las acciones de la organización (Simon, 1976). Así, gran parte del comportamiento humano debería ser propiamente visto, como la conversión de información en acciones físicas. Sin embargo, a un directivo no se le paga una prima en reconocimiento del esfuerzo físico ejercido; si no que se le remunera por transformar la información en decisiones, en los puntos de control de la organización. Así pues, un directivo recibe flujos de información y combina estos, en flujos de instrucciones directivas.

Ya que se considera al directivo como un procesador de información, no debe extrañar, el interés que con carácter general se tiene, por la toma de decisiones y los flujos de información. Una empresa es una compleja red interconectada, de canales de información; dichos canales emergen de varios puntos del proceso físico de control, tales como la contratación de empleados, la construcción de factorías, y la producción de bienes. Cada punto de acción en un sistema, es controlado por un punto de decisión local que depende de fuentes de información de otras partes de la organización y del entorno específico (Cyert March, 1963).

El gráfico 1 muestra un flujo de decisión, dentro de un esquema muy simplificado, de lo que es un sistema de realimentación. La información es el input, utilizado en el punto donde se toman las decisiones, el cual controla la acción que produce nueva información. El diagrama muestra la estructura fundamental de relaciones. En cada elemento hay retrasos; pues la información sobre las acciones no está disponible de forma inmediata. Las decisiones no constituyen una respuesta instantánea a la información disponible; pues se necesita tiempo para ejecutar las acciones indicadas por los flujos de decisiones. De manera semejante, cada elemento contiene la amplificación que es usada aquí, en su sentido positivo, negativo y no-lineal. En otras palabras, el output de un elemento puede ser mayor o menor de lo que indican los inputs.

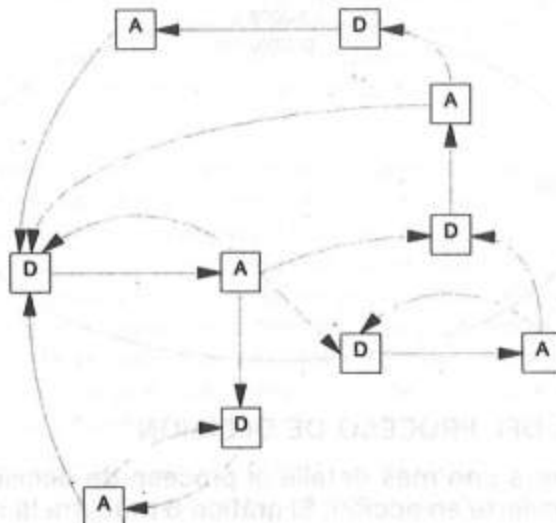
Gráfico 1
DECISIONES Y REALIMENTACIÓN DE INFORMACIÓN



También, el output debería ser alterado o distorsionado. La amplificación, la atenuación y la distorsión en cada punto de un sistema, pueden hacer a este, más sensible a cierta clase de influencias distorsionantes que a otras.

Un sistema empresarial, no es sólo un simple bucle de realimentación, tal y como muestra el gráfico 1; si no que por el contrario, es un conjunto complejo de múltiples bucles y sistemas interconectados, tal y como muestra el gráfico 2 (Beer, 1981; Deutsch, 1963; Richardson, 1991). En ella se refleja cómo las decisiones son hechas en múltiples puntos a través del sistema, además, cada acción resultante, genera información que debería ser usada en muchos, sino en todos, los puntos de decisión. Esta estructura de bucles de realimentación interconectados y en cascada, cuando los mismos son tomados juntos, describe un sistema empresarial. Dentro de una empresa, los puntos de decisión van desde la zona de entregas, y el encargado del almacén, hasta la junta directiva. En una economía nacional, el control de los bucles se extiende desde las decisiones agregadas de los consumidores sobre la compra de automóviles, hasta la tasa de descuento que fija la Junta de la Reserva Federal.

Gráfico 2
SISTEMA DE TOMA DE DECISIONES CON MÚLTIPLES BUCLES DE REALIMENTACIÓN



Los bucles de realimentación forman la estructura central que controla el cambio en todos los sistemas (Richardson, 1991; Senge, 1990). Dichos bucles, también organizan la estructura sobre la cual, los modelos de dinámica de sistemas se construyen. Aunque el término «realimentación» se ha convertido en una palabra de uso generalizado, debe realizarse una pequeña apreciación acerca de su completo significado. Si los órganos de decisión se organizan tal y como se recoge en el gráfico 3, entonces, el proceso será el siguiente: un problema es percibido, una acción es propuesta y un resultado es esperado. Pero el resultado a menudo no ocurre. La razón lleva a la estructura más realista, recogida en el gráfico 4, que se recoge de forma compleja en el gráfico 5. Síntomas, acción y solución, no están aislados en una relación lineal causa-efecto; si no que existe un nudo de estructuras circulares e interconectadas. En tales estructuras, una acción puede inducir no sólo a la corrección, sino también a la fluctuación, a efectos contrarios a los deseados e incluso a la acentuación de cada una de las fuerzas que producen los síntomas originales de la disfunción. De esta forma, todos los cambios toman lugar dentro del control de los bucles de realimentación: crecimiento, declive, búsqueda de objetivos y oscilaciones, son una consecuencia de los bucles de realimentación dinámicos.

Gráfico 3
PERCEPCIÓN ABIERTA DE LA TOMA DE DECISIONES
(Stacey, 1993)

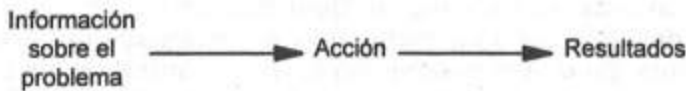
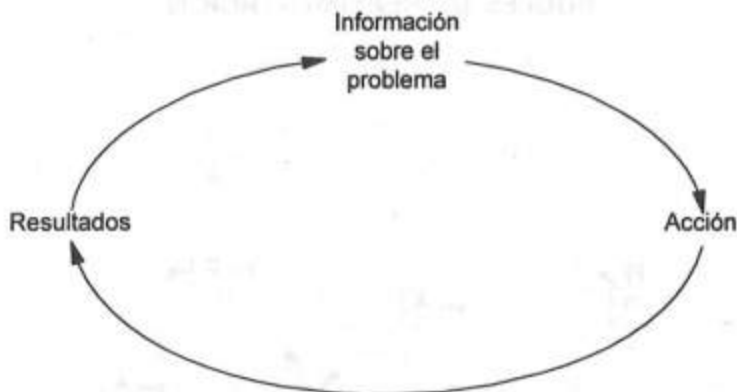


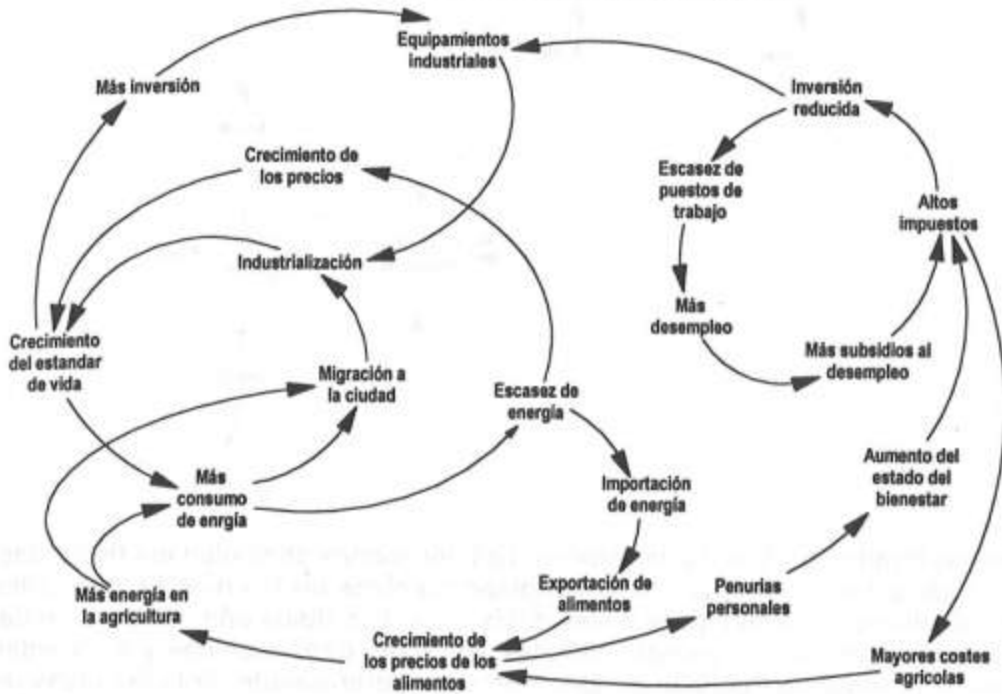
Gráfico 4
ESTRUCTURA DE REALIMENTACIÓN QUE INCLUYE
TODAS LAS POLÍTICAS



2. NATURALEZA DEL PROCESO DE DECISIÓN

Se examina ahora con más detalle el proceso de decisión, por el cual la información se convierte en acción. El gráfico 6 muestra la estructura del sis-

Gráfico 5
BUCLES DE REALIMENTACIÓN INTERCONECTADOS,
CAPACES DE PRODUCIR CRECIMIENTO, INESTABILIDAD
Y BÚSQUEDA DE OBJETIVOS COMO CONSECUENCIA
DE LA INTERACCIÓN DE LAS POLÍTICAS

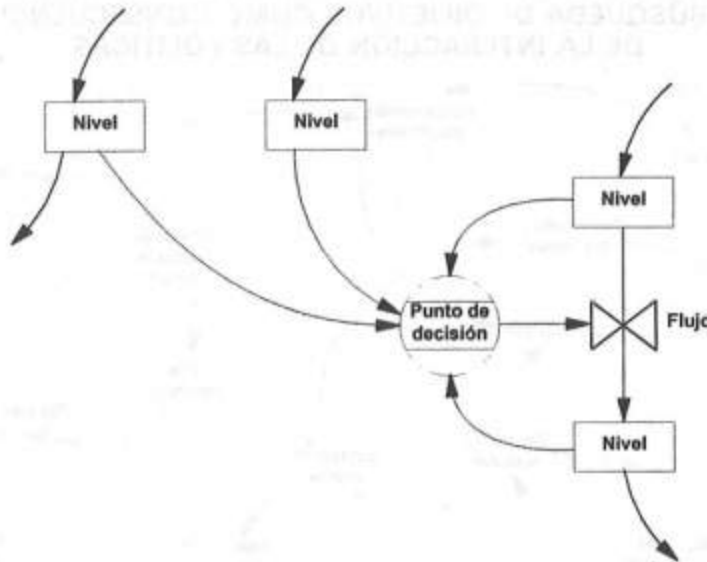


tema en un punto de decisión. Una decisión se fundamenta en el estado del sistema, que aquí se muestra a través de la situación de los distintos niveles. Algunos niveles describen las condiciones actuales del sistema, mientras que otros recogen el supuesto conocimiento del mismo. Un nivel podría ser un inventario, el número de empleados, las ventas medias del último mes, la conclusión a una fecha de un proyecto de investigación, el grado de optimismo acerca del futuro económico, el tamaño de un balance bancario, y así sucesivamente. Todos éstos son inputs para las decisiones. El output de un punto de decisión controla la tasa a la cual algunos de los niveles del sistema van a cambiar.

Se emplea aquí el término decisión en un sentido muy amplio. Las decisiones controlan la atención a los pedidos recibidos desde un inventario determinado, el establecimiento de órdenes de compra para abastecerse de bienes, la autorización para la construcción de una nave industrial, la contratación de investigadores o el presupuesto y gasto en publicidad. Pero las decisiones también controlan procesos naturales y físicos, como el deterioro del equipo productivo, el tránsito de bienes a través del sistema de transporte, y procesos internos subconscientes que mantienen la vida. En otras palabras, las decisiones controlan todos los procesos de cambio.

