

El análisis global de la problemática económica regional precisa de una metodología especialmente orientada a captar los complejos procesos dinámicos inherentes a la misma para, de esta forma mejorar, el conocimiento que los investigadores tienen de la realidