

# Modelización de Variables Soft

Adriana Ortiz, Jose Maria Sarriegi y Javier Santos \*

---

## *Resumen*

En este trabajo se analizan las características de las variables *soft* y las particularidades que, para su estudio, presentan los paradigmas de modelización Econometría, Dinámica de Sistemas y Modelización Basada en Agentes. Con el objeto de analizar las ventajas y desventajas de cada paradigma de modelización frente al tratamiento de variables *soft* se presenta la exploración de un caso modelizado en dichos paradigmas. Se concluye que si bien la Econometría presenta características interesantes para complementar la Dinámica de Sistemas, esta última y la Modelación Basada en Agentes son más adecuadas para incorporar variables *soft*.

## *Abstract*

This paper analyzes the modeling of soft variables and compares the way how the econometric, the system dynamics and the agent based modeling paradigms approach them. An exemplary case is used to compare the three approaches. It is found that System Dynamics and Agent Based Modeling are more suitable for representing soft variables than Econometric modeling.

*Palabras Claves:* Variables Soft, Modelización, Paradigmas, Econometría, DS, MBA.

## **Introducción**

Actualmente, recursos intangibles como el know-how de los empleados, el capital intelectual y el conocimiento son reconocidos como parte fundamental para la creación de valor de las organizaciones.

Autores reconocidos en la literatura de gestión empresarial como Tidd (2000), Hall y Andriani (1998), Sveiby (1997), Kaplan y Norton (1997), Nonaka y Takeuchi (1995), Prahalad y Hamel (1990), y coinciden en afirmar que los factores que generan ventaja competitiva sostenible a las organizaciones son de naturaleza intangible.

\* Tecnun - Universidad de Navarra

Emails: amortiz@tecnun.es, jmsarriegui@tecnun.es, jsantos@tecnun.es

Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 2 Núm. 1 (Marzo 2006), p. 67-101

*Recibido Diciembre 2005*

*Aceptado Febrero 2006*

---

La intangibilidad que caracteriza estas nuevas fuentes de ventaja competitiva, hace especialmente difícil su medición y gestión. Estos factores son ampliamente conocidos en la literatura de gestión como recursos intangibles y a pesar de los esfuerzos que se han hecho por medir este tipo de variables *soft*, la información sobre ellos sigue siendo escasa (Andriessen, 2004).

Día a día los gestores toman decisiones estratégicas relacionadas con factores intangibles de los que poca información cuantitativa se posee. Razón por la cual la mayor parte de estas decisiones se basan sólo en la experiencia, la información y el modelo mental de los gestores (Doyle y Ford, 1999).

En este contexto, la modelización de sistemas se presenta como una herramienta de ayuda (Bradl, 2003), ya que la construcción de modelos proporcionaría un mayor entendimiento y más información sobre la gestión de intangibles.

De esta forma la toma de decisiones estratégicas podría apoyarse no sólo en la experiencia y formación de los gestores, sino también en el aprendizaje que les pueda aportar la modelización.

En lo que a modelización se refiere, los recursos intangibles son conocidos como “*variables soft*” y se caracterizan por que su cuantificación es compleja. Estos recursos se crean y desarrollan en el entorno empresarial, que es dinámico por naturaleza.

Esta característica dinámica del sistema empresa, es la que lleva a la utilización de modelos dinámicos para el estudio de las variables *soft*.

En la última década se han publicado una gran variedad de modelos dinámicos que incluyen variables *soft* (Repenning y Sterman, 1994; Zahn, Dillerup y Schmid, 1998; Oliva y Sterman, 2001; Warren, 2002). La mayor parte de éstos han sido construidos bajo el paradigma de Dinámica de Sistemas (DS).

La ausencia de modelos que incluyen variables *soft* en otros paradigmas de modelización se debe quizás a que algunos de éstos construyen los modelos a partir de datos históricos, como por ejemplo, la Econometría, o porque son paradigmas relativamente nuevos de los que se conocen pocas publicaciones, como es el caso de la Modelización Basada en Agentes (MBA).

Ante esta situación, se concluye que a pesar de las dificultades que implica el manejo de variables *soft*, la construcción de modelos que incluyan este tipo de variables, puede ser de gran ayuda para los gestores. Por tanto, el objeto de esta investigación es buscar formas de mejorar el proceso de modelización de las variables *soft*.

---

## Objetivos

El objetivo de este trabajo se sitúa en el camino hacia la mejora de la construcción de modelos que incluyen variables *soft* y tiene dos propósitos fundamentales:

- Definir las características de las variables *soft* e identificar los problemas que afronta su modelización.
- Identificar las aportaciones y las dificultades de cada paradigma para la modelización de variables *soft*.

Para este último propósito, se utiliza la exploración de un caso modelizado en los paradigmas de Econometría, Dinámica de Sistemas y Modelización Basada en Agentes.

## Variables *Soft*

### *Definición*

Se define variable *soft* como aquella variable de la que no se tienen datos numéricos disponibles, e incluyen factores como características cualitativas, percepciones y expectativas concernientes a una persona o cosa.

Las características fundamentales de una variable *soft* se pueden resumir en:

1. Carecen de sustancia física.
2. No pueden ser medidas de forma directa.
3. Las leyes que determinan su dinámica de cambio tienen que ver con relaciones complejas causa-efecto de carácter no lineal y con existencia de retrasos.

Entre las variables *soft* se incluyen la motivación, la percepción de calidad, la habilidad para gestionar o la reputación de la organización, que son ampliamente conocidos en la teoría organizacional como “intangibles”.

Además de algunos proyectos europeos, como el proyecto Meritum (1998-2001), existen trabajos como la Norma Internacional Contable (IAS), presentada en 1998 por la IASC<sup>a</sup>, en donde se aborda la contabilidad y divulgación de activos intangibles, que demuestran la creciente importancia de este tipo de variables *soft*.

---

<sup>a</sup> IASC, la International Accounting Standard Commite, fue creada en 1973 con el objetivo de mejorar la presentación de informes financieros utilizados por las empresas y otras organizaciones de todo el mundo.

Según la IAS, los intangibles pueden ser clasificados en los siguientes tres grandes grupos:

- a. Los adquiridos por terceros de forma individualizada.
- b. Los adquiridos como parte de un negocio.
- c. Los activos intangibles generados internamente.

Hall y Andriani (1998) presentan otra clasificación de intangibles que se ilustra en la tabla 1:

Protección legal	Posición de la empresa	Capacidades funcionales	Por cultura organizacional
Patentes	Reputación de la empresa.	Habilidades individuales.	Habilidad para administrar el cambio.
Derechos de autor	Reputación de los productos.	Conocimientos del personal.	Habilidad para innovar.
Secretos Industriales	Redes de distribución.	Experiencia.	Habilidad de trabajo en equipo.

Tabla 1: Clasificación de Intangibles por Hall y Andriani, 1998

Utilizando el término Capital Intelectual, Sveiby (1997) clasifica los intangibles en tres grupos: Los de estructura interna, estructura externa y los que tienen que ver con las capacidades individuales. Cada grupo, a su vez, se divide de acuerdo con su función en: indicadores de Crecimiento y Renovación, indicadores de Eficiencia e indicadores de Estabilidad como se resume en la tabla 2.

Indicadores	Estructura Interna (EI)	Estructura Externa (EE)	Capacidades Individuales (CI)
Indicadores de crecimiento y renovación	-Inversión en EI. -Inversión en sistemas de procesamiento de información. -Clientes que contribuyen a la EI.	-Rentabilidad por cliente. -Crecimiento orgánico.	-Antigüedad en la profesión. -Educación. -Costes de formación. -Influencia de las rotaciones de personal.
Indicadores de eficiencia	-Proporción de empleados de soporte -Ventas por empleado. -Actitud de los empleados	-Tasa de clientes satisfechos. -Tasa de ofertas aceptadas. -Ventas por cliente.	-Proporción de profesionales. -Valor añadido por empleado. -Valor añadido por profesional.
Indicadores de estabilidad	-Antigüedad de la organización. -Tasa de renovación del personal. -Fracción de "novatos".	-Proporción de clientes grandes. -Antigüedad de los clientes. -Fracción de clientes "fieles". -Frecuencia de repetición de pedidos.	-Edad media. -Antigüedad. -Sueldo relativo. -Tasa de renovación profesional.

Tabla 2: Clasificación de intangibles por Sveiby, 1997

---

Warren (2002) comenta el impacto de los intangibles y añade que éstos pueden ser de dos tipos:

- a. Características o atributos asociados con recursos tangibles.
- b. Recursos “indirectos” que reflejan sentimientos y expectativas de personas, sobre asuntos que les conciernen.

La intangibilidad que caracteriza las variables *soft* o intangibles anteriormente mencionados, hace especialmente difícil su estimación. Por lo que generalmente son cuantificados a través del análisis de contenidos, entrevistas, encuestas y/o otras herramientas de análisis grupal.

#### *Modelización de Variables Soft*

A pesar los intentos por clasificar y medir los intangibles, la información que se posee sobre este tipo de variables *soft* aún sigue siendo escasa (Andriessen, 2004).

Mientras tanto, la toma de decisiones estratégicas sigue apoyándose sólo en el conocimiento y la experiencia, que constituyen los modelos mentales<sup>b</sup> de los gestores.

Aunque no cabe duda de que la experiencia y la formación de los gestores sea un recurso muy valioso, se considera que las decisiones que toman pueden estar influenciadas por múltiples factores, como relaciones de autoridad, contexto organizacional y presión (Sterman, 2000).

Con relación a este hecho Sterman (2000) añade que aunque los modelos mentales son más flexibles y pueden ser adaptados a nuevas situaciones, son extremadamente simples y defectuosos. En este contexto, los modelos por ordenador ofrecen ventajas, en cuanto a que son explícitos, permiten tener en cuenta más información e interrelacionar muchos factores simultáneamente. Las simulaciones son efectivas para los sistemas de pensamiento (Sterman, 2002), ya que ayudan a construir nuestra intuición y a mejorar nuestra capacidad mental.

De acuerdo con las ventajas que ofrecen los modelos por ordenador, se considera que la modelización podría aportar más información útil a la gestión de intangibles y al proceso de toma de decisiones. De ésta forma los gestores podrían apoyarse no sólo en la información que les puede proporcionar su experiencia y su formación, sino también en la información que les pueda aportar el modelo construido.

---

<sup>b</sup> Doyle y Ford (1999), definen modelo mental como “una durable y accesible, pero limitada, representación conceptual interna de un sistema (histórico, existente o proyectado), cuya estructura es parecida a la estructura percibida del sistema”.

---

Sin embargo, la imposibilidad de medir de forma directa, entre otras características de las variables *soft*, hace especialmente difícil su modelización. Por lo que algunos autores han indicado la dificultad para evaluar la fiabilidad, el realismo y la objetividad de los modelos que incluyen variables *soft* (Coyle, 1998; Jacobsen y Bronson, 1987; Reyes y Andersen, 2003).

En respuesta a estas críticas, Forrester<sup>c</sup> y Richardson (2001) han insistido en la necesidad de incluir este tipo de variables en los modelos. Consideran que omitir una variable *soft*, porque ésta no puede ser medida con precisión, es un error mucho mayor que el derivado de no incluirla según la limitada información que se pueda tener de expertos sobre el tema.

En adición, Sterman (2002) resalta los siguientes puntos en relación a las variables *soft* en los modelos dinámicos:

- Las variables *soft* deben ser incluidas si éstas son importantes para la finalidad del modelo.
- Se debe realizar un análisis de sensibilidad para considerar cómo podrían haber cambiado las conclusiones obtenidas con el modelo si se hubieran utilizado otros posibles supuestos.
- Es importante usar métodos estadísticos apropiados para estimar parámetros o medir la habilidad del modelo para replicar datos históricos, si los hubiera.

#### *Problemas de Modelización de Variables Soft*

En los paradigmas de Econometría y Modelización Basada en Agentes se desconoce la existencia de modelos que incluyan variables *soft*. Probablemente esto se deba a la restricción presente en Econometría de modelizar en base a datos históricos y a que el paradigma de Modelización Basada en Agentes es relativamente nuevo y hasta hace poco no se empezaron a conocer trabajos que resalten sus ventajas.

En la comunidad de Dinámica de Sistemas, la incertidumbre asociada a la medición de variables *soft* ha provocado que expertos consideren erróneos o poco probables los resultados obtenidos (Coyle, 2000). Éste ha sido un punto de partida de algunos cuestionamientos sobre la fiabilidad de los modelos que incluyen este tipo de variables en la lista de discusión (Coyle, Somenson, Nuthmann, Campbell, Richardson)

Coyle (1998) hace especial mención a los problemas que implica la medición de variables *soft* en Dinámica de Sistemas, y basa su argumento en la siguiente afirmación: “Por persistir en medir lo que no puede ser

---

<sup>c</sup> Lista de discusión de la Comunidad de Dinámica de Sistemas.  
<http://www.vensim.com/DSmail/DSinfo.html>

---

medido nos arriesgamos a construir modelos inexactos y quizás con fundamentos erróneos”.

Sterman (2002), Richardson y Forrester (en la lista de discusión), objetan resaltando la importancia que tienen las variables *soft* en la gestión y consideran que es mejor explotar las aproximaciones que resulten en base a la experiencia, frente a no hacer un intento por medir las variables *soft* y dejar las decisiones estratégicas sólo a cargo de la intuición y la experiencia de los gestores. Estos autores también resaltan que omitir por falta de información estructuras o variables que se sabe son importantes para el sistema modelizado, es menos científico y menos preciso que utilizar la experiencia para estimar sus valores. La cuestión no es si es posible incluir las variables *soft* en los modelos sino cuándo es necesario incluirlas y cómo deben ser medidas.

De acuerdo con Randers (1980), el proceso de modelización puede ser dividido en cuatro fases: conceptualización, formulación, evaluación e implementación.

En cada fase del proceso de modelización los problemas para incluir variables *soft* se hacen visibles de forma diferente. Sin embargo, la ambigüedad ocasionada por la inclusión de estas variables depende, en esencia, de su naturaleza intangible.

En la fase de **conceptualización**, es importante escoger y definir las variables más importantes para el sistema a modelizar. Se presentan dificultades para reconocer la necesidad de incluir las variables *soft*, ya que al ser variables que tienen efectos a largo plazo puede ser difícil reconocer su influencia a primera vista.

En esta fase se pueden utilizar herramientas de *Soft Modelling*, como las definidas por Coyle (2000) y los diagramas causales utilizados en Dinámica de Sistemas para representar los conceptos y las relaciones entre las variables clave del sistema modelizado.

Independientemente del paradigma de modelización utilizado, la **formulación** es quizás la fase más complicada para el manejo de variables *soft*. En éste se define la estructura del modelo y los problemas se derivan especialmente de no poder medir las variables *soft* de forma directa. Este hecho obliga a tener que definir las variables en función de indicadores de los cuales puede ser muy difícil conseguir datos reales, por lo que, en ocasiones, se establece una medida categórica dada, según la experiencia y la intuición.

Jacobsen y Bronson (1987) consideran que la operacionalización, nombre con el cual se refieren al proceso de convertir conceptos en datos observables, es un punto clave para la modelización. Además, los errores que se añaden en la operacionalización se multiplican cuando en un modelo aparece más de una variable *soft*.

Generalmente, una variable *soft* se mide mediante un indicador en función del cual puede variar dentro de un rango de valores. En ocasiones, el valor que se le asigna dentro del rango permitido no está claramente definido y justificado. Por tanto, el cálculo de una variable *soft* involucra una alta subjetividad y error que se multiplica al considerar que esta variable puede tener influencia sobre una segunda (Coyle, 2000).

Por ejemplo, si se considera que la fatiga es una variable *soft* que depende de las horas extras que realiza una persona y que a su vez la fatiga es uno de los factores que afecta al clima laboral, el error de medición aumenta.

En la tercera fase del proceso de modelización se encuentra la **evaluación**. Consiste en dar un paso hacia atrás para validar si las hipótesis dinámicas cumplen con los modos de referencia y los supuestos definidos en la primera etapa. En esta etapa, los problemas de la modelización de variables *soft* están relacionados con la dificultad de establecer las relaciones de las variables *soft* y la imposibilidad para contrastar los resultados con datos reales.

Finalmente, en la etapa de **implementación**, se prueba con diferentes políticas y escenarios para estudiar los comportamientos que se generan. Los dos puntos que ocasionan problemas son: la mala interpretación de los resultados y la falta de credibilidad en los resultados. Al igual que en los anteriores fases, la mala interpretación de los datos es causada por la dificultad para establecer la relación que tienen las variables *soft* con las demás variables del modelo. En adición a este hecho, la ausencia de datos reales imposibilita la evaluación de los resultados.

En resumen los problemas de la modelización de variables *soft* representados en las cuatro fases del proceso de modelización se presentan en la figura 1:

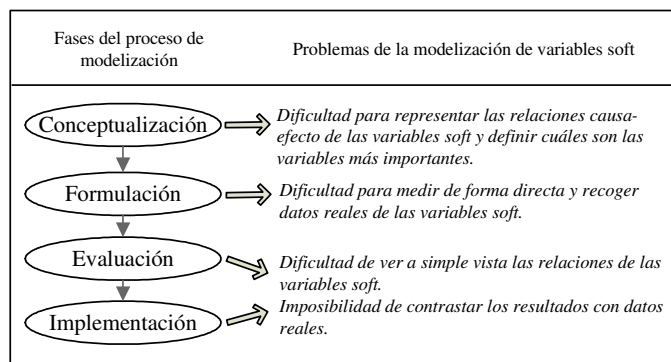


Figura 1: Problemas de la modelización de Variables *Soft*

### Paradigmas de Modelización

Dependiendo del propósito para el cual se construye un modelo y de las características del fenómeno a estudiar, puede tener más aplicabilidad

---

uno u otro paradigma de modelización. Incluso, en algunos temas, el hecho de trabajar con dos enfoques diferentes puede ser de gran utilidad (Lorenz y Bassi, 2004).

Los distintos paradigmas de modelización utilizan algunos conceptos en común, como el significado de sistemas, teorías matemáticas y el rol de los modelos en la toma de decisiones.

No obstante, cada uno emplea sus propias teorías, técnicas matemáticas, lenguajes y procedimientos para construir y validar los modelos que desarrollan. Estas particularidades son las que de una u otra forma determinan la potencialidad de cada paradigma para el estudio de temas específicos.

En recientes trabajos de investigación se han planteado criterios de comparación de paradigmas de modelización, como Econometría (Econometric models), Dinámica de Sistemas (System Dynamics, DS), Simulación Basada en Eventos, (Discrete Event, SBE) y Modelización Basada en Agentes (Agent Based Modeling, MBA).