Un concepto importante en la estructura organizativa específica o indica la relación direccional entre las partes, mostrada en el gráfico 3. Los niveles

Gráfico 6
TOMA DE DECISIONES EN LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA

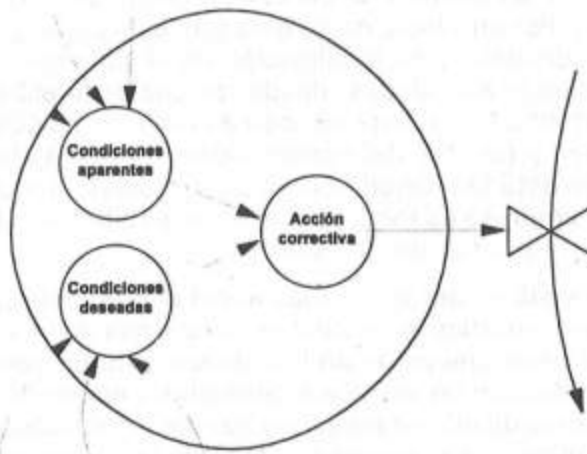


son los inputs del flujo de decisiones. Las decisiones controlan los flujos desde y hacia los niveles. Los flujos originan cambios en los niveles, pero ellos por sí mismos no son inputs de las decisiones. Los flujos en un momento determinado son, por lo general, difíciles de medir, desconocidas y no pueden afectar la toma de decisión en ese momento determinado. Sólo las tasas resultantes de las decisiones cambian los niveles y sólo los niveles controlan las decisiones y flujos.

En una organización industrial, un individuo en particular puede ser responsable del control de un único flujo, como por ejemplo los pedidos de abastecimiento para el mantenimiento del inventario. Por otro lado, un individuo en particular puede tener a su cargo muchos puntos de decisión distintos que controlan diversos flujos. De ser así, deberían observarse esos roles separados que dependen de distintas partes del entramado de información y acción de un sistema. Un modelo de dinámica de sistemas representa la estructura del proceso de decisión, no la estructura entendida como el organigrama organizativo.

El gráfico 7 recoge el proceso de decisión más detallado. El primer paso consiste en crear el concepto de estado *deseado*. ¿Cuáles queremos que sean las condiciones del sistema? ¿Para qué nos estamos esforzando? ¿Cuáles son los objetivos y metas en este punto de decisión concreto?. En segundo lugar, es necesario conocer el estado *aparente* de las condiciones *actuales*. En otras palabras, la información disponible conduce a observaciones que se cree representan el estado actual del sistema. Estas condiciones aparentes podrían estar muy próximas o muy lejanas al estado actual del sistema, dependiendo de los flujos de información que se están empleando, de la cantidad de tiempo que transcurre y las distorsiones existentes en el proceso de transformación de la información. La tercera parte del proceso de decisión consiste en

Gráfico 7
EL PROCESO DE DECISIÓN



la generación de decisiones que controlan las *acciones* que se adoptarán como consecuencia de las discrepancias existentes entre las condiciones aparentes y deseadas.

En general, cuanto mayor sea la discrepancia entre las condiciones aparentes y deseadas, mayor será la acción resultante, aunque el proceso completo de formulación del concepto de condiciones deseadas, la detección de las condiciones actuales y la creación, a partir de las mismas, del curso de acción es altamente no lineal y con un elevado componente de ruido. Pequeñas discrepancias entre las condiciones aparentes y deseadas podrían parecer que no tiene consecuencias y crear, en respuesta, acciones menos que proporcionales. Por el contrario, una gran discrepancia podría llevar a intentos rápidos y cada vez mayores para corregir las condiciones actuales hasta alcanzar las deseadas. Sin embargo, un nivel lo suficientemente alto de discrepancia puede ser alcanzado cuando la acción correctiva máxima ya se está aplicando y, más allá de ese punto, mayores discrepancias entre los estados actuales y deseados del sistema ya no causarán cambios proporcionales en los flujos.

La toma de decisiones se presenta aquí como un proceso continuo. La toma de decisiones es un mecanismo de conversión que transforma flujos de información, en continuo proceso de variación, en señales de control que determinan los flujos del sistema. Los puntos de decisión están respondiendo constantemente a presiones del entorno, en cuanto a tomar ventaja de las novedades a medida que surgen. Los flujos de decisión se ajustan constantemente a las condiciones actuales. Las decisiones están siempre tratando de ajustar las condiciones actuales hacia los objetivos deseados y la cuantía de la acción depende de la discrepancia entre los objetivos y la situación observada del sistema.

Se analiza aquí el proceso de decisión desde una óptica muy particular. No se está lo suficientemente cerca como para percibir los mecanismos que rigen el pensamiento humano. Ni siquiera se está lo suficientemente cerca

como para analizar cada decisión en particular, sino para observar un flujo modulado de decisiones. Probablemente, no se está lo suficientemente cerca para preocuparse de si la acción de una persona o grupo de personas crea la corriente de decisión. Por otro lado, no se está tan lejos como para no tener presente el punto de decisión y su localización en el sistema. La elección de la perspectiva y distancia adecuadas, desde las cuales analizar y modelizar el sistema, es importante. No se está tan cerca como los psicólogos para ahondar en la naturaleza y fuentes del conocimiento, personalidad y motivación. Por otro lado, no se está tan alejado como un accionista minorista, cuya posición respecto a la empresa es tan lejana que no percibe su estructura interna, presiones sociales y puntos de decisión.

Este punto de vista se aproxima más al del directivo que actúa como superior de un individuo particular, el cual es encargado de ciertas responsabilidades. El superior tiene una posición lo suficientemente cercana como para saber cómo se establecen los objetivos deseados y observar, y probablemente proveer, las fuentes de información que han de ser empleadas por el subordinado para determinar los supuestos acerca de las condiciones actuales. El superior jerárquico conoce, en general, las políticas que han de guiar las acciones y la forma en que, el subordinado que toma la decisión, debería responder ante distintos tipos de circunstancias.

3. POLÍTICAS

De este modo, la atención se centra en las políticas. La palabra política se emplea aquí como un término amplio, para describir cómo el proceso de decisión convierte información en acción. ¿Qué acciones resultarán a partir de determinados inputs de información? ¿Qué proceso de conversión existe entre las fuentes de información y la corriente de decisiones resultante?

Primero se define el concepto de política y más adelante se considera hasta que punto existe dichas políticas y hasta que punto puede determinarse sus formas.

Una política es una afirmación formal, dada la relación existente entre los inputs de información y los flujos de decisión resultantes. En la literatura, a menudo, se hace referencia a las políticas como reglas de decisión. En los sistemas físicos, particularmente en el campo de los servomecanismos, el término correspondiente es «función de transferencia». Una función de transferencia describe cómo, los outputs de una caja en particular, depende de sus inputs. Una función de transferencia no necesita tratar con la forma física en particular, a través de la cual se lleva a cabo la conversión, si la función de transferencia describe adecuadamente la acción resultante de los inputs presentes y pasados de la caja.

Mucha de la literatura empresarial y social trata sobre lo que aquí se denomina política. ¿Cómo responderán los individuos y grupos ante determinadas circunstancias y presiones? Si las condiciones cambian en una determinada dirección, ¿cuál será la dirección de la respuesta? En las organizaciones industriales, algunas políticas son muy formales y se reducen a reglas escritas para guiar a los subordinados. Pero la mayoría de las políticas guía son informales, aunque con alta capacidad de influencia. La política informal es el re-

sultado del hábito, conformidad, presiones sociales, arraigados conceptos de objetivos, dependencia de centros de poder dentro de la organización e intereses personales.

La toma de decisiones debería estar dividida en dos niveles de abstracción. En un primer nivel se encuentran las reacciones intuitivas no racionalizadas que, de hecho, resultan de los flujos de información disponibles, pero donde no existe comprensión por parte del participante sobre la estructura y las bases para las acciones. Este primer nivel representa las acciones de los animales inferiores, donde existen razones que justifican sus acciones, pero sin que ellos sean conscientes del proceso lógico que determina la acción. En un segundo nivel de abstracción sí existe una conciencia de las razones formales que llevan a una decisión. No sólo se toman las decisiones, sino que los individuos son conscientes de las razones que las guían y son capaces de anticipar, con cierta seguridad, los tipos de reacciones que otros tendrán en respuesta a cambios en su entorno.

La conciencia sobre las bases formales de las decisiones, que aquí se denominan políticas guía o directrices de las políticas, ciertamente se remonta a los primeros registros escritos de la civilización. El ser humano se diferencia claramente de los animales inferiores debido a su conciencia acerca de las razones que guían sus acciones. En otras palabras, la historia y la literatura discuten las razones, o políticas, que hacen que los decisores humanos reaccionen de una forma determinada. Cuando se discuten las razones que llevan a una acción, se están describiendo las políticas por las cuales la información se convierte en acción.

4. DETECCIÓN DE LAS DIRECTRICES DE LAS POLÍTICAS

Se considera ahora hasta que punto es posible detectar la naturaleza de las directrices que guían las políticas con la suficiente precisión, de modo que permita un mejor conocimiento del comportamiento de los sistemas industriales y sociales. La mayor parte de la literatura sobre toma de decisiones entraña una gran dificultad. Los científicos sociales llevan a cabo experimentos muy simples con individuos o grupos reducidos, en un esfuerzo por determinar cómo se toman las decisiones. Los sociólogos a menudo afirmarían que ni tan siquiera se ha alcanzado un buen punto de partida para entender los procesos de toma de decisiones. Fácilmente se discute porqué se ha actuado reiteradamente de una determinada forma, con lo que, en definitiva, se están discutiendo las directrices de la política y cómo se respondió o se debería haber respondido en función de la información disponible.

La dicotomía existente en cuanto a las formas de detectar políticas se ilustra en los encuentros acaecidos con dos colegas. Uno de ellos afirmaba terminantemente que era imposible introducir las acciones de Consejo de la Reserva Federal en un modelo formal que reflejase el comportamiento de la economía nacional, ya que se desconoce el proceso mediante el cual se alcanzan esas decisiones. Este colega razonaba que tales decisiones son intuitivas, subjetivas y, por tanto, no podemos conocer la política que las guía. El otro incidente tuvo lugar en la exposición de una tesis doctoral. Otro colega, rutinariamente, pidió al doctorando que describiera los factores que llevarían al Con-

sejo de la Reserva Federal a efectuar ajustes, en varias direcciones, en sus políticas de tasa de descuento y de mercado abierto. En otras palabras, se esperaba que el candidato conociera la esencia de la naturaleza de la política que guía las decisiones del Consejo. Para desarrollar una respuesta, debería introducir un elevado componente de ruido que podría causar variaciones en el tiempo e incertidumbre en el alcance de la misma. Sin embargo, se esperaba que el doctorando tuviera conocimiento de las líneas generales que subyacen a las directrices de las políticas.

La existencia de contradicciones, en cuanto a las opiniones sobre la toma de decisiones, se asemeja a los distintos puntos de vista acerca del proceso de investigación. Apenas sí existe consenso acerca de cómo se alcanzan resultados en los procesos de investigación. Existe casi total acuerdo de que individuos más inteligentes y con más experiencia, mayores presupuestos, más motivación y mayor necesidad de resultados, incrementan la probabilidad de éxito. Este acuerdo en cuanto a la naturaleza de la función de transformación que vincula inputs, financieros y de capital humano, y outputs científicos es la base para las acciones del Congreso y del departamento militar.

A este respecto, la civilización se fundamenta no sólo en la presunción de existencia de una base que guía las acciones humanas, sino también en la convicción de que conocemos en gran medida la naturaleza específica y el alcance de las directrices que guían las políticas.

Es una creencia extendida el hecho de que existe una gran brecha entre las decisiones automáticas, que son totalmente formales, como por ejemplo contabilizar las nóminas, y otros niveles de decisiones empresariales. En función de esa creencia se rechaza cualquier posibilidad de definir o establecer políticas formales que describan los principales aspectos de la gestión empresarial. En este sentido, existe una notable contradicción en las actitudes de muchos directivos, contrarios al empleo de bases formales para la toma de decisiones.

Cualquier directivo debe, por necesidad, admitir la existencia de una región que abarca las decisiones contables automáticas, puesto que éstas son una práctica común. La mayoría de los directivos argumenta que sus otras decisiones, basadas en juicios subjetivos, son tan sutiles que no pueden ser capturadas en reglas formales de decisión.

Más aún, esos mismos directivos, cuando se enfrentan a situaciones por encima de las capacidades de su juicio intuitivo, vuelven a emplear procedimientos formales para la toma de decisiones. Se hace referencia en este punto al amplio campo de las ventas, el mercado y la previsión económica, cuando éstas se fundamentan en análisis estadísticos de evoluciones históricas. La previsión es, esencialmente, un proceso de toma de decisión que consiste en convertir la información, pasada y actual, disponible en resultados que indiquen un curso de acción.

Por otro lado, están aquellos que relegan decisiones sencillas en procedimientos automáticos y emplean procedimientos formales estadísticos al enfrentarse a decisiones sutiles de mayor dificultad, pero reservan el campo intermedio como una región para el juicio que, afirman, es intocable por las reglas formales de decisión.

Existe en la actualidad amplia evidencia de que esa región intermedia de decisión no es tan oscura como a menudo se presenta (Forrester, 1975b). Los individuos no son buenos calculadores del comportamiento dinámico de los sistemas complejos. El número de variables que pueden, de hecho, relacionar adecuadamente entre sí es muy limitado. Difícilmente se puede confiar en el juicio intuitivo, incluso de un investigador cualificado, a la hora de anticipar el comportamiento dinámico de un sistema simple de información con realimentación de, tal vez, cinco o seis variables. Esa imposibilidad de adelantar el comportamiento es cierta incluso cuando la estructura completa y todos los parámetros del sistema son conocidos en su totalidad (Sternan, 1989a; Sternan, 1989b; Sternan, 1989c). Los modelos mentales, empleados para explicar el comportamiento de sistemas industriales y económicos, no superan en complejidad a una ecuación diferencial de cuarto orden. Los individuos creen tomar en consideración un número elevado de variables, pero es cuestionable que las mismas estén adecuadamente relacionadas entre sí en grupos superiores a unas pocas variables cada vez. En definitiva, al enfrentarse a sistemas dinámicos con realimentación de información, los individuos no son buenos árbitros (Simon, 1976).

Varias son las razones que han retrasado el empleo o incorporación plena de las políticas en los modelos de simulación, pudiéndose agrupar en tres categorías.

La primera de ellas hace referencia a cuestiones vinculadas con la perspectiva o visión a distancia antes mencionada. Los científicos sociales han tendido a observar al individuo haciendo hincapié en la psicología y motivación. Muchos de los experimentos de laboratorio, efectuados con pequeños grupos, en entornos artificiales y para períodos de tiempo muy breves, no tienen en cuenta las fuerzas organizativas y sociales existentes en la realidad: precedentes, conformidad, incentivos, objetivos y presiones para comportarse como el superior espera de ellos. Los estudios sobre el comportamiento humano, especialmente aquellos que abarcan períodos temporales muy cortos y en entornos artificiales, han tendido a acentuar la creencia de que las decisiones son caprichosas, poco frecuentes, sin conexión y aisladas. Tales estudios no han tenido en cuenta las estructuras de realimentación que han generado, que las decisiones pasadas, influyan en las actuales (Hoghart, 1987). Trabajos más recientes han incluido la dinámica de la realimentación en experimentos de laboratorio, sobre procesos de toma de decisiones (Brehmer, 1989; Kleinmuntz, 1985; Sternan, 1989b).

Por el contrario, los economistas han analizado las empresas desde una perspectiva demasiado aislada. Un empresario es considerado como un individuo que maximiza sus beneficios, sin cuestionarse si existe información disponible y capacidad mental de cálculo para calcular dicho máximo. Así, en este caso, se tiende a dar excesiva importancia a las decisiones adoptadas por el ápice estratégico, en comparación con aquellas tomadas en los niveles jerárquicos medio y bajo de la organización. Un alto directivo no altera los prejuicios, costumbres y objetivos propios de los individuos que adoptan decisiones en puestos inferiores. Por ejemplo, la prensa ha documentado la decepción sufrida por los sucesivos secretarios de Defensa al tratar de alterar

el carácter, actitudes y prácticas del departamento militar! Sólo una lucha por el control en una organización, que origine un cambio total de la alta dirección y el despido de la mitad de la estructura jerárquica intermedia, conseguiría cambiar las actitudes y tradiciones de la organización; sin embargo, estos cambios drásticos no son comunes en la realidad.

Con el fin de comprender el sistema de realimentación de información dentro de una empresa, no debe centrarse la atención exclusivamente, ni en los individuos aisladamente, ni en el entorno en que se mueve. Sólo desde una visión intermedia, observando a los individuos y a los grupos en su entorno laboral, es posible captar el verdadero carácter de la actividad empresarial.

La segunda categoría de confusión sobre políticas de toma de decisiones ha surgido de la creencia o hipótesis de que el proceso es más sutil y requiere más capacidad de lo que realmente es necesario. El análisis de la toma de decisiones se ha visto muy influenciado por el largo y difícil proceso de tratar que los ordenadores jueguen al ajedrez al nivel de un gran maestro ajedrecista. El ajedrez no es un ejemplo relevante. En el juego del ajedrez, existe información completa y exacta, requiere visualizar relaciones espaciales, que la persona realiza adecuadamente frente a las máquinas. Existen otras situaciones, tales como la generación de escenarios de comportamiento empresarial, donde el ordenador puede determinar en segundos las consecuencias de un conjunto de políticas y para la cual los individuos puede discutir durante días los resultados para unas hipótesis dadas.

En un sistema dinámico de realimentación de información, los decisores tienen acceso a una cantidad limitada de información respecto a la realmente existente. Más aún, de toda la información disponible, sólo se emplea una pequeña parte. Generalmente, las acciones resultantes de un punto de decisión dado están condicionadas por menos de diez inputs de información.

El manejo que hace un individuo de esas escasas fuentes de información puede ser estereotipado. La dinámica de sistemas acepta la interpretación dada por la racionalidad limitada sobre las políticas, según la cual las decisiones se basan en información limitada y la acción se orienta hacia objetivos locales (Morecroft, 1983; Simon, 1979; Simon, 1982).

Algunos de los inputs de información son empleados para crear un concepto de objetivos deseados, otros sirven para formar impresiones acerca del verdadero estado de la cuestión. De la diferencia existente entre las condiciones deseadas y observadas, surgirán obviamente las acciones. Pero lo que parece obvio puede no ser lo mejor. Algunos de los mayores avances en los sistemas sociales proceden de políticas contrarias a aquellas que la tradición y la cultura indican. El conocimiento sobre la dinámica de sistemas de realimentación excesivamente complicados es tan inadecuado, que no debería confiarse en el juicio intuitivo ni tan siquiera para establecer si el resultado de una determinada dirección en el cambio de una política va a ser una mejora o empeoramiento (Forrester, 1969).

(1) El autor hace mención al caso estadounidense (nota del traductor).

La tercera categoría de confusión sobre políticas de toma de decisiones surge como consecuencia de la omisión del segundo nivel en la jerarquía decisoria mencionada anteriormente. En un primer nivel, las acciones son racionales pero no existe conciencia sobre cuáles son las políticas fundamentales. En un segundo nivel, los individuos, a lo largo del tiempo, han descrito políticas, es decir, razones que guían las decisiones individuales. Tal discusión sobre las razones que guían una acción es ya un avance hacia la habilidad para formular decisiones, explícitas, cuantitativas y guiadas por políticas. En este segundo nivel, el juicio intuitivo es aplicado al desarrollo de un mejor conocimiento de la política más que a la toma de decisiones día a día.

Juicio e intuición, en este segundo nivel, no se explican ya en decisiones individuales sino para la definición de las políticas que rigen los canales o flujos de decisión. Este proceso, de observación de un sistema social y extracción de sus políticas guía frente a las decisiones individuales, es el nivel de abstracción más relevante para la construcción de modelos. En este sentido, se han alcanzado numerosos éxitos, pero no existe acuerdo sobre el método. Todavía no existe literatura adecuada sobre lo que constituye la práctica de identificar políticas para la toma de decisiones.

A pesar de los fallos o carencias al nivel de detección de políticas, algunos científicos tratan de alcanzar un nivel superior en la jerarquía de la abstracción. Para ello, tratan de desarrollar métodos formales, de aplicación rutinaria, para extraer las políticas fundamentales a partir de los datos cuantitativos generados por el sistema. Aquí, el juicio y la intuición son aplicados para establecer reglas rígidas, a partir de las cuales pueden derivarse las políticas formales de decisión. Se considera que aún no se ha alcanzado la suficiente preparación para alcanzar este último nivel de abstracción, hasta que no se hayan demostrado métodos ilustrativos para aplicar la intuición a la extracción de políticas de decisión. Toda vez que la detección de políticas es bien comprendida, será entonces posible reducir el proceso a un procedimiento rígido y secuencial. Se debería, por tanto, orientarse hacia niveles de abstracción uno a uno. En cada nivel, el juicio se dedica al establecimiento de reglas, para las cuales los niveles inferiores pueden automatizarse.

Un ejemplo de desplazamiento con éxito a niveles superiores de una jerarquía conceptual se halla en la historia de la programación informática. En los años 50 se escribió un código específico para resolver un problema concreto. El segundo nivel de abstracción consistió en escribir un programa de instrucciones lógicas para decirle a la máquina cómo crear su propio programa operativo para un problema específico. La jerarquía de abstracción en la programación de ordenadores es ahora mucho más profunda. En el siguiente nivel, los individuos desarrollan conceptos que permiten a los ordenadores formular planteamientos específicos de problemas que otro programa informático convierte en lenguaje máquina. Esto es similar a la jerarquía de reglas anterior, relativa a la toma de decisiones.

Para abordar las características dinámicas de los sistemas sociales, se debe representar el esquema esencial de políticas de decisiones de gobierno. Esto requiere una política aproximada de control de cada punto de decisión significativo en un sistema. Esta forma de entender las políticas puede alcanzarse o ser viable si:

- Se posee el concepto adecuado de lo que es una decisión y de la diferencia entre política y decisión.
- Se emplea la estructura adecuada, relativa a los estados del sistema, a las políticas que gobiernan las acciones.
- Se es consciente de que, el comportamiento autocorrector de los bucles de realimentación, elimina la necesidad de una elevada precisión en la descripción de las políticas.
- Se utiliza al máximo el volumen de experiencia operativa, que reside en los modelos mentales de los individuos, en los cuales se acumula la mayor parte de la información disponible sobre la estructura del sistema y sus políticas.
- Se tiene en cuenta que, una formulación de una política cuantitativa formal, no conlleva ninguna implicación de precisión absoluta. Podemos hacer una formulación cuantitativa formal, correspondiendo o respondiendo a cualquier formulación que pueda ser hecha en lenguaje descriptivo. La falta de precisión no evita ideas cuantificadas sobre políticas. El hecho de asignar un número no altera la precisión de la aseveración original, pero crea una base mucho más explícita para la comunicación. La creencia general de que no se pueden cuantificar las reglas de decisión a causa de falta de precisión es confundir precisión y exactitud. Es posible establecer una afirmación precisa pero no exacta; es decir, es posible cuantificar sin exactitud. Después de alcanzar la precisión en la afirmación y comunicación entonces se puede enfrentar a la pregunta sobre la suficiente exactitud.

Todos estos pasos han sido demostrados repetidamente. En la actualidad, se dispone de muchos ejemplos de estructuras de políticas aplicadas a sistemas industriales, sociales y económicos (Forrester, 1961; Forrester, 1969; Forrester, 1971b; Meadows, 1970; Roberts, 1964; Roberts, 1978).