En cuanto a las comparaciones entre los modelos Econométricos y los de DS, los econométricos critican la falta de rigurosidad de DS para la operacionalización<sup>d</sup> de conceptos y la incertidumbre estadística. No obstante, los modelizadores de DS, inciden sobre la pérdida de realidad de los modelos econométricos en el intento por representar sistemas que se ajusten al uso de métodos estadísticos.

Por otra parte, Borshchev y Filippov (2004) y Morecroft (2005) incluyen en sus trabajos comparaciones entre DS y SBE. Afirman que la principal diferencia entre DS y SBE se basa en que en DS los modelos son determinísticos, es decir, en DS es la estructura de los modelos la que genera el comportamiento. En cambio en SBE, es la aleatoriedad de las variables la que determina la complejidad del comportamiento. El paradigma de modelización SBE no es analizado en detalle en este trabajo y se considera incluido dentro del estudio de MBA, ya que éste es un método de simulación híbrida, visto como una evolución de SBE.

Por otra parte, Scholl (2001) da pie al comienzo de discusiones y trabajos de investigación sobre diferencias entre DS y MBA, promoviendo la participación en estudios sobre el tema.

Schieritz y Gröber (2002) defienden el MBA como el mejor paradigma para el manejo de los conceptos de “emergencia y complejidad”. En consecuencia Lorenz y Bassi (2004) aceptan como válido que MBA puede trabajar mejor en lo que se refiere a los procesos de adaptación, pero a su vez resaltan a favor de DS la simplicidad de su lenguaje, característica a la que denominan “comprensibilidad” por parte del cliente

---

<sup>d</sup> Concepto utilizado por Jacobsen and Bronson (1987) para referirse al proceso de convertir conceptos en comportamientos o datos observables que un investigador pueda medir.

---

del modelo (en inglés, *comprehensibility*). En este sentido, resulta más difícil el entendimiento de las relaciones entre variables y el funcionamiento general en el paradigma de MBA.

Rahmandad (2004), por su parte añade a la comparación entre DS y MBA el concepto de heterogeneidad y estructura de red. Este autor apunta que los modelos en MBA incorporan heterogeneidad en los atributos de los agentes y en la estructura de las interacciones. El bajo nivel de agregación que utiliza MBA, permite que los modelos sean capaces de capturar el aprendizaje, el comportamiento y la dinámica de sistemas complejos. No obstante, esta misma característica puede disminuir la comprensibilidad de los resultados que se obtienen.

### *Econometría*

La econometría parte de la teoría económica y utiliza técnicas cuantitativas y conceptos de la economía y la estadística para analizar sucesos económicos. Sus modelos pueden ser usados para análisis estructural, para predecir o para experimentar los efectos de políticas alternativas.

Una de las principales características de este paradigma, es la verificación estadística de la estructura y los parámetros del modelo. Esto implica que cada variable analizada en el modelo debe tener las suficientes mediciones históricas, de tal forma que permita realizar la estimación cuantitativa de las relaciones con otras variables.

Debido a este requerimiento se tiende a eliminar información de los modelos, especialmente la que tiene que ver con el comportamiento humano que motiva las decisiones.

La formulación de un modelo econométrico puede dividirse en dos fases secuenciales. En la primera fase se identifica el problema y se define su trayectoria. En esta fase la precisión cuantitativa es innecesaria y probablemente inalcanzable puesto que la información disponible aún no es suficiente para decidir qué elementos del sistema son significativamente importantes y cómo están relacionados (Pulido, 1989).

En la segunda fase, se define la formulación de las variables, las relaciones entre éstas y la estructura del modelo. Al contrario que la primera, en ésta fase la precisión cuantitativa tiene mayor importancia, ya que en esta se estiman los valores de los parámetros de las ecuaciones. La principal técnica usada para obtener los parámetros de los modelos econométricos es la estimación de mínimos cuadrados (MC). MC es un método que genera un grupo de parámetros que mejor se adaptan a un postulado general de relaciones para datos históricos y que, además, proporciona una medida cuantitativa del ajuste a dicho postulado.

---

Los requerimientos teóricos y matemáticos de este método hacen que los modelos econométricos deban recurrir a ecuaciones lineales y algunas otras restricciones estructurales.

En lo que se refiere al tipo de modelos econométricos que se pueden construir, se podrían clasificar en dos grandes grupos según el número de ecuaciones que utilizan: uniecuacionales y de ecuaciones múltiples. Los modelos uniecuacionales son modelos de una única ecuación e incluyen el modelo lineal general y modelos de series temporales como: modelos autoregresivos (AR), de medias móviles (MA), modelos ARMA<sup>e</sup> y modelos ARIMA<sup>f</sup>. Los modelos de ecuaciones múltiples, son los que contienen más de una ecuación y pueden ser de bloques recursivos o de ecuaciones simultáneas. En la tabla 3 se resume la clasificación de los modelos econométricos según el número de ecuaciones que manejan:

---

<sup>e</sup> Los modelos ARMA , integran los modelos AR y MA en una única expresión. Por tanto, la variable queda expresada en función de los sus valores pasados y de los errores cometidos en la estimación.

<sup>f</sup> Los modelos ARIMA equivalen a un modelo ARMA que se le aplica a una serie a la que es necesario integrar  $d$  (orden) veces para eliminar la tendencia. Posibilita el tratamiento de series temporales que correspondan a realizaciones de procesos estacionarios.

Modelos uniecuacionales	Modelo lineal general
	Modelos de series temporales
Modelos ecuaciones múltiples	En cadena causal
	Bloque recursivos
	Ecuaciones simultaneas

Tabla 3: Modelos econométricos

Los modelos econométricos también pueden manejar relaciones de realimentación a través de las variables retrasadas y las fórmulas que se utilizan no son esencialmente diferentes de las manejadas por los modelos de DS.

La función conocida en DS como *smooth*<sup>g</sup>, es un ejemplo de similitud de la formulación matemática en DS y Econometría.

Algunas ventajas que se pueden resaltar de los modelos econométricos son:

- *Clasificación de variables:* En los modelos econométricos, se pueden distinguir explícitamente las variables que se estudian en el modelo (endógenas) de las que no (exógenas).
- *Utilización de métodos estadísticos para la validación:* Por el hecho de utilizar datos históricos de las variables es posible realizar cálculos estadísticos para validar el modelo.

A continuación, se resumen también las principales desventajas que presenta el paradigma:

- *Limitaciones para construir modelos sin datos reales:* La mayoría de sistemas empresariales están influenciados por factores que, en la realidad, no son medidos ni controlados. Por esta limitación, en la construcción de los modelos, se omiten con frecuencia variables que son importantes para el estudio del sistema y cuya ausencia puede conducir a soluciones parciales.
- *Limitaciones para la formulación de relaciones complejas:* Los supuestos de homocedasticidad<sup>h</sup> y correlaciones, entre otros, dificultan el tratamiento de las relaciones complejas. Como consecuencia, los modelos econométricos tienden a representar modelos con alta linealidad y cerrados.

<sup>g</sup> Smooth, es una función utilizada en Dinámica de Sistemas para calcular percepciones promedios o representar expectativas.

<sup>h</sup> Termina con el que se explica la varianza constante en las perturbaciones.

- 
- *Pérdida de visión sistémica y realidad:* El intento por representar sistemas que se ajusten a los métodos matemáticos como los utilizados para el cálculo de los parámetros y la validación de los modelos, puede llevar a la pérdida de visión sistémica.
  - *Complejidad y difícil entendimiento de los modelos dinámicos:* La construcción de un modelo dinámico en econometría implica el manejo de un mayor número de ecuaciones que incluyen un mayor número de variables correlacionadas. Ésta condición eleva la complejidad y dificulta el entendimiento de los modelos. Además, los modelos econométricos sólo se apoyan en la representación mediante ecuaciones que resulta más difícil de comprender y más lejana al funcionamiento natural de los sistemas.

#### *Dinámica de Sistemas*

DS es un paradigma de modelización de carácter estructuralista que permite reproducir patrones de comportamiento de sistemas complejos (Meadows, 1980).

La estructura global de los modelos en DS se establece mediante bucles de retroalimentación, que son circuitos cerrados de relaciones causales que pueden ser negativos o positivos. Éstos a su vez se componen de variables de nivel, de flujo y auxiliares. Las variables de nivel, representan el estado del sistema en un momento dado. Las variables de flujo, son las que determinan las acciones que cambian el estado del sistema y finalmente, las variables auxiliares, se utilizan para facilitar los pasos intermedios en la formulación de los flujos.

Matemáticamente un modelo en DS es un sistema de ecuaciones diferenciales de tipo:

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = FE_i(t) - FS_i(t) \quad i=1 \dots n$$

$$\text{ó } N_i(t) = N_i(0) + \int_0^t [FE_i(t) - FS_i(t)] dt$$

Donde  $N$ , representa el valor de una variable en un momento dado, que se modificada en el tiempo por el flujo de entrada (FE) y el flujo de salida (FS).

Posteriormente algunos programas resuelven las ecuaciones por métodos numéricos, como el método de Euler.

Gráficamente, un modelo en DS se representa en forma de proceso, como se muestra en la figura 2.