Las políticas en una empresa o en una economía abarcan mucho más que políticas formales establecidas en memorándum ejecutivos o leyes nacionales. Una «política efectiva» es el marco para alcanzar decisiones. Las políticas son establecidas por fuentes de información disponible, incentivos sociales y prejuicios y hábitos impresos en la experiencia pasada. Cuando se examinan las decisiones a la luz de ese amplio entorno, surgen más certidumbres de la que se supondría en principio. Incluso para un individuo, se puede asumir un cierto grado de consistencia y se pueden discutir posibles efectos de distintas presiones. Para un tipo de personas en entorno similares, la respuesta media que cabe esperar, ante cambios en las fuerzas que actúan en dicho entorno, pueden ser observadas incluso con mayor confianza.

Uno de los principales empleos de un modelo dinámico es el estudio de la influencia de políticas alternativas en el comportamiento del sistema. Al formular un modelo, se debe extender el concepto de política, más allá de su significado normal. Todas las decisiones de un modelo se hallan bajo el control de las políticas, que controlan los flujos en todos los puntos del sistema. Surge así la necesidad de explorar con detenimiento las políticas, para ver cómo las decisiones se generan desde las distintas circunstancias que pueden surgir. Un modelo debe también tomar decisiones que son de naturaleza fisi-

ca, por ejemplo, el número de pedidos no satisfechos que pueden ser atendidos en función del estado de los inventarios.

5. DECISIONES IMPLÍCITAS Y EXPLÍCITAS

En ocasiones, resulta de ayuda dividir las decisiones y políticas que las guían en dos categorías, dependiendo de si las mismas representan decisiones humanas ordinarias, conscientes o si, por el contrario, surgen inexorablemente de las condiciones físicas del sistema. La línea divisoria no es muy profunda: las decisiones explícitas se definen como decisiones concretas adoptadas por personas, como parte de los procesos económicos y empresariales. Este tipo de decisiones incluye decisiones ejecutivas y de consumo. Por el contrario, las decisiones implícitas son el resultado ineludible del estado del sistema. Dentro de las decisiones implícitas se encuentra normalmente (1) la capacidad actual de entrega, dependiendo del estado de los inventarios, (2) el ratio o tasa de output (bienes entregados) del sistema de transporte, resultado del ratio de inputs, bienes en proceso y retrasos de transportes y (3) tasas o impuestos debidos a resultados positivos. También los procesos de decisión en biología y naturaleza son implícitos y resultan de la realimentación sistémica sin intervención explícita humana.

La producción sirve para enfatizar la distinción entre decisión implícita y explícita. La tasa de producción actual es normalmente el resultado de una función de decisión implícita que muestra cómo la tasa de producción es consecuencia del empleo, equipo disponible y materiales; por tanto, normalmente, no es una decisión explícita. No es posible decidir arbitrariamente la tasa de producción, ni que la tasa se conozca con certeza y de forma inmediata. Las decisiones empresariales explícitas son las decisiones de «intentar» contratar personal o encargar equipos y materiales. El hecho de que se contrate nuevo personal o no, como resultado de una decisión explícita, depende de las funciones de decisión implícita dentro del estado físico del sistema, que reconoce tales factores como la oferta de trabajadores, los salarios pagados y el atractivo del puesto de trabajo. Hasta qué punto los materiales y equipo resultan de los pedidos depende de las ofertas disponibles.

Las decisiones implícitas y explícitas no son tratadas de forma distinta en el modelo, pero su análisis por separado ayuda a evitar la omisión de pasos importantes en los flujos de información y las decisiones y acciones resultantes. El hecho de incluir ambos tipos de decisión en el modelo permite tener en cuenta tanto el deseo como la realidad. Las condiciones actuales llevan a establecer un deseo de cambio, este deseo interactúa con el estado y los recursos del sistema y determina lo que sucede, en caso de suceder algo.

El hecho de incluir los conceptos de las decisiones, tanto explícitas como implícitas, es un paso para eliminar la necesidad de introducir ecuaciones simultáneas que aparecen en algunos modelos, tales como hacer las decisiones de producción continuamente iguales a las decisiones de consumo. Las decisiones de producción y consumo se efectúan, de hecho, de forma independiente y se acoplan eventualmente a través de los inventarios, precios y diversos flujos de información. Las decisiones explícitas, de querer o intentar, son el resultado de la información disponible para el decisor. Las decisiones

implícitas, que crean las acciones, reconocen el verdadero estado real del sistema, así como los deseos del decisor.

6. INPUTS DE LAS POLÍTICAS

Al formular las políticas (las ecuaciones de flujo en el modelo), las decisiones deben ser generadas únicamente a partir de variables que estarían disponibles en el punto de decisión. En general, la información disponible para las decisiones explícitas no es idéntica a las variables actuales representadas por la información. La información puede ser tardía, e incluir desviaciones y ruido. De nuevo, surgiría aquí una distinción entre decisiones implícitas y explícitas. Las explícitas normalmente están basadas en información (que puede incluir perturbaciones) sobre las variables primarias. Las decisiones implícitas más mecánicas controlan los flujos que dependen de los estados actuales del sistema y, por tanto, en los valores reales de las variables del modelo.

La distinción entre el valor real de una variable y el valor de la información sobre dicha variable puede ser ilustrada a través de los inventarios. La capacidad de entrega de un bien desde un inventario, dependiendo de si el bien está presente o no, puede ser entendida como una decisión implícita controlada por el estado actual, presente y real del inventario. Este inventario presente y real debería ser una de las variables del modelo. La decisión explícita que controla los pedidos de material para reponer el inventario debería depender de la información sobre el inventario, siendo dicha información dependiente del retraso y de la falta de precisión. El inventario que se cree tener debería, en algunos modelos para determinados propósitos, ser incluido de forma separada como una segunda y diferente variable. Además, «el inventario deseado», que es distinto del real o percibido, pasaría a ser una tercera variable con un valor distinto en relación con el mismo inventario.

Como un segundo ejemplo, un modelo de un sistema económico debería generar continuamente el producto nacional bruto actual; pero este dato no debería estar disponible como un input para ninguna decisión explícita (como por ejemplo planes de expansión de capacidad). La información sobre las condiciones actuales en un modelo debería estar retrasada y contener distintos tipos de error, para representar el proceso real de obtención e interpretación de la información.

Un modelo, como la vida real, debe a menudo generar tanto los valores reales de las variables como los valores asociados corruptos que están disponibles en el proceso de decisión.

7. DETERMINANDO LA FORMA DE ESTABLECER UNA POLÍTICA

Un modelo para la simulación del comportamiento dinámico de un sistema requiere descripciones formales de las políticas con el fin de especificar como se toman las decisiones. Los flujos de información son convertidos continuamente en decisiones y acciones. Ningún pretexto sobre la inadecuación de los conocimientos sobre los procesos de toma de decisiones puede excusar de estimar el criterio de toma de decisiones. Omitir un punto de decisión

es negar su presencia —un error de mayor magnitud que cualquier otro error en el mejor proceso de estimación—.

¿Son las funciones de decisión estimadas lo suficientemente buenas para ser útiles? En general, parece que sí. La observación perceptiva, discusiones de investigación con individuos que toman decisiones, estudios de datos ya existentes y el examen de ejemplos específicos de decisiones y acciones, todos ellos sacan a la luz factores que afectan a las decisiones. Al considerar un factor que afecta a una decisión, progresamos a través de cuatro estados:

- ¿Qué factores son lo suficientemente significativos para ser incluidos?
- ¿Cuál es la dirección del efecto?
- ¿Cuál es la magnitud del efecto?
- ¿Qué no linealidades deberían reconocerse?

8. INPUTS A INCLUIR

A la hora de decidir cómo formular una función de decisión en particular (política) en un modelo, el primer paso consiste en listar aquellos inputs que ejercen una influencia importante en la decisión. La respuesta puede ser oscura. Lo que en principio podría parecer ser el factor más importante, en ocasiones será en realidad un factor con escasa influencia en el comportamiento del modelo o en el sistema real. Un factor que habitualmente no se tiene en cuenta en la práctica empresarial diaria podría mostrarse como la clave que explica importantes características de toda el sistema.

La elección de los factores que afectan a la decisión debe depender de las características del sistema de realimentación de la información. Nadie posee un juicio intuitivo fiable acerca de tales sistemas. Trabajar con modelos de sistemas ayuda a desarrollar conocimientos sobre el comportamiento de bucle cerrado. El test decisivo para establecer el grado de significación de un input de una política en un modelo es observar el comportamiento del mismo con y sin dicho input. En este sentido, el modelo por sí mismo puede ser empleado como ayuda para determinar cual debería ser su contenido.

El grado de influencia de un input en una decisión no es la única consideración a tener en cuenta. Se debe también considerar el grado de repercusión de la decisión sobre el input que afecta a dicha decisión, el tiempo que transcurre en esa realimentación. Influencias relativamente pequeñas en las decisiones pueden ser importantes en condiciones de «realimentación positiva», donde el input influye en la decisión y la decisión afecta al input para crear aún más cambio en la decisión. Tal amplificación se observa en muchos sitios. Por ejemplo, cuando los clientes efectúan pedidos aún mayores como consecuencia del retraso en la entrega de bienes, el incremento en la tasa de pedidos incrementa a su vez la cartera de pedidos no satisfechos; a su vez, este incremento en la cartera de pedidos significa que cada nuevo pedido se

retrasa aún más que los anteriores y, el incremento del retraso lleva a un nuevo incremento en los pedidos (Forrester, 1961, cps. 17 y 18)?

9. DIRECCIÓN DEL EFECTO

Normalmente, existirán pocas dudas acerca de la dirección en la cual una decisión va a ser influida por cambios en un input en particular. Sin embargo, debe estarse alerta para representar adecuadamente los efectos de aquellos inputs cuyas influencias a corto y largo plazo en una decisión son, a menudo, de sentido contrario y el comportamiento dinámico del modelo puede verse seriamente afectado si sólo se incluyen los efectos a largo plazo.

Muchos ejemplos ilustrarán los tipos de inputs que pueden tener efectos a corto plazo que son contrarios a los efectos a largo plazo que son considerados normalmente:

- En un proyecto de investigación que se expande, probablemente se necesiten más individuos que aceleren la finalización del mismo, pero el primer efecto podría ser la reducción del progreso mientras esas personas son entrenadas y absorbidas por la organización.
- En una economía sin tasa de desempleo, la demanda de más bienes podría requerir el traslado de trabajadores dedicados a la producción de bienes a la producción de equipamiento y maquinaria; el primer paso para alcanzar mayores niveles de producción a largo plazo tiende, inicialmente, a reducir la producción (este efecto podría por supuesto ser contrarrestado por otros factores tales como mayores duraciones de la jornada o semana laboral).

10. MAGNITUDES DE LOS EFECTOS EN LAS POLÍTICAS

El comportamiento dinámico de los sistemas de realimentación de información viene determinado por la forma en la que los cambios en una variable originan cambios en otra variable. Esto podría llevar a esperar una elevada sensibilidad del sistema a los valores exactos de los parámetros en las funciones de decisión, pero esto normalmente no se cumplirá (Ogata, 1970, pág. 190)?

Si un modelo se construye de forma adecuada para representar la estructura de realimentación de información actual de un sistema social, el modelo presentará las mismas capacidades de autocorrección que existen en situaciones reales. Cualquier parámetro de una política que debe ser estimado, actúa sobre uno o más niveles input para determinar la tasa de flujo controlado por esa decisión. Los niveles fuente son ajustados por la decisión resultante.

(2) Otro ejemplo surge cuando el ciclo acumulado de ventas origina incrementos en las campañas de publicidad y éstas a su vez incrementan las ventas hasta el punto en que otro efecto (reducción del pool de clientes potenciales), limita el proceso regenerativo. Véase Forrester, 1961, cap. 16.

(3) Un parámetro es una constante cuyo valor ha sido asignado en la construcción del modelo. Por supuesto, puede ser alterado en cada simulación.

Un parámetro mal establecido en una política puede impedir el ajuste interno de los niveles del modelo.

Debería mostrarse más preocupación sobre lo que el modelo cuenta acerca de los factores que causarán cambios en las tasas y niveles que de las magnitudes absolutas de los niveles del sistema.

Un modelo adecuadamente construido, a menudo y sorprendentemente, no se ve afectado por falta de especificación sobre el rango de variación posible de muchos de los valores de los parámetros. En un modelo, la sensibilidad a los valores de los parámetros no debería ser mayor que la sensibilidad del sistema real a los factores correspondientes. Parece obvio que las actividades industriales y económicas en la actualidad no deben ser altamente sensibles a sus parámetros fundamentales y que esos parámetros no cambian rápidamente. Esto ha de ser cierto, ya que las características significativas de las organizaciones persisten durante mucho tiempo. Una empresa con éxito tiende a mantenerse durante elevados períodos de tiempo —un éxito que se fundamente en la organización básica y en las políticas (incluyendo los aspectos esenciales de su liderazgo). Las economías nacionales han mostrado ciclos económicos similares a lo largo de la historia, a pesar de los grandes cambios en la tecnología, estructura monetaria, velocidad del transporte y la comunicación, importancia relativa de la industria y la agricultura y el grado de intervención gubernamental.

11. POLÍTICAS NO LINEALES

Las relaciones no lineales surgen en un modelo dentro de las políticas que determinan las tasas de flujo (Forrester, 1987b). Las no linealidades son esenciales para una adecuada representación del comportamiento empresarial y económico. Algunos ejemplos pueden ayudar.

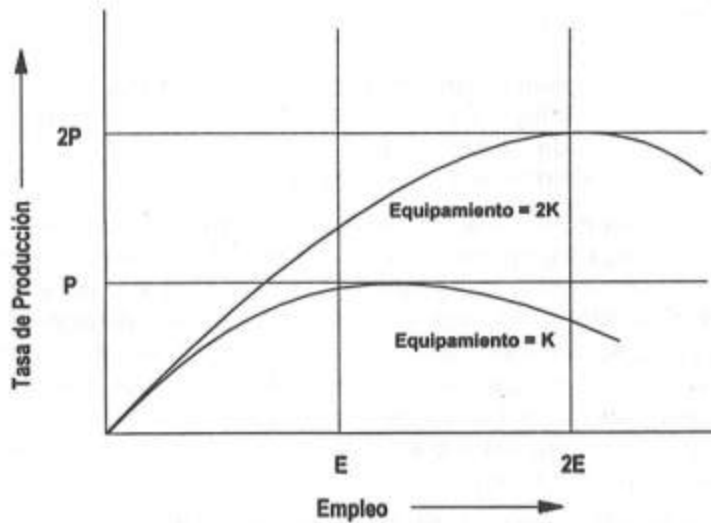
La primera forma de no-linealidad surge cuando la influencia de un input sobre una política no es simplemente proporcional a dicho input. Por ejemplo, el inventario disponible de bienes para la venta afecta a la tasa de entrega de dichos bienes. Cuando el inventario es bajo, la falta de disponibilidad de bienes reduce la capacidad de entrega; pero dentro del rango de inventarios «normales», la tasa de entrega se verá poco afectada por cambios en el inventario. Se puede esperar que muchas de las variables input de las políticas sean no lineales y muestren importancia creciente o decreciente a medida que los rangos de los inputs cambian.

La segunda fuente de no-linealidad en las políticas surge cuando las decisiones no responden independientemente respecto a dos o más variables input que las afectan, sino a un producto u otro tipo de interdependencia de dichas variables. En el ejemplo previo, la entrega de bienes no es independiente y separadamente sensible al inventario de bienes y a los pedidos no satisfechos. No se debería, simplemente, sumar las dos contribuciones separadas. Si no hay pedidos, los inventarios son irrelevantes a la hora de determinar la entrega; si no hay inventario, los pedidos no pueden generar entregas.

En las combinaciones surgirán diversos tipos de no-linealidad. Considerando la capacidad de la tasa de producción de una fábrica como dependen-

te del nivel actual de plantilla y del equipamiento disponible. El gráfico 8 muestra cómo la tasa de producción se incrementaría a medida que se incrementa la plantilla. Al principio, a medida que se añaden nuevos empleados, cada uno de ellos dispone del equipamiento necesario, la productividad laboral es elevada y la producción total se incrementa de forma proporcional al volumen de plantilla. Pero según se aproxima a la máxima capacidad del equipo, la productividad marginal disminuye; aunque todavía son necesarios más trabajadores para alcanzar la producción máxima que permite el equipo productivo actual. Más allá de ese nivel de empleo, individuos adicionales crearían sólo congestión y confusión en la producción total. Para una cantidad fija de equipamiento, la producción no es proporcional al empleo, sino que es una relación no lineal. Más aún, la contribución a la producción de cualquier cambio dado en el empleo depende de la cantidad de equipamiento, de modo que los dos inputs interactúan entre sí. A niveles muy bajos de empleo, no es importante donde se sitúa la cantidad de equipamiento entre el rango de K a $2K$. Para niveles más altos de empleo, la contribución de trabajadores adicional se ve afectada incrementalmente por el hecho de que se añada o no equipamiento.

Gráfico 8
LA TASA DE PRODUCCIÓN COMO FUNCIÓN DEL EMPLEO
Y DEL NIVEL DE EQUIPAMIENTO



Las aproximaciones lineales a estas relaciones no lineales no son satisfactorias normalmente. Las operaciones normales variarán entre rangos lo suficientemente amplios de modo que las no linealidades son altamente significativas. Muy a menudo, la aproximación a uno de los límites se transforma en una señal para el input de la necesidad de alguna acción compensadora (en el ejemplo anterior, la reducción en la eficiencia trabajador/hora originada por el exceso de plantilla es uno de los inputs para la decisión de adquirir más equipamiento).

Las políticas deberían ser válidas sobre un amplio rango de inputs por muchos motivos. El modelo será empleado para explorar amplios rangos de condiciones; por lo que el modelo debe ser útil para explorar las mismas. Sin embargo, a priori, se desconoce la magnitud de variación de algunas de esas variables; por lo que el modelo debe ser capaz de fuera de los rangos operativos que ya han sido establecidos por el sistema real, puesto que el diseño de nuevas políticas implica operar fuera de la práctica histórica.

Al construir un modelo, toda la información pertinente debería ser empleada sobre el sistema que se está representando. Un tipo indispensable de información es el conocimiento de lo que cabe esperar bajo condiciones extremas. Muy a menudo, se tiene más conocimiento acerca de las condiciones extremas de una relación entre variables que sobre el rango normal de operación. Muy a menudo, se conoce el valor de la pendiente que ha de asumir una curva que relaciona dos variables, a medida que la variable input se acerca a cero o a un valor absurdamente elevado. Si esas condiciones extremas se reflejan en el modelo, ayudarán a definir y a hacer más fiable el rango normal de actuación. Al seleccionar relaciones funcionales que reflejan todos los pequeños conocimientos, se incrementan las posibilidades de obtener un modelo que funcione adecuadamente.

La mayoría de las condiciones extremas ejercen su influencia de una forma progresiva a medida que se acerca al límite. Es una práctica pobre aproximar tales funciones a través de una sección lineal que está «condenada» a cesar su viaje de repente.

Las relaciones funcionales adecuadamente perfiladas facilitan el reajuste interno cuando el modelo busca valores que equilibran unos a otros. El comportamiento realista es más fácil de alcanzar en un modelo no lineal que en uno lineal ya que los modelos no lineales conducen más rápidamente a los factores de los cuales depende el comportamiento del sistema.

12. RUIDO EN LOS FLUJOS DE DECISIONES

Las políticas incluidas en un modelo, necesariamente sólo pueden incorporar los factores más importantes que influyen en las decisiones. Pero además de éstos, habrá otros muchos que tienen una menor influencia, y que, por tanto, serán, sin duda alguna, omitidos. Esas omisiones, pueden representar dos categorías bastantes diferentes.

En la primera categoría se encuentran aquellas leves influencias de variables, que forman parte del actual sistema, pero que no se encuentran representadas en el modelo. Tales omisiones ocurren por la necesidad de simplificar. Sin embargo, omitir una variable de una política en un modelo, supone omitir un input que debe ser correlacionado en el tiempo, con las decisiones creadas por la política. No se puede sustituir este tipo de omisión, por variables aleatorias incorporadas al proceso de decisiones del modelo.

La segunda clase de omisiones de políticas tiene un carácter muy diferente. Esas partidas de inputs, no se ven afectados entre sí, o por otras variables del modelo. Su fuente es externa e independiente del sistema real que está siendo representado. Un ejemplo, es la influencia incierta de la climatología

—no sólo influye obviamente en la agricultura, sino que también afecta a las reservas turísticas y a la venta de equipos deportivos. También deberíamos clasificar como aleatorios los incidentes de las noticias locales, nacionales y de política internacional, que no pueden ser completamente independientes de los negocios y de los asuntos económicos, aún cuando se encuentren lo suficientemente desligados como para permitir que se les considere como acontecimientos aislados. Este torrente de impredecible «ruido», añade su contribución a todos los puntos de decisión en el sistema social real. Tal variación del ruido aleatorio, puede ser incluida en las políticas del modelo.

El tratamiento teórico de los inputs de ruido y cómo diseñar éstos, abarca un tema complejo, que debería ser tratado en cualquier lugar. La cuestión práctica de qué características del ruido, deberían incluirse en el modelo, al igual que otros muchos inputs, deberá decidirse sobre la base del conocimiento que se posea sobre el sistema que está siendo representado⁴.

Los inputs de ruidos en políticas pueden ser usados para representar la segunda clase de omisiones de un modelo, donde los factores omitidos no están relacionados con el sistema que está siendo modelado. El ruido no puede sustituir a la primera categoría de omisiones, las cuales constituyen omisiones de partes de la estructura de realimentación de un sistema.

13. FUENTES DE INFORMACIÓN

La información para modelar proviene de muy diversas fuentes (Forrester 1980a). El gráfico 9 sugiere tres clases de bases de datos: mentales, escritos y numéricos. Se emplea el término base de datos en un sentido amplio. Quienes trabajan con estadísticos deben pensar en los datos como algo que siempre es medible de forma numérica. Sin embargo, Webster's Thirs Unabridged Dictionary no aconseja que los datos se restrinjan a información numérica. Webster's define al dato como «algo que se obtiene a partir de la experiencia» y que «sirve materialmente como base para la discusión, inferencia o determinación de políticas», y «detallada información de algún tipo». Esta amplia definición, debe incluir los datos mentales de las personas, los datos almacenados por escrito, y los datos disponibles numéricamente.

Como sugiere el gráfico, la cantidad de información disponible decae, probablemente en muchas órdenes de magnitud, según se pasa de la información mental a la escrita; y de nuevo por otros factores similares, según se pasa de la información escrita a la numérica. Además, el carácter de la información contiene cambios, según uno se mueve de la información mental a la escrita o la numérica. Desplazándose hacia abajo por el diagrama, hay progresivamente, una mayor proporción de información a cerca de la estructura

(4) Hay que tener en cuenta, que ni los «números aleatorios» de la estadística, ni el «ruido blanco» de la ingeniería, pueden ser empleados sin modificaciones. Debe darse la necesaria consideración al intervalo de muestreo, a las frecuencias de corte, altas y bajas, contenidas en la secuencia de ruido, y al modo en el que el ruido es insertado en punto de decisión, con respecto a los canales de circuito cerrado, de los cuales él se convierte en una parte. Ver Richardson y Pugh (1981) para una explicación elemental.