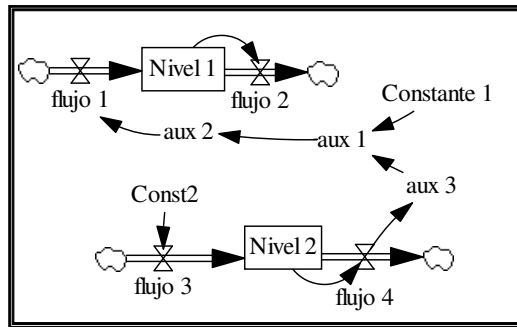


Figura 2: Representación gráfica de los modelos en DS

Debido al carácter estructuralista de DS, se entiende que la evolución temporal de las variables del sistema modelizado deriva del número de bucles, sus tipos y la forma en que se combinan en el sistema.

Las principales ventajas de DS son:

- *Simplicidad para construir un modelo:* Para una persona con experiencia, construir un modelo en DS, es un proceso relativamente sencillo. Esta característica facilita la replicabilidad de los modelos y permite evaluar políticas fácilmente.
- *Visión global del sistema y relaciones entre variables:* DS utiliza una representación gráfica de los elementos y de las relaciones entre variables que facilita la visión holística<sup>i</sup> del modelo.
- *Flexibilidad:* DS permite construir un modelo sin datos históricos de sus variables y genera los datos a partir de simulaciones repetidas (calibración).
- *Utilización de herramientas:* DS utiliza herramientas para estudiar los sistemas a modelizar con la participación de profesionales del tema.

Entre las desventajas de DS se encuentran:

- *Dificultad para representar heterogeneidad:* Aunque es posible construir modelos con heterogeneidad en DS, resultan ser modelos de difícil manejo e interpretación por la cantidad de variables de nivel y flujo que incluyen.
- *Dificultad para representar el concepto de emergencia<sup>j</sup>:* Los modelos en DS manejan niveles medio-altos de agregación que inhabilitan el concepto de emergencia.

<sup>i</sup> Relativo a la visión integral del conjunto de partes de un sistema.

<sup>j</sup> Concepto que aparece en la teoría de la complejidad y es utilizado por Epstein y Axtell(1996) para denotar patrones de comportamientos de los que se puede ver

- 
- *Facilidad de manejo del software:* El *software* utilizado para la construcción de los modelos es muy fácil de manejar. De esta forma cualquier persona sin una base sólida de los principios del paradigma, podría construir modelos que lleven a conclusiones erróneas y al mal conocimiento del paradigma.

### *Modelización Basada en Agentes*

En MBA, un sistema es modelado como una colección de entidades autónomas, llamadas agentes, que evalúan su situación y toman decisiones en base a los atributos y reglas que se les asigna.

MBA es un paradigma de modelización que ha sido recientemente usado para describir fenómenos sociales (Borshchev y Filippov, 2004).

Los modelos de MBA están compuestos por tres elementos principales: los agentes, el entorno y las reglas. Los agentes son las personas o entidades de las sociedades artificiales<sup>k</sup>. El entorno es el medio o espacio abstracto sobre el cual los agentes interactúan, y las reglas son pautas de comportamiento para los agentes y para el entorno, que pueden ser de tipo: agente-entorno, entorno-entorno y/o agente-agente (Epstein y Axtell, 1996).

El supuesto clave que maneja este paradigma es que el comportamiento global del sistema resulta de las interacciones locales de los agentes y, por tanto, no existe un control global del sistema.

Según Bonabeau (2002) y las conclusiones del Workshop de Agents Based Modeling: Why bother? de la International Conference of the System Dynamics Society, Boston 2005 las ventajas y desventajas de MBA se pueden resumir en:

#### Ventajas:

- *Proporciona una descripción natural del sistema:* MBA representa los sistemas como un conjunto de entidades que realizan actividades en función de sus características. Describir y simular un sistema por eventos, resulta más natural y cercano a la realidad, que describir un sistema por procesos.
- *Incorpora heterogeneidad y discontinuidad en los agentes:* Permite definir agentes con diferentes características que, además, podrían ser modificadas en el tiempo por la ocurrencia de un evento.

---

a simple vista que son generados por las interacciones locales de los individuos autónomos que conforman el sistema.

<sup>k</sup> Término utilizado para referirse a los modelos de procesos sociales MBA.

- 
- *Captura el fenómeno emergente:* MBA captura el fenómeno emergente porque permite definir reglas de comportamiento según las cuales los agentes interactúan para generar el comportamiento global del sistema. Esta ventaja hace que mediante MBA se puedan tratar comportamientos individuales más complejos como el aprendizaje o la adaptación
  - *Flexibilidad:* La flexibilidad en MBA se denota por la posibilidad de definir reglas o eventos que pueden modificar los patrones de comportamiento en el tiempo.
  - *Espacio:* MBA permite crear un espacio abstracto donde los agentes interactúan en función de la distancia. Facilita así la formación de clusters o grupos de agentes.

Algunas desventajas de MBA son:

- *Falta de representación de los bucles realimentados:* A diferencia de DS, MBA no maneja el concepto de bucle realimentado. Como consecuencia, es difícil ver la forma en la que responde el modelo a los eventos.
- *Dificultad para manejar y replicar:* Dado que para la construcción de los modelos MBA utiliza la programación orientada a objetos (POO), éstos resultan más difíciles de replicar.
- *Perdida de control del sistema:* Si bien esta característica resulta ser una ventaja por la posibilidad de trabajar el concepto de emergencia, resulta ser una desventaja por la dificultad que implica para determinar la causa de algunos comportamientos.

## **Presentación del Caso**

### *Objetivo del Caso*

La construcción de este caso tiene como propósito fundamental estudiar el método de modelización de cada paradigma, para posteriormente analizar las ventajas y desventajas que cada uno proporciona en el caso concreto de la modelización de variables *soft*.

### *Diseño del Caso*

El caso modelizado consiste en una empresa en la que se considera el efecto de las variables *soft* “Clima Laboral” y “Formación” sobre la variable “Productividad”.

Se fundamenta en la teoría organizacional y las características definidas para la empresa a modelizar son las siguientes:

- 
- Empresa dedicada al desarrollo de *software*.
  - Total de personas que trabajan: 10, donde 6 son Juniors, 3 Consultores y 1 Socio.
  - Producción actual: 5 casos/semana: 20 casos/mes
  - La política de la empresa en cuanto a horas de formación, establece un mínimo de 4 horas/semana-persona (16 horas/mes-persona).
  - El rendimiento planificado por persona es de 1 caso cada 60 horas, y se asume que el clima laboral influye sobre la eficiencia.

El modelo tiene en cuenta que si son necesarias más horas de trabajo para desarrollar casos, el tiempo dedicado a la formación de las personas disminuye, sin que pueda salirse de los límites definidos por la política de la empresa. El horizonte a simular es de cinco años (48 semanas por año) 240 semanas en total.

En resumen, el supuesto clave es que el clima laboral y el nivel de formación modifican el factor de productividad por persona que, en definitiva, es el que determina el número de casos terminados.

### *Modelos*

La construcción de los modelos para el caso propuesto, está limitada por la falta de datos reales. No obstante, se opta por utilizar los conocimientos de teoría organizacional y consultar a un experto sobre el planteamiento del modelo y los modos de referencia que se utilizaron como guía.

Inicialmente, se construyó el modelo en el paradigma de DS, que posteriormente serviría como guía para construir los modelos de Econometría y MBA.

Debido a que en Econometría no se puede construir un modelo sin valores históricos (series temporales) de las variables, se utilizaron los datos generados por el modelo de DS para su reproducción.

A pesar de que el modelo econométrico no se considera idóneo para realizar simulaciones, su construcción resulta de aportación para el objetivo del caso, porque permite analizar las particularidades del paradigma de Econometría.

Para la simulación en DS y MBA se parte del estado de equilibrio en donde los valores para las variables claves son los siguientes:

---

VARIABLES	Valor	Unidades
Nuevos Casos	5	casos/semana
Casos Realizados	5	casos/semana
Casos en curso	15	casos
Media de Ultimos plazos	3	semanas
Horas Extras	0	horas/semana- persona
Horas Formación	10	horas/semana- persona
Media Horas Extras	0	horas/semana- persona
Clima Laboral	1	unidades
Capacitación	1	unidades

Tabla 4: Valores en estado de equilibrio

Se utilizaron los siguientes paquetes informáticos para la construcción del modelo en cada paradigma:

- El paquete estadístico SPSS para el modelo econométrico de ecuaciones múltiples.
- El programa Vensim para el modelo en Dinámica de Sistemas.
- El *software* Anylogic para la Modelización Basada en Agentes.

Según las posibilidades de cada paradigma, la información ha sido tratada como se indica en la tabla 5.

Para el análisis de sensibilidad del modelo se simularon diferentes escenarios junto con distintos pulsos de entrada para comprobar el funcionamiento de los modelos. Finalmente, las comparaciones entre los modelos de los tres paradigmas se hicieron en base al escenario con entrada aleatoria de nuevos casos entre los valores de [2-8] casos por semana, con un pulso de 20 casos en la décima semana.