Gráfico 9
BASE DE DATOS MENTAL Y CONTENIDO REDUCIDO
DE LAS BASES DE DATOS ESCRITOS Y NUMÉRICOS



y las políticas. Cada clase de información puede cubrir un papel diferente en la modelización de un negocio o de un sistema social.

14. DATOS MENTALES

Los asuntos humanos son conducidos primeramente, desde la base de los datos mentales. La información contenida en la mente de las personas es mucho más extensa que la contenida en cualquier otro soporte de información. Cualquiera que desconfe del alcance de la memoria, debería imaginar lo que ocurriría en una sociedad industrial, si ésta fuese privada de todo el conocimiento que reside en la mente de sus miembros, y si sus acciones fueran guiadas sólo por las medidas escritas y la información numérica. No existe ninguna descripción por escrito que resulte adecuada para construir un automóvil o dirigir una familia, un gobierno o un país. Yo estoy poniendo especial énfasis en este artículo, sobre la base de datos mentales, porque dicha información, no es lo suficientemente apreciada por las ciencias directivas y sociales.

Si la base de datos mentales es tan importante para dirigir los sistemas humanos, entonces yo confío que un modelo de tales sistemas debe reflejar el conocimiento acerca de las políticas y estructura que sólo reside en los datos mentales. La elaboración efectiva de un modelo debe reflejar la base de datos mental.

15. DATOS ESCRITOS

Las bases de datos escritos, contribuyen a un modelo dinámico, de varios modos. Parte de la información escrita que se encuentra almacenada es sim-

plemente un apunte de la información proveniente de la memoria. Otra parte, contiene conceptos y abstracciones que interpretan otras fuentes de información.

Las publicaciones hacen que la información se encuentre más disponible, que si esta se mantuviese en la memoria, de donde provienen esos registros escritos. En su totalidad, los datos escritos son una excelente fuente de información sobre la estructura del sistema, y las razones por las que se llevan a cabo las decisiones. Se está haciendo referencia aquí, a la prensa diaria y semanal, general y de negocios, en donde se revelan las actuales presiones que rodean a las decisiones adoptadas.

La naturaleza temporal de una decisión restringe bruscamente la clase de literatura sobre la cual la verdadera política operativa, será revelada. Las decisiones controlan las acciones. Las decisiones son fugaces; pues sólo hay un instante de tiempo, en el que uno puede actuar. Ese tiempo es ahora. La acción debe tomar lugar en el momento presente, que separa el pasado del futuro. Uno no puede actuar en el pasado o en el futuro, sólo en el presente.

El adelantarse siempre al momento presente en la toma de decisiones, constituye el mundo de la acción directiva y política. Es el mundo de la toma de decisiones: de contratar personal, de adquirir capital productivo, de solicitar créditos, de modificar salarios, de enviar pedidos y de establecer tipos de interés. Estas acciones están constantemente modeladas por cambios que ocurren en los estados del sistema, tales como atrasos, inventos, capacidad productiva, deuda, liquidaciones y número de empleados.

Una consecuencia de la fugaz vida de una decisión, es la literatura del presente; en la cual, las decisiones son discutidas en términos de objetivos, amenazas, información limitada, y restricciones a la acción. En la actividad económica y de los negocios, la literatura del presente, hace referencia a publicaciones tales como Wall Street Journal, Business Week, Fortune, y los diarios. Las múltiples presiones a que se ve sometido el proceso real de toma de decisiones, se encuentran prácticamente ausentes de los manuales económicos y de las revistas. La literatura profesional, pone el énfasis en cómo deberían ser tomadas las decisiones —frente a cómo son tomadas realmente—, así como en la forma en que el equilibrio es determinado, y no en explicar, cómo surge el comportamiento dinámico.

Sin embargo, la literatura actual sobre los negocios no puede ser fácilmente utilizada en la construcción de un modelo. Ni un sólo aspecto de una publicación es significativo por sí sólo. El mundo económico y de los negocios, se mantiene en continuo cambio; de ahí que en un determinado momento, sólo un subconjunto de posibles inputs, es importante para una particular decisión. Las extensas políticas necesarias, para que un modelo, que opere adecuadamente sobre un amplio rango de condiciones, debe incluir a todas las circunstancias que pueden ocurrir. Para ello, hay que ensamblar la literatura, interpretar las decisiones dentro de las políticas y percibir las políticas y las estructuras como causantes de los modos de comportamiento, que deberían prolongarse durante años o décadas. Uno debe leer entre líneas y completar cada aspecto con la información proveniente de otros tiempos y lugares. Es pues posible concluir, que tal interpretación de la literatura actual sobre los negocios, no puede ser efectivamente hecha, sin conocimiento de primera ma-

no acerca de las bases de datos mentales usadas por los participantes en los negocios y en las políticas. Tal conocimiento de primera mano se obtiene sólo, viviendo y trabajando donde se toman las decisiones, y observando y hablando con quienes actúan en los sistemas sociales.

Los datos escritos, en comparación con los datos mentales de los cuales se derivan, tienen principalmente dos deficiencias. La primera debilidad se encuentra el hecho de que los datos escritos no suelen ser puestos en duda. A diferencia de las bases de datos mentales, los datos escritos no responden bien al ser probados por el analista, en la búsqueda de un enlace entre la estructura, las políticas y el comportamiento. Como segunda deficiencia está que al pasar de la información mental a la escrita, la primera es filtrada a través de las percepciones y propósitos del escritor. El propósito de éste, podría ser muy diferente del de aquella persona que busca las causas internas de un particular comportamiento dinámico.

Parte de las bases de datos escritos, se ocupa de abstracciones sobre la estructura. Un ejemplo es la función de producción de Cobb-Douglas, cuando la misma es usada por micro-economistas. Estrechamente relacionado con ésta, está el concepto de productividad marginal de los factores de producción. Tales conceptos son rara vez reconocidos explícitamente por los gerentes, y no suelen surgir en las discusiones con aquéllos que toman las decisiones económicas. El hecho de que esos importantes conceptos sean excluidos de la práctica, conduce a un tema fundamental en el diseño de un modelo de dinámica de sistemas.

Existen procesos que uno cree importantes en la vida real, pero que no entran explícitamente dentro del proceso real de toma de decisiones. Tales procesos juegan un papel fundamental que no es directamente visible. ¿Cómo son esos conceptos ocultos que deberían ser controlados en un modelo dinámico? Tales procesos ocultos deberían ser incluidos en un modelo, porque son considerados como reales; pero deberían ser separados de los puntos de decisiones del modelo, tal y como son obscurecidos en la vida real. Por ejemplo, se acepta con carácter general, que existe una productividad marginal para cada factor de producción. Pero los directivos no tienen un modo de determinar de forma rápida y fiable, los valores de las productividades marginales. Los directivos no conocen con seguridad, si es más eficiente gastar el dinero en un operario, en un torno, en incrementar el inventario de materias primas, en un vicepresidente, en anuncios, o en otro piloto para el avión de los ejecutivos. Sin embargo, aunque las productividades marginales estén totalmente excluidas del balance, la verdad fundamental será gradualmente percibida. Las verdaderas, pero ocultas productividades marginales, son la fuente de las señales que eventualmente se difunden, dentro de la conciencia directiva.

Este ejemplo de productividad marginal oculta, ilustra como el modelador debe jugar un doble papel, al ocuparse de conceptos fundamentales implícitos a la hora de construir un modelo. Por un lado, el modelador debe actuar como un observador omnisciente, que debe representar el modelo que existe en la vida real. Pero por otra parte, el modelador debe degradar la información sobre las verdaderas condiciones del modelo, antes de que la misma sea usada en el proceso de toma de decisiones por el modelo, así como aproximar la distorsión que ocurre en el sistema real.

16. DATOS NUMÉRICOS

La base de datos numéricos posee menos alcance que la escrita o la mental. La pérdida de datos numéricos está directamente relacionada con la estructura y las políticas que crean los datos. Los datos numéricos no revelan la relación causa-efecto entre las variables. A partir de los datos numéricos, uno puede hacer análisis estadísticos para determinar que serie de datos se encuentra correlacionada con cualquier otra, pero no responde a cuestiones de causalidad interna.

No obstante, la base de datos numérica contiene al menos, dos cuerpos de información que son útiles en la modelización:

- Primero, existe información numérica específica, que está disponible para algunos parámetros. Por ejemplo, la media del retraso de las entregas de los pedidos recogidos en los informes corporativos y en los resúmenes del negocio. Estimaciones de productividad laboral y de los equipos. También están disponibles muchos valores normales, sobre los cuales se producen variaciones, tales como balances financieros, cobertura del inventario, y tiempo para cubrir vacantes laborales.
- Segundo, la información numérica contenida en una serie temporal de datos. En los modelos de dinámica de sistemas, las series de datos temporales son mucho menos usadas, que en los modelos econométricos, a la hora de terminar los valores de los parámetros. Sin embargo, en dinámica de sistemas, el propio modelo de simulación genera series temporales sintéticas, que pueden ser comparadas de diversas formas, con las series temporales reales. Se considera que este uso independiente de las series temporales para validar el comportamiento del modelo es menos vulnerable al error en los datos que el uso econométrico de éstos en un intento de derivar parámetros significativos (Graham 1980; Senge 1977; Senge 1978).

17. FIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN

Para los propósitos de la modelización, la información mental puede ser clasificada de tres modos, tal y como muestra el gráfico 10. Las categorías difieren en fiabilidad y en cual es su papel en la modelización.

La primera categoría incluye observaciones sobre la estructura y las políticas; y se ocupa de por qué actúan así las personas, cómo lo hacen y qué partes del sistema social se encuentran interconectadas. Las bases de datos mentales contienen extensa información sobre políticas y estructuras, y sobre otras muchas cosas que uno debería saber a la hora de construir un modelo de dinámica de sistemas.

Esas bases de datos son ricas en detalles de estructura; poseen conocimiento de qué información está disponible en varios puntos de decisión, a dónde se mueven la gente y los bienes, y sobre qué decisiones son tomadas. Las bases de datos mentales conciernen especialmente a políticas; esto es, a por qué la gente responde como lo hace, a lo que cada centro de decisión está tratando de realizar, a que penalizaciones y recompensas se perciben en un

Gráfico 10
CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS MENTAL EN RELACIÓN
A LOS COMPONENTES Y ESTRUCTURA DE UN SISTEMA SOCIAL



sistema social específico, y a en dónde chocan los intereses particulares con los objetivos institucionales.

La primera categoría de información mental —información sobre las políticas y estructuras— puede ser directamente explotada y transferida dentro de un modelo de dinámica de sistemas. En general, las bases de datos mentales relativas a políticas y estructuras son fiables; pero por supuesto, deben ser contrastadas. Pueden existir exageraciones y sobre-simplificaciones que deben ser corregidas. Las entrevistas deben ser aprovechadas más allá de la primera respuesta rápida. Las preguntas deben ser guiadas por un conocimiento de lo que las diferentes estructuras implican para el comportamiento dinámico. De esta forma, de las bases de datos mentales surge un consenso que es útil y suficientemente correcto.

Sin embargo, la segunda categoría de la información mental no es fiable. Las expectativas sobre el comportamiento del sistema, son simulaciones mentales, que presumiblemente representan consecuencias dinámicas, de información detallada, que pertenece a la primera categoría. La segunda categoría —las expectativas sobre el conocimiento— representa soluciones intuitivas a un sistema no-lineal de orden superior, que contiene ecuaciones integrales, implícitas en la estructura y las políticas de la primera categoría. Tales soluciones intuitivas a un complicado sistema dinámico son, a menudo, equivocadas. Por ejemplo, el congreso debería aprobar una ley con la intención de aliviar la miseria social y económica de las ciudades (Forrester 1969). La ley pertenece a la primera categoría del gráfico; pues la ley es una declaración política. Esa política es explícita y conocida. Pero la expectativa de que la ley aliviará la miseria urbana, pertenece a la segunda categoría, y esa simulación intuitiva sobre sus consecuencias es también, a menudo, incorrecta (Brehmer, 1989; Kleinmuntz, 1985; Sterman, 1989b).