Paradigma	Manejo de la información dada
Econometría, DS y MBA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La función de las horas de formación y horas extras está definida según la política de la empresa. Las horas de formación deben estar en el rango [4-10], sobre un total de 40 horas de trabajo semanales por persona.</li> <li>-Las horas extras no pueden superar las 4 horas/semana-persona.</li> <li>-Si llegan más casos de los que se pueden realizar, se rechaza la entrada a los nuevos.</li> </ul>
Econometría y DS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El clima laboral, formación y por tanto la productividad, se calculan como un promedio.</li> <li>- Los casos realizados se calculan en cada instante de tiempo en función del promedio de horas disponibles y del factor promedio de productividad.</li> <li>- Las horas dedicadas a formación y las horas extras se calculan a partir de la relación entre el plazo actual y el deseado.</li> </ul>
MBA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La carga de trabajo por trabajador es personalizada y en función de su rapidez de desempeño se le asigna más trabajo.</li> <li>-El clima laboral, la formación y la productividad, se calculan de forma individual.</li> <li>- Los casos realizados equivalen a la suma de los casos realizados por cada agente de forma individual.</li> <li>-Las horas extras y las dedicadas a la formación son calculadas por agente en función de la relación individual de plazos.</li> </ul>

Tabla 5: Tratamiento de la información en los modelos

## Análisis

### *Comparación de los Paradigmas de Modelización*

Autores como Schieritz y Milling (2003) han propuesto algunos criterios de distinción entre los paradigmas de DS y MBA. En adición a la propuesta de estos autores, el análisis del caso propuesto en este trabajo permite añadir las características de los modelos econométricos y menciona nuevos criterios de diferenciación como: el manejo del espacio, comprensibilidad, el objetivo de construcción del modelo y el manejo de heterogeneidad y redes.

En la tabla 6, se resumen los criterios de diferenciación entre los paradigmas de Econometría, DS y MBA, que se analizan a continuación.

Características	Econometría	DS	MBA
Formulación matemática	Ecuaciones con variables retrasadas	Ecuaciones Diferenciales	Lógica
Manejo del tiempo	Continuo	Continuo	Híbrido Eventos-Continuo
Representación gráfica	Ecuaciones	Bucles realimentados	Estructura de Agentes
Comprensibilidad	Compleja	Estructura visual	Bucles implícitos
Unidad de análisis	Parámetros	Estructura	Reglas
Cambio de comportamiento	Cambio de parámetros	Cambio de estructura	Cambio de estructura
Nivel de agregación	Alto	Medio-Alto	Bajo-Medio
Origen de la dinámica	Relaciones entre variables	Niveles	Eventos
Heterogeneidad y manejo de redes	No tratado	Complejo	Utilizado
Objetivo de elaboración	Predicción	Aprendizaje	Aprendizaje

Tabla 6: Criterios para la comparación de paradigmas de modelización

▪ *Formulación matemática y manejo del tiempo:* La descripción matemática para el caso en Econometría corresponde al manejo de un sistema de ecuaciones múltiples, con interacciones que pueden utilizar valores pasados de algunas variables. DS utiliza ecuaciones diferenciales con pequeños intervalos de tiempo para simular la continuidad. Al igual que en Econometría, DS no distingue eventos. MBA también utiliza ecuaciones diferenciales que hacen uso de pequeños intervalos de tiempo, pero en adición permite al modelizador definir funciones especiales para la ocurrencia de ciertos eventos que pueden cambiar de estado y modificar el comportamiento global del sistema.

▪ *Representación:* En Econometría, tanto el elemento central como la representación lo constituyen las ecuaciones. DS y MBA en adición, utilizan representación gráfica de los modelos, que facilita el entendimiento de las relaciones. La representación por estructura de agentes de MBA es más natural que la de DS, pero es más difícil establecer las relaciones entre las variables.

DS utiliza bucles realimentados que, aunque permiten conocer en cualquier instante las relaciones causa-efecto, resultan más difíciles de captar a simple vista.

La figura 3 muestra los modelos construidos en Econometría, DS y ABM para el caso propuesto. La parte correspondiente al modelo econométrico, detalla las 13 ecuaciones que lo constituyen y que

representan las variables exógenas, endógenas e identidades del caso modelado. El diagrama del modelo en DS se conoce como “diagrama de flujos y niveles”, que se utiliza para establecer las relaciones y definir las ecuaciones con las que se calcula el valor en el tiempo de las variables de nivel, de flujo y auxiliares.

Finalmente, en la figura 3 también se muestra la representación del modelo en ABM para el caso propuesto. Se compone de dos partes: a) Nivel agregado que contiene las variables que se calculan para la empresa como conjunto y b) Nivel desagregado, donde se calculan las variables según características y reglas individuales.

Modelo Econométrico	<p><b><u>Variables Exógenas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nuevos Casos = NC</li> <li>2. <math>\beta_1 = 40</math> horas/persona</li> <li>3. <math>\beta_2 = 10</math> personas</li> </ol>
	<p><b><u>Variables Endógenas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Capacitación  <math>Cap_t = 0.100 + 0.845Cap_{t-1} + 0.006(HF_{t-1} - Cap_{t-1}) + \varepsilon_{1t}</math></li> <li>5. Casos Realizados  <math>CR_t = -12.619 + 0.349(\beta_1 + HE_t - HF_t)\beta_2 P_t + \varepsilon_{2t}</math></li> <li>6. Productividad  <math>P_t = -0.191993127 - 0.234702212CL_t - 0.266346770CL_t^2 + 0.884556984Cap_t - 0.867509113Cap_t^2 + 0.842603295CL_t Cap_t + \varepsilon_{3t}</math></li> <li>7. Clima Laboral  <math>CL_t = 0.998 - 0.96MHE_t + \varepsilon_{4t}</math></li> </ol>
	<p><b><u>Identidades</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Horas Formación  <math>HF_t = 0.25 + 0.075(1 - RP_t)</math></li> <li>9. Relación de Plazos  <math>RP_t = \frac{MUP_t}{3}</math></li> <li>10. Casos en Curso  <math>CC_t = CC_{t-1} + NC_{t-1} - CR_{t-1}</math></li> <li>11. Media de últimos plazos  <math display="block">MUP_t = MUP_{t-1} + \frac{\left[ \left( \frac{CC_{t-1}}{CR_{t-1}} \right) - MUP_{t-1} \right]}{3}</math></li> <li>12. Horas Extras  <math>HE_t = 1.42857(RP_t - 1)</math></li> <li>13. Media de Horas Extras  <math display="block">MHE_t = MHE_{t-1} + \frac{(HE_{t-1} - MHE_{t-1})}{4}</math></li> </ol>

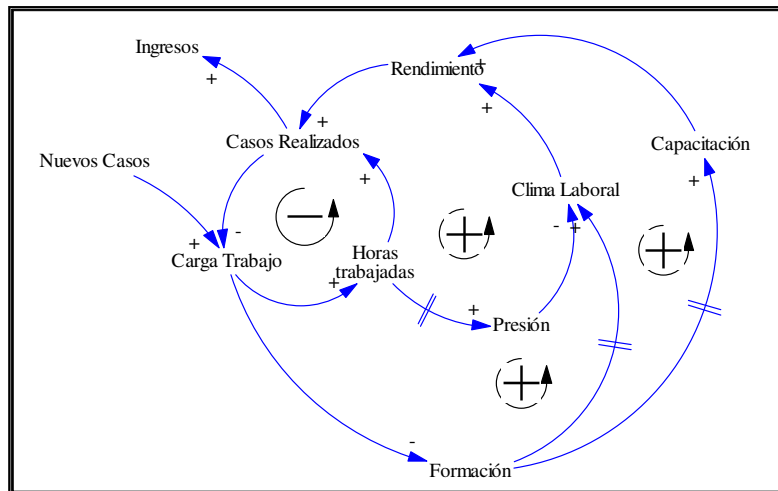




utilizada por DS resulta muy útil porque éstos permiten conectar siempre la causa-efecto y facilitan la comprensión de los resultados.

DS es un paradigma consolidado, en el que se han ido desarrollando distintas herramientas a fin de mejorar los problemas que resultan de la modelización de sistemas. Los diagramas causales son un buen ejemplo de las herramientas que ofrece DS y que facilitan la comprensión de las relaciones entre las variables claves de los sistemas estudiados. En la figura 4 se presenta el diagrama causal de las variables para el sistema modelizado, donde se puede notar cómo el clima laboral está condicionado por la presión, el agotamiento causado por el número de horas trabajadas y el nivel de formación.

MBA, por su parte, está más enfocada al concepto de emergencia. En DS y Econometría, se define la estructura, mientras que en MBA lo que se definen son las reglas que rigen el comportamiento de los agentes en un entorno y el comportamiento general del modelo emerge de las interacciones entre agentes según sus reglas. Esta condición hace que los modelos de MBA sean más naturales, pero a su vez se presenta como una desventaja porque es más difícil determinar las causas y sus efectos.



**Figura 4: Diagrama causal de DS para el caso modelizado**

- *Unidad de Análisis:* La Econometría se centra en la predicción de los parámetros para las ecuaciones de las variables endógenas del modelo: Capacitación, Casos Realizados, Productividad y Clima Laboral.

Los parámetros de los modelos econométricos, generalmente se calculan por el método de mínimos cuadrados (MC). Sin embargo, estos no resultan adecuados cuando se trata de modelos en los que existen interrelaciones, como ocurre en el modelo del caso. Por esta razón, se decidió utilizar el procedimiento de mínimos cuadrados en tres fases (3SSL) para el cálculo de los parámetros del caso.

---

DS se caracteriza por dar más importancia a la definición de la estructura y establecer cuáles son las relaciones entre las variables de nivel, de flujo y auxiliares. Por su parte, MBA también da importancia a la estructura, pero está más enfocado a la definición de reglas, eventos o funciones que pueden modificar el estado de los agentes y, por tanto, el comportamiento de los agentes en el entorno.