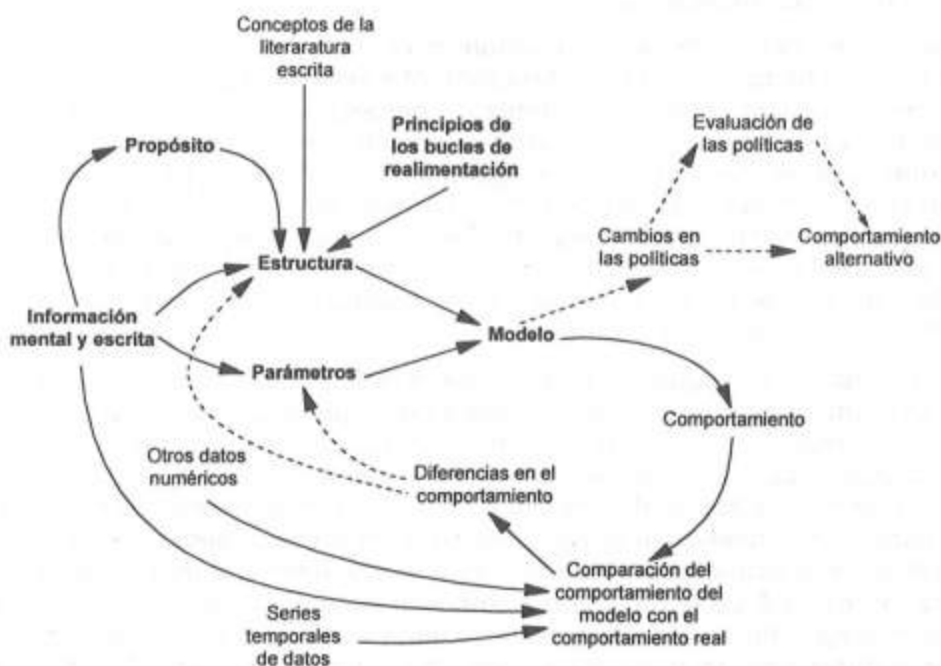
La tercera categoría de información mental es útil. Es información sobre comportamientos pasados del sistema real. Del comportamiento pasado, se

extraen los síntomas del problema, lo que proporciona la motivación para un estudio dinámico y para un modelo. Después de que el modelo funcione, el comportamiento del mismo puede ser evaluado parcialmente, frente al conocimiento que se posea sobre las características del comportamiento pasado que tuvo el sistema real.

18. USO DE INFORMACIÓN EN EL PROCESO DE MODELIZACIÓN

La discusión precedente, sobre la información y la metodología, guía al proceso de modelización mostrado en el gráfico 11. Desde las bases de los datos mentales y escritos, se extrae el propósito del modelo. La motivación para un modelo, surge normalmente a partir del comportamiento problemático de algún sistema real. Así, en una compañía, quizás la cuota de mercado ha estado cayendo, o el empleo ha estado fluctuando más ampliamente de lo que ha ocurrido en otras empresas del mismo sector.

Gráfico 11
CREACIÓN DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS



Durante la construcción del modelo, el centro de atención debe estar en la información disponible en las fuentes mentales y escritas y en la información numérica, más que en la serie de datos temporales. Esa otra información numérica incluye, por ejemplo, la media de los retrasos en la recepción de pedidos, los ratios habituales de inventario en función de la tasa de ventas, el coste relativo de los inputs productivos, y los plazos medios con los que se encarga material y equipamiento.

Toda la información disponible, junto con el propósito y los conceptos apropiados de modelización son interpretados a través de los principios de la teoría de los bucles de realimentación, para producir así la estructura del modelo.

Los parámetros son también, normalmente, derivados directa e individualmente, de las bases de datos mentales, escritas y numéricas. También en las ciencias sociales existe una aguda distinción entre la estructura y los parámetros. Tal distinción es fluida; así, ciertas cantidades que deben ser consideradas como constantes, para un modelo simple, que será usado durante un corto espacio de tiempo, deberán convertirse en variables, si el modelo es empleado a lo largo de un amplio horizonte temporal. Así, ciertas variables deben cambiar, dependiendo de lo perdurable que sean los parámetros. Por ejemplo, una política que reordenar los bienes de un inventario a corto plazo sería adecuada, si muestra como mantener un específico número de unidades en inventario. Pero para un modelo que intenta ser válido a largo plazo, las ventas deberían cambiar sustancialmente, y por tanto un inventario constante no es apropiado durante mucho tiempo. La política para gestionar el inventario debería ser así modelada en términos de una variable, que recoge un inventario objetivo, que debería tratar de mantener un nivel de inventario, capaz de cubrir un determinado número de semanas, de ventas medias. Las semanas de ventas cubiertas por el inventario, es un parámetro mucho más perdurable que cualquier nivel absoluto de inventario deseado. Una vez creada una estructura de variables y sus parámetros asociados, hay que decidir constantemente, qué se considera una variable, y qué un parámetro.

En un modelo de dinámica de sistemas, cada parámetro debería tener un significado en el escenario de la vida real. Su valor numérico, debería ser discutido con gente que opera en las partes del sistema real en las que se aplica el parámetro. Algunos parámetros pueden ser estimados a partir de una serie temporal de datos; pero las estructuras y los parámetros no deberían ser excluidos de un modelo, únicamente porque no se puedan medir sus valores. Es entonces, cuando los tests de simulación pueden ayudar a precisar el valor del parámetro, dentro de su rango más plausible. Un determinado parámetro está probablemente influyendo, y de un determinado modo dinámico —e incluso, dentro de ese modo, por medio de algún específico comportamiento—, en un sistema. Dado que dos parámetros, rara vez tienen el mismo efecto sobre el comportamiento del sistema, un cambio en un parámetro no es a menudo sustituido, por un cambio en otro parámetro. El test de sensibilidad, con resultados interpretados frente a un amplio conjunto de datos de la vida real, tiende a converger hacia un grupo bastante definido de parámetros. Incluso los tests de sensibilidad, mostrarán normalmente que elección, entre políticas alternativas, no es probable que se vea afectada por razonables cambios en los parámetros.

Una determinación de la estructura, las políticas y los parámetros, genera un modelo. Pero, como se sugiere en el gráfico, la formulación inicial de un modelo, sólo es el comienzo de un proceso de modelado con dinámica de sistemas. El comportamiento del modelo, es generado bajo la forma de series temporales de datos, cuando una de las muchas variables que configuran el modelo, ha sido elegida para simular. La diversidad de variables hace posible, una multitud de comparaciones entre el modelo y el sistema real (Bell y Senge, 1980; Forrester y Senge, 1980).

El comportamiento del modelo puede ser comparado con muchas clases de información de la vida real. La información disponible incluye incluso, conocimiento de ciertas posibilidades lógicas que aún no han sido experimentadas en el sistema real. Por ejemplo, los inventarios reales no se convierten en negativos, incluso aunque los inventarios del modelo, a menudo lo hagan en ciertos modelos dinámicos con funciones inadecuadas. Cuando esto sucede, el resultado es vuelto a reproducir, para encontrar así sus causas, una debilidad es revelada, o una simplificación intencionada en la construcción del modelo, se revela como inaceptable.

Las series de datos temporales, son usadas en primer lugar, para comparar las series temporales que resultan de la simulación del modelo con las de la realidad. Dado que la aleatoriedad en el modo en que las decisiones son tomadas, influye tanto en el mundo real, como en el modelo; no cabe esperar que los resultados del modelo y los datos históricos coincidan punto por punto. Por el contrario, deben mirarse las características del comportamiento de las series temporales del modelo, y comparar éstas con las características correspondientes de los datos reales. Por ejemplo, se pueden comparar los habituales intervalos de tiempo entre las variables de un ciclo, de un modelo económico de dinámica de sistemas, con la información histórica. La comparación del comportamiento del mundo real, con el comportamiento del modelo, revelará las discrepancias existentes. Cada una de ellas, debe ser evaluada para juzgar si justifica el tiempo y el esfuerzo que requiere su corrección. Las discrepancias se convierten así, en señales que conducen hacia fases previas de la formulación del modelo. Las discrepancias crean una nueva perspectiva desde la que reevaluar las bases de datos mentales, escritos y numéricos, para probar los parámetros —por sus efectos sobre el comportamiento—, y modificar la estructura, para que su comportamiento se alinee mejor con el sistema real.

Después de que un modelo haya sido juzgado como satisfactorio para su propósito particular, el mismo puede ser usado para el análisis de las políticas. Una política es cambiada normalmente, debido a un cambio de un parámetro en la definición de la política; obteniéndose así, una nueva simulación. El comportamiento de la nueva política es comparado con el comportamiento de la vieja política, al objeto de evaluar las conveniencias relativas, de cada una de las políticas.

19. CONCLUSIONES

La dinámica de sistemas se ha convertido ahora, en una profesión. Es una profesión que integra el conocimiento sobre el mundo real, con conceptos de cómo 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 es una profesión práctica que 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. Es una profesión que puede conducir a una mejora en el esquema para entender la complejidad. Es una profesión que puede unificar los diversos as-

pectos de la sociedad y la naturaleza, para combinar las interacciones entre la ciencia, la psicología, la política, la biología, el medioambiente, la economía y la dirección.

Por contra, hay quienes todavía ven a la dinámica de sistemas, nada más que como el uso de un paquete informático especial (High Performance Systems 1990; Pugh 1986). A menudo, una persona declara entender la dinámica de sistemas después de usar un particular programa de modelización. Esto equivale a decir que uno es un cualificado cirujano, porque ha utilizado un cuchillo. Las herramientas, perfectamente desarrolladas y ampliamente disponibles, a menudo usurpan el escenario central y desvían la atención lejos de la filosofía, las revelaciones, las fuentes de información, el entendimiento dinámico y la habilidad para concebir la estructura relevante del modelo; siendo todo esto, lo que constituye la profesión de la dinámica de sistemas (Forrester, 1975a; Forrester, 1976; Randers, 1980).

Se utiliza aquí el término «profesión», en el sentido aplicado a la ingeniería, a la ley y a la medicina. Una profesión debería ser activista; es decir, debe ocuparse de los retos y los problemas del mundo real. Debería buscar soluciones que puedan ser puestas en práctica. Debería interactuar con la sociedad. Su éxito es medido por el bien que puede hacer a la actividad humana. Ella integra hechos materiales con intangibles; siendo aprendida a través de muchos canales —lecturas, teoría, trabajo de laboratorio, relaciones internas y práctica. Es útil en pequeñas dosis (al igual que un curso de primeros auxilios puede ser una útil adquisición de conocimientos médicos), pero continúa profundizando en la frontera del conocimiento (como la búsqueda médica sin fin, de los mejores tratamientos y la mejora de los procedimientos quirúrgicos).

La dinámica de sistemas está siendo enseñada en un gran número de universidades, escuelas de negocios y colegios. Muchas de las principales escuelas de negocios norteamericanas y europeas han comenzado a integrar casos de estudios sobre modelos, en la enseñanza directiva. 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). Los gobiernos de muchos países, están usando dinámica de sistemas para comprender los cambios sociales y económicos. La dinámica de sistemas se ocupa del cambio. El entendimiento y la dirección del cambio, son las tareas centrales en los sistemas tecnológicos y sociales.

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 (Forrester, 1971a; Forrester, 1971b; Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1972; Meadows y Meadows, 1973). Del libro *Los límites al Crecimiento*, se han vendido más de 3 millones de copias, y el mismo, ha sido traducido a más de 30 lenguas.