La función definida en el modelo de MBA para hacer la distribución del trabajo, es un ejemplo de esta característica. El código POO<sup>1</sup> de la función es:

```
int elegido=uniform_discr(9);
for (int i=0;i<trabajador.size();i++)
{
if (i==elegido)
trabajador.item(i).nuevo_trabajo=carga;
else
trabajador.item(i).nuevo_trabajo=0;
}
debug=elegido;
```

Esta función escoge de forma aleatoria a uno de los agentes y le asigna toda la nueva carga de trabajo.

- *Nivel de agregación:* El objetivo y el alcance para el cual se construye un modelo definen el nivel de agregación más adecuado. Mientras en Econometría se maneja un nivel alto de agregación, DS y MBA ofrecen la posibilidad de trabajar tanto alto como bajo nivel de agregación. No obstante, se considera que trabajar con bajos niveles de agregación podría ser más complicado en DS que en MBA.

- Con respecto a este criterio, se puede decir que para el estudio de variables *soft*, se considera más adecuado el manejo de niveles de agregación bajo-medio.

La Econometría trabaja con niveles de agregación altos, que en algunos casos son consecuencia de la necesidad de simplificar los modelos para facilitar la solución de los mismos. En Econometría y DS es posible desagregar la estructura y distinguir por características y/o atributos a las personas y casos del modelo. No obstante el resultado podría ser un modelo complicado y más difícil de entender que el proporcionado por el modelo de MBA.

- *Origen de la dinámica y heterogeneidad:* Los modelos de Econometría y DS son modelos dinámicos, en los que para cada instante de tiempo, se calculan las variables en función de su relación con otras y con propios valores en el pasado.

---

<sup>1</sup> POO, programación orientada a objetos, es el tipo de programación que maneja el *software* Anylogic, con el cual se construyó el modelo en MBA:

Por ejemplo, la llegada de nuevos casos en los tres paradigmas se calcula generando una entrada aleatoria entre [2-8] nuevos casos por semana, así

$$NC = (RANDOM\ UNIFORM(2, 8,5)) * (tabla\ pedidos\ rechazados(relacion\ plazos))$$

Este criterio probablemente comprende la característica más importante de MBA, ya que combina la simulación continua con la simulación por eventos, conocida como híbrida.

La posibilidad que ofrece de combinar los dos tipos de simulación, permite que el comportamiento continuo del sistema pueda ser redireccionado o modificado por la ocurrencia de un evento. Aunque en el modelo construido no se llegaron a utilizar los diagramas de estado, es conocido que ofrece la posibilidad de definir diferentes estados para los agentes, según los cuales, las reglas de comportamiento agente-agente o agente-entorno podrían ser modificadas.

### Comportamiento de los Modelos

En el siguiente apartado se muestran algunos de los resultados de la simulación de los modelos. Dado que el objetivo de la construcción de caso era el análisis de las ventajas de los distintos paradigmas, no corresponde la exploración de los resultados si no la comparación entre las formas de modelizar y la conducta que estos generan.

En la figura 5 se muestra el comportamiento de las variables: casos en curso, casos realizados y nuevos casos en DS.

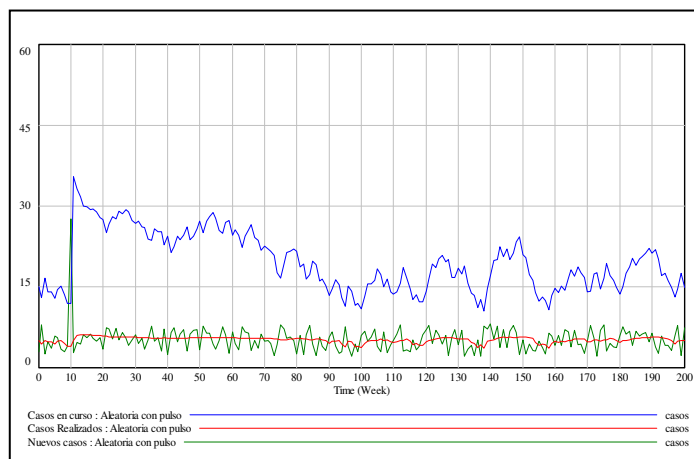


Figura 5: Gráfico de DS para las variables casos en curso, casos realizados y nuevos casos.

Se escogieron estas tres variables por ser las variables generales del modelo que permiten conocer la evolución general del sistema. En las

figuras 6 y 7 se muestran los comportamientos de las mismas variables de la figura 5 para los modelos de MBA y Econometría.

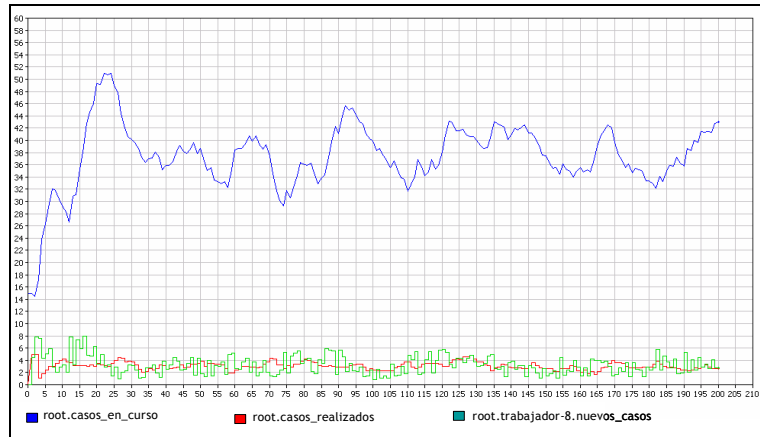


Figura 6: Gráfico de MBA para las variables casos en curso, casos realizados y nuevos casos.

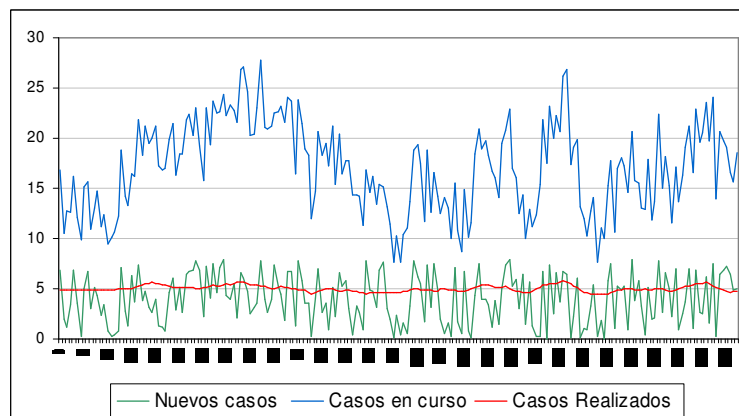


Figura 7: Gráfico del modelo econométrico para las variables casos en curso, casos realizados y nuevos casos.

En las anteriores gráficas se observa cómo los modelos responden de forma similar a la variable de entrada, Nuevos casos. Esto se debe a que a pesar de la posibilidad de MBA de añadir más heterogeneidad en los agentes como, por ejemplo su capacidad de automotivación, se decidió limitar la heterogeneidad y trabajar con modelos en donde sólo se diferenciara la asignación de trabajo. Es decir, como se indica en la tabla 4, la carga de trabajo por trabajador es personalizada y en función de su rapidez de desempeño se le asigna más trabajo.

La principal diferencia con el modelo de MBA, reside en la posibilidad de definir agentes y características individuales para cada uno. De acuerdo con esto es posible obtener valores individuales para variables como el clima laboral y la capacitación de cada individuo.

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados de los modelos de DS y Econometría para las variables de clima laboral y capacitación. Tanto Econometría como SD son paradigmas determinísticos, en donde los comportamientos se generan según la estructura que se define para el modelo. Por tanto, la similitud del comportamiento que siguen las dos gráficas (gráficas 8 y 9) se confiere al hecho de que la estructura definida para los dos modelos esta basada en los mismos supuestos.

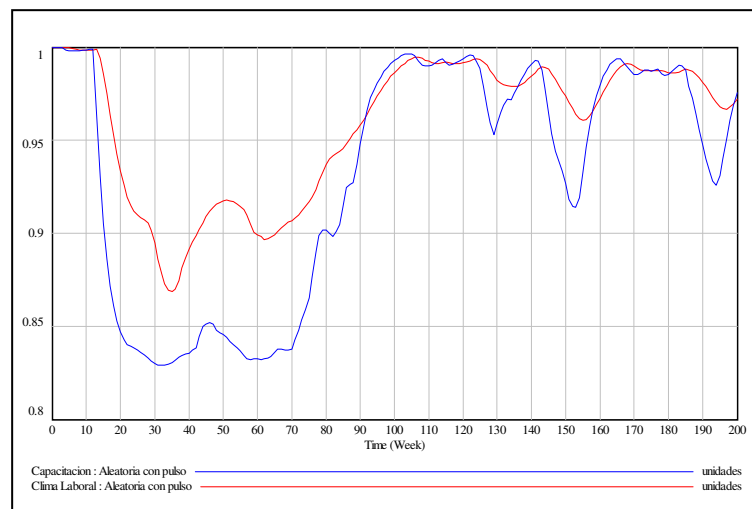


Figura 8: Gráfica de DS para las variables clima laboral y capacitación.

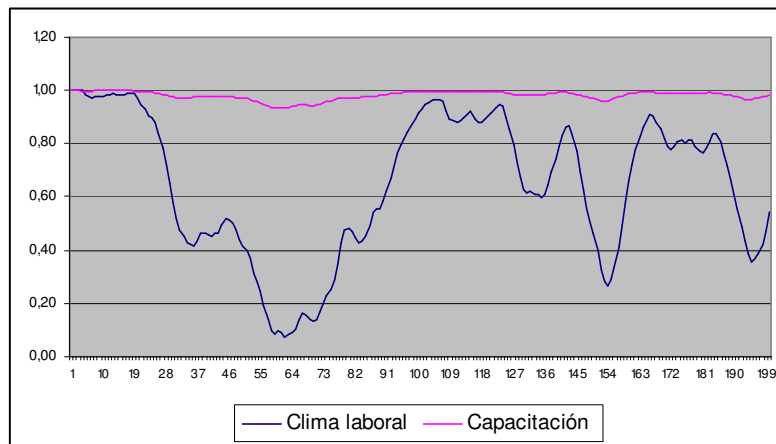


Figura 9: Gráfica del modelo econométrico para las variables clima laboral y capacitación.

En el modelo de MBA, las variables clima laboral y capacitación se definen de forma individual dando como resultado comportamientos diferentes para cada agente. En la figura 10 se muestra a modo de ejemplo los comportamientos de dichas variables para dos agentes o personas concretas de la organización. Se puede observar cómo en los momentos en donde las personas tienen mayor carga de trabajo pendiente, su percepción de clima laboral disminuye, a causa de la presión para trabajar más y además su nivel de capacitación disminuye también con un cierto retraso por la imposibilidad de dedicar horas a formación.

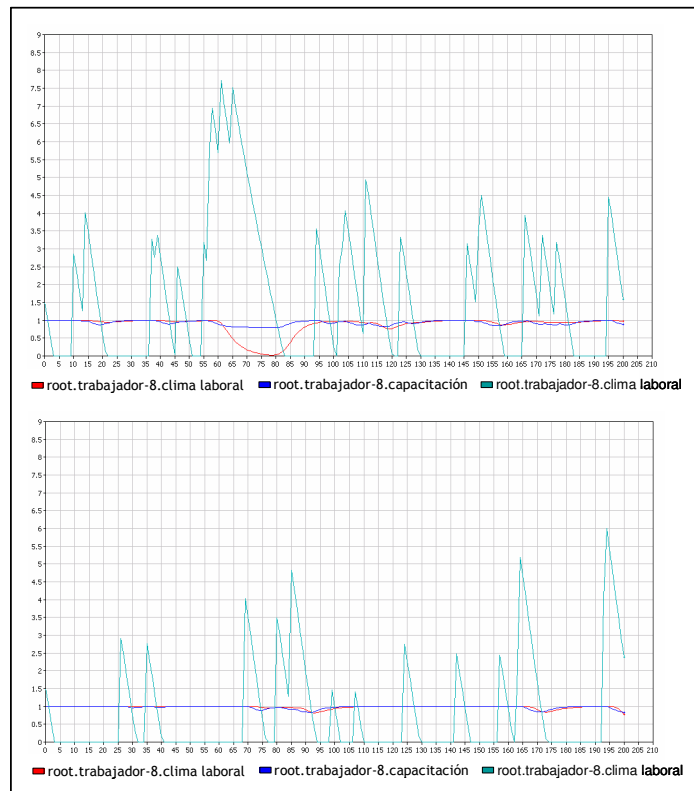


Figura 10: Comportamiento del clima laboral y la capacitación para dos agentes o personas concretas de la organización.

En adición, en la figura 11 se muestra la gráfica donde se reúnen los comportamientos de las diez personas que participan en el modelo. Son diez agentes y cada uno presenta un comportamiento distinto para las variables de nuevo trabajo, clima laboral y trabajo pendiente.

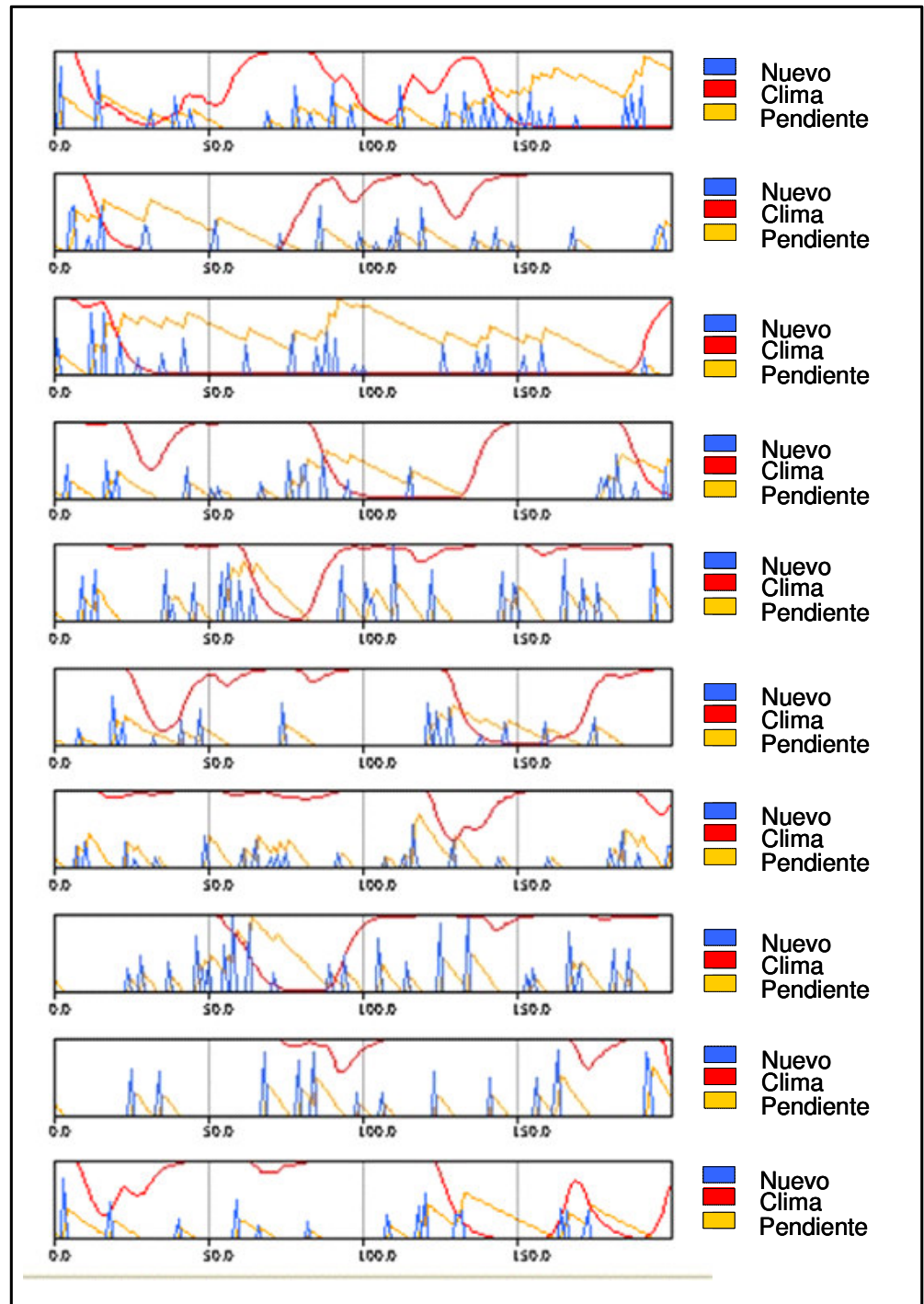


Figura 11: Gráfica de nuevo trabajo, clima laboral y trabajo pendiente de cada agente.

---

### *Paradigmas y el tratamiento de Variables Soft*

De acuerdo con el análisis de criterios diferenciadores entre los paradigmas, conviene aclarar cómo éstos están relacionados con el tratamiento de variables *soft*.

Como se mencionaba en los primeros apartados, las variables *soft* presentan tres características fundamentales que deberían tenerse en cuenta antes de construir un modelo que las contenga. Las dos primeras características de estas variables hacen referencia a su falta de sustancia física y a la imposibilidad de ser medidas de forma directa. Estas dos características constituyen la razón por la que generalmente no se recogen datos acerca de variables *soft*.

Por otra parte, a partir del caso presentado se concluye que no es posible construir modelos econométricos sin datos. Para construir el modelo econométrico que se presenta en este trabajo, fue necesario utilizar los datos generados por el modelo de DS. Este hecho constituye una importante diferencia entre el paradigma de Econometría y los paradigmas de DS y ABM, que unido a la dificultad de conseguir datos de variables *soft*, permite concluir que Econometría no es el paradigma más apropiado para modelizar sistemas en donde la representación de variables *soft* es determinante.

En adición, se considera que una continuación a la investigación de este trabajo consiste en el estudio de herramientas para recopilar y cuantificar información cualitativa que faciliten la modelización de variables *soft* en los paradigmas de DS y ABM. Algunos ejemplos de éstos, son las herramientas de pensamiento presentadas por Kim (1995), la formulación de relaciones no lineales como las propuestas por Sterman (2002) y las formas de incorporar las variables *soft* que menciona McLucas (2004).