La dinámica de sistemas promete mostrar cómo las políticas del gobierno y de los negocios interactúan para crear comportamientos económicos

(N. Forrester, 1982; Low, 1980; Mass, 1975). Otros modelos han demostrado cuales son las bases de la gran ola económica o del ciclo Kondratieff (Forrester, 1977; Sterman, 1985; Sterman, 1986). El Modelo Nacional de Dinámica de Sistemas del MIT es probablemente la más extensa aplicación existente, al comportamiento económico (Forrester, 1979; Forrester, 1980a; Forrester, 1985; Forrester, 1987a).

La más excitante frontera para la dinámica de sistemas, se encuentra en su uso como una fundación para una más efectiva educación pre-escolar. Nancy Roberts es pionera en este trabajo (N. Roberts, 1975; N. Roberts, 1978). Desde entonces, los programas de educación con dinámica de sistemas, se encuentran bien avanzados en unas 30 escuelas secundarias estadounidenses, y algunas actividades han comenzado en otras 300 más (Forrester, 1990; Forrester, 1991).

Los resultados muestran que una fundación puede ser creada a nivel pre-escolar, sobre la base de los estudios matemáticos, físicos y sociales, económicos, históricos, sobre las propias experiencias de los alumnos, e incluso sobre la literatura. Disponiendo así, de un esquema sobre qué hechos pueden ser tratados, el aprendizaje se convierte en más relevante y significativo.

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).

Pero el campo todavía carece del adecuado material educativo. Los tradicionales libros introductorios han sido ampliamente empleados (Forrester, 1968; Goodman, 1974; Richardson y Pugh, 1981; N. Roberts, Andersen, Deal, Garet y Shaffer 1983). Sin embargo, ninguno ha sido totalmente desarrollado como libro de texto, que sirva de soporte para asignaturas, planes de estudios, libros de prácticas y lecturas especiales. Aunque existe mucho material para cursos cortos y memorias informales, prácticamente no se encuentra publicado ni disponible nada, para avanzados estudios en dinámica de sistemas.

Más que un campo maduro, después de 35 años de desarrollo, la dinámica de sistemas está ahora en el umbral de su mayor expansión, con una rápida diversificación de oportunidades en negocios, sociedad y educación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfeld, Louis Edward, and Alan K. Graham (1976): *Introduction to Urban Dynamics*, Portland, Ore.: Productivity Press.

Beer, Stafford (1981): *The Brain of the Firm* (2d ed.), Chichester, England: John Wiley.

Bell, James A., and Peter M. Senge (1980): «Methods for Enhancing Refutability in System Dynamics Modeling», in A. A. Legasto, Jr., ed., *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, New York: North-Holland, 61-73.

- Brehmer, B. (1989): «Feedback Delays and Control in Complex Dynamic Systems», in P. Milling and E. Zahn, eds., *Computer-Based Management of Complex Systems*, Berlin: Springer-Verlag, 189-96.
- Cyert, R., and J. March (1963): *A Behavioral Theory of the Firm*, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.
- Deutsch, Karl W. (1963): *The Nerves of Government*, London, Collier-MacMillan.
- Forrester, Jay W. (1961): *Industrial Dynamics*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Forrester, Jay W. (1968): *Principles of Systems* (2d ed.), Portland, Ore., Productivity Press.
- Forrester, Jay W. (1969): *Urban Dynamics*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Forrester, Jay W. (1971a): «Counterintuitive Behavior of Social Systems», *Technology Review* 73, no. 3: 53-68.
- Forrester, Jay W. (1971b): *World Dynamics*. (1973 second ed.), Portland, Ore., Productivity Press.
- Forrester, Jay W. (1975b): «Market Growth as Influenced by Capital Investment», in *Collected Papers of Jay W. Forrester*, Portland, Ore., Productivity Press, 111-32.
- Forrester, Jay W. (1976): «Educational Implications of Responses to System Dynamics Models», in C. West Churchman and Richard O. Mason, eds., *World Modeling: A Dialogue*, Amsterdam, North-Holland, 27-35.
- Forrester, Jay W. (1977): «Growth Cycles», *De Economist* 125, no. 4, 525-43.
- Forrester, Jay W. (1979): «An Alternative Approach to Economic Policy: Macrobehavior from Microstructure», in Nake M. Kamrany and Richard H. Day, eds., *Economic Issues of the Eighties*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 80-108.
- Forrester, Jay W. (1980a): «Information Sources for Modeling the National Economy», *Journal of the American Statistical Association* 75, no. 371: 555-74.
- Forrester, Jay W. (1980b): «System Dynamics: Future Opportunities», in A. A. Legasto, Jr., ed., *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, New York, North-Holland, 7-21.
- Forrester, Jay W. (1985): «Economic Conditions Ahead: Understanding the Kondratieff Wave», *The Futurist* XIX, no. 3: 16-20.
- Forrester, Jay W. (1987a): *Comparison of the 1920s and 1980s*, Working paper D-3890, System Dynamics Group, Sloan School of Management, MIT, Cambridge, Mass.
- Forrester, Jay W. (1987b): «Nonlinearity in High-Order Models of Social Systems», *European Journal of Operational Research* 30, no. 2: 104-109.
- Forrester, Jay W. (1990): «System Dynamics as a Foundation for Pre-College Education», in David F. Anderson, George P. Richardson, and John D. Sterman, eds., *Volume 1: System Dynamics'90*. Lincoln, Mass., System Dynamics Society, 367-80.

- Forrester, Jay W. (1991): «System Dynamics-Adding Structure and Relevance to Pre-college Education», in Kenneth R. Manning, ed., *Shaping the Future*, Cambridge, MIT Press.
- Forrester, Jay W., and Peter M. Senge (1980): «Tests for Building Confidence in System Dynamics Models», in A. A. Legasto, Jr., J. W. Forrester, and J. M. Lyneis, eds., *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, New York: North-Holland, 209-28.
- Forrester, Nathan B. (1982): *A Dynamic Synthesis of Basic Macroeconomic Theory: Implications for Stabilization Policy Analysis*, Ph. D. thesis, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- Goodman, Michael R. (1974): *Study Notes in System Dynamics*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Graham, Alan K. (1980): «Parameter Estimation in System Dynamics Modeling», in Jorgen Randers, ed., *Elements of the System Dynamics Method*, Portland, Ore., Productivity Press, 143-61.
- High Performance Systems (1990): *STELLA II Users Guide*, High Performance Systems, 45 Lyme Road, Ste. 300, Hanover NH 03755.
- Hogarth, R. M. (1987): *Judgment and Choice: The Psychology of Decision* (2d ed.), New York, Wiley.
- Kleinmuntz, D. (1985): «Cognitive Heuristics and Feedback in a Dynamic Decision Environment», *Management Science* 31, 680-702.
- Low, Gilbert W. (1980): «The Multiplier-Accelerator Model of Business Cycles Interpreted from a System Dynamics Perspective», in Jorgen Randers, ed., *Elements of the System Dynamics Method*, Portland, Ore., Productivity Press, 76-94.
- Lyneis, James M. (1980): *Corporate Planning and Policy Design: A System Dynamics Approach*, Cambridge, Mass.: Pugh-Roberts Associates.
- Mass, Nathaniel J., ed. (1974): *Readings in Urban Dynamics: Volume 1*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Mass, Nathaniel J. (1975): *Economic Cycles: An Analysis of Underlying Causes*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William W. Behrens III (1972): *The Limits to Growth*, New York, Universe Books.
- Meadows, Dennis L. (1970): *Dynamics of Commodity Production Cycles*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Meadows, Dennis L., and Donella H. Meadows, eds. (1973): *Toward Global Equilibrium: Collected Papers*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Morecroft, John D. W. (1983): «System Dynamics: Portraying Bounded Rationality», *Omega* 11, no. 2: 131-42.
- Morecroft, John D. W., D. C. Lane, and P. S. Viita (1991): «Modelling Growth Strategy in a Biotechnology Startup Firm», *System Dynamics Review* 7, no. 2: 93-116.

- Ogata, K. (1970): *Modern Control Engineering*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall.
- Pugh, Alexander L., III (1986): *Professional DYNAMO Plus Reference Manual*, Software manual, desktop PC computers, Pugh-Roberts Associates, 41 William Linskey Way, Cambridge MA 02142.
- Randers, Jorgen, ed., (1980): *Elements of the System Dynamics Method*, Portland, Ore.: Productivity Press.
- Richardson, George P. (1991): *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- Richardson, George P., and Alexander L. Pugh III (1981): *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Roberts, Edward B. (1964): *The Dynamics of Research and Development*, New York: Harper and Row.
- Roberts, Edward B. (1978): *Managerial Applications of System Dynamics*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Roberts, Nancy (1975): *A Dynamic Feedback Approach to Elementary Social Studies: A Prototype Gaming Unit*, Ph. D. thesis, Boston University, Boston, Mass.; available from University Microfilms, Ann Arbor, Mich.
- Roberts, Nancy. (1978): «Teaching Dynamic Feedback Systems Thinking: An Elementary View», *Management Science* 24, no. 8: 836-43.
- Roberts, Nancy, David Andersen, Ralph Deal, Michael Garet, and William Shaffer (1983): *Introduction to Computer Simulation: A System Dynamics Modeling Approach*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Schecker, Horst P. (1993): «The Didactic Potential of Computer Aided Modeling for Physics Education», in D. L. Ferguson, ed., *Advanced Educational Technologies of Mathematics and Science*, Berlin, Springer-Verlag.
- Schroeder, Walter W., III, Robert E. Sweeney, and Louis Edward Alfeld, eds. (1975): *Readings in Urban Dynamics, Volume 2*, Portland, Ore., Productivity Press.
- Senge, Peter M. (1977): *Statistical Estimation of Feedback Models», Simulation* 28, no. 6, 177-84.
- Senge, Peter M. (1978): *The System Dynamics National Model Investment Function: A comparison to the Neoclassical Investment Function*, Ph. D. thesis, Sloan School of Management, MIT, Cambridge, Mass.
- Senge, Peter M. (1990): *The Fifth Discipline*, New York, Doubleday.
- Simon, Herbert A. (1976): *Administrative Behavior*, New York: Free Press.
- Simon, Herbert A. (1979): «Rational Decision Making in Business Organizations», *American Economic Review* 69, no. 4: 493-513.
- Simon, Herbert A. (1982): *Models of Bounded Rationality (two volumes)*, Cambridge, MIT Press.
- Sterman, John D. (1985): «A Behavioral Model of the Economic Long Wave», *Journal of Economic Behavior and Organization* 6, 17-53.

- Sterman, John D. (1986): «The Economic Long Wave: Theory and Evidence», *System Dynamics Review* 2, no. 2: 87-125.
- Sterman, John D. (1989a): «Misperceptions of Feedback in Dynamic Decision Making», *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 43, no. 3: 301-35.
- Sterman, John D. (1989b): «Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment», *Management Science* 35, no. 3: 321-39.
- Sterman, John D. (1989c): *The People Express Management Flight Simulator*, available from the author, Sloan School of Management, MIT, Cambridge MA 02142.
- Wolstenholme, Eric F. (1990): *System Enquiry: A System Dynamics Approach*, Chichester, England, John Wiley & Sons.

ABSTRACT

All simulation models are based on explicit groups of policies (or rules) that govern the decisions that are made in agreement with the conditions that determine what is being modelled in the system. The decision-making process consists of three parts: the formulation of a group of concepts that indicate the desired conditions; the observation of those conditions that seem to be the actual ones; and the generation of corrective action that aligns the apparent conditions with the desired ones. The model should generate the true conditions of the implicit variables. Nevertheless, these true conditions are not available to the people in the actual system and, therefore, should not be used to make decisions in the model. The distorted and outdated information about actual conditions constitutes the basis for creating the values of the desired conditions as well as the apparent ones. The corrective action will be rendered outdated and distorted by the system before influencing actual conditions and, as a consequence, apparent ones. In the modelisation of transactions and economic behaviour as well as in the representation of policies and decision-making, all types of information — not only numerical data — ought to be used. In mental databases, built from experience and observation, rich and abundant information is available on leading policies and economic structures.

Key words: simulation models, system dynamics, policies.