La tercera característica y quizás más importante para el manejo de variables *soft*, son las relaciones complejas de causa-efecto (no lineales y con retrasos). Con relación a esta característica, los modelos econométricos no se consideran convenientes, ya que se valen de simplificaciones a relaciones lineales para determinar el valor de los parámetros. DS y MBA además de tener en cuenta los retrasos, pueden valerse de herramientas como tablas o descripción de eventos que originan la dinámica no lineal que caracteriza a las variables *soft*.

En adición, MBA maneja los conceptos de heterogeneidad y simulación híbrida que facilitan la simulación de relaciones causa-efecto complejas.

Como se puede notar en la figura 9, MBA permite definir un sistema conformado por un grupo de agentes o elementos (como los que componen un sistema empresarial). Estos agentes tienen características similares pero, a la vez, tienen algunos atributos diferenciadores que pueden dar resultado a comportamientos diferentes. Por tanto, el

---

comportamiento general emerge de las interacciones de los agentes y su relación con el entorno.

Esta particularidad de MBA, además de hacer que un modelo parezca más natural, aporta a la modelización de variables *soft*, en el sentido de que en vez de medir de forma generalizada el comportamiento de variables *soft* como el clima laboral, se podría definir eventos e indicadores individuales que den como resultado el comportamiento individual de variables *soft*.

No obstante, la posibilidad de añadir heterogeneidad a los modelos en MBA, llevan a construir modelos complejos y difíciles de interpretar.

Otro aspecto importante tanto para el manejo de variables *soft* como para el estudio de cualquier otro tipo de sistemas, es el criterio de Comprensibilidad de los modelos. En este aspecto tanto DS como MBA tienen puntos a favor. La naturalidad para representar sistemas en MBA facilita la comprensión, la característica de emergencia dificulta la vinculación de las relaciones causa-efecto. DS, además de que ofrece herramientas como los diagramas causales, la estructura visual permite vincular siempre las relaciones causa-efecto, facilitando el entendimiento de los comportamientos que genera la estructura del modelo.

### **Conclusiones y futuras líneas de investigación**

El objetivo principal de este trabajo consistía en analizar las características de las variables *soft* y las particularidades que para su estudio presentan los paradigmas dinámicos de Econometría, DS y MBA.

En cumplimiento de la primera parte de este objetivo se hizo una revisión sobre las variables *soft* y su modelización, que concluyó en la definición de las características fundamentales de las variables *soft* y los problemas que presenta su modelización.

La segunda parte, consistía entonces en seleccionar en función de las características de las variables *soft* los paradigmas más adecuados para su tratamiento. Con éste propósito, se diseñó y modelizó un caso en los tres paradigmas, que sirvió de ayuda para estudiar la forma de modelizar de cada paradigma, analizar a profundidad sus ventajas y desventajas y realizar algunas comparaciones.

Como conclusión del segundo objetivo, se considera que del paradigma de Econometría, se podrían estudiar las herramientas estadísticas que se utilizan para la comprobación de las relaciones entre variables y algunas otras para evaluar la fiabilidad de los modelos.

Sin embargo, la Econometría no se considera un paradigma adecuado para el tratamiento de variables *soft*, ya que además de las limitaciones para construir modelos sin datos y la necesidad de utilizar simplificaciones lineales, el objetivo que motiva la construcción de los modelos econométricos es la predicción.

---

En adición a las anteriores limitaciones de Econometría, se añade que construir un modelo econométrico con muchas variables y retrasos daría como resultado un modelo muy complejo y dado que sólo utiliza ecuaciones para su representación la comprensibilidad es otro punto en contra para construir modelos con variables *soft*.

En lo que refiere a los paradigmas DS y MBA, según sea el nivel de agregación que requiera el modelo, ambos podrían ser útiles para la modelización de variables *soft*. Se inclina más por utilizar MBA, ya que su representación resulta más natural para motivar la participación de expertos en la construcción de modelos. No obstante, la MBA para entornos sociales necesitaría apoyarse en herramientas y metodologías de modelización que en DS, como paradigma consolidado, se han desarrollado ya.

En adición, la posibilidad de añadir heterogeneidad de agentes, es un punto a favor de MBA, especialmente para construir modelos de organizaciones donde el nivel de agregación es más bajo.

Como posibilidad de ampliar la investigación con respecto a este tema se sugiere estudiar la posibilidad de construir modelos que trabajen con los dos paradigmas de modelización DS y MBA.

Algunas otras consideraciones importantes que se concluyen del presente trabajo son:

- La metodología que se utiliza para construir un modelo es tan importante como su uso. Por tanto, la definición y uso de una metodología para la modelización de variables *soft* aportaría precisión y fiabilidad a los modelos.
- Es necesario estudiar un caso real y crear el correspondiente modelo en los paradigmas. Sólo de esta forma se podría evaluar cuál de ellos presenta resultados más fiables y aporta más como herramienta de aprendizaje.

## Referencias

- Andriessen, D. 2004. Making Sense of Intellectual Capital: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Bonabeau, E. 2002. Agent-based Modeling: Methods and techniques for simulating human systems, Vol. 99. [www.pnas.org](http://www.pnas.org).
- Borshchev, A. and A. Filippov (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. The 22nd International System Dynamics Conference, Oxford.
- Bradl, P. 2003. The Use of System Dynamics in Management Reasons and Applications. The 21<sup>st</sup> International System Dynamics Conference, New York, 2003.

- 
- Coyle, G. (1998). "The practice of System Dynamics: Milestones, lessons and ideas from 30 years experience." System Dynamics Review **14**(4): 343-365.
- Coyle, G. (2000). "Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: some research questions." System Dynamics Review **16**(3): 225-244.
- Doyle, J. K. & Ford, D. N. 1999. Mental models concepts for system dynamics research. System Dynamics Review, 14(1): 3-29.
- Epstein, J. M. & Axtell, R. 1996. Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom up. Washington, D.C.: Brookings Institution Press The MIT Press.
- Forrester, J. W. 1961. Industrial Dynamics: Productivity Press.
- Hall, R. & Andriani, P. 1998. Management Focus Analysing Intangible Resources and Managing Knowledge in a Supply Chain Context. European Management Journal, 16(6): 685-697.
- Jacobsen, C. & Bronson, R. 1987. Defining sociological concepts as variables for system dynamics modelling. System Dynamics Review, 3(1): 1-7.
- Kaplan, R. S. & Norton, D. S. 1997. El Cuadro de Mando Integral: Gestión 2000. Barcelona.
- Kim, D. 1995. Systems Thinking Tools: Pegasus Communications, Inc.
- Lorenz, T. M. and A. M. Bassi (2004). Comprehensibility as a discrimination criterion for Agent-Based Modelling and System Dynamics. The 22nd International System Dynamics Conference, Oxford.
- McLucas, A. C. (2004). Incorporating Soft Variables into System Dynamics Models: A Suggested Method and Basis for Ongoing Research. The 22nd International System Dynamics Conference, Oxford.
- Meadows, D. H. 1980. The Unavoidable a priori. Norway: Jorgen Randers.
- Morecroft, J. 2005. Explaining Puzzling Dynamics: Comparing the Use of System Dynamics and Discrete-Event Simulation. Paper presented at the 23th ICSDS, Boston.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. 1995. The Knowledge-Creating Company. New York Oxford: Oxford University Press.
- Oliva, R. & Stermann, J. D. 2001. Cutting Corners and Working Overtime: Quality Erosion in the Service Industry. Management Science, Vol.47(No.7): 894-914.
- Prahalad, C. K. & Hamel, G. 1990. The core competence of the corporation. Harvard Business Review, 68(3): 79-91.

- 
- Pulido, A. 1989. Modelos Econométricos (Tercera Edición ed.). Madrid: Ediciones Piramide S.A.
- Rahmandad, H. (2004). Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Contagion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. The 22nd International System Dynamics Conference, Oxford.
- Randers, J. 1980. Elements of the System Dynamics Method: Productivity Press. Cambridge, Massachusetts and Norwalk, Connecticut.
- Repenning, N. P. & Serman, J. D. 1994. Unanticipated Side Effects of Successful Quality Programs: Technical Documentation: 207.
- Reyes, L. F. L. & Andersen, D. L. 2003. Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models. System Dynamics Review, 19(4): 271-296.
- Schieritz, N. & Gröbler, A. 2002. Modeling the Forest or Modeling the Trees: A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation. IEEE Computer Science.
- Schieritz, N. & Milling, P. M. 2003. Modeling the Forest or Modeling the Trees: A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation. System Dynamics Society.
- Scholl, H. J. (2001). Agent-Based and System Dynamics Modeling: A Call from Cross Study and Joint Research. The 34th international Conference on System Sciences (HICSS-34), Maui, Hawaii.
- Serman, J. D. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: Jeffrey J. Shelstad.
- Serman, J. D. 2002. All models are wrong: reflections on becoming scientist. System Dynamics Review, 18(4): 501-531.
- Sveiby, K. E. 1997. The New Organizational Wealth: Editorial Berrett-Koehler Publishers.
- Tidd, J. 2000. From Knowledge Management to Strategic Competence: Imperial College Press.
- Warren, K. 2002. Competitive Strategy Dynamics. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- Zahn, E., Dillerup, r., & Schmid, U. 1998. Strategic evaluation of flexible assembly systems on the basis of hard and *soft* decision criteria. System Dynamics Review, 14(4 (Winter 1998)): 263-284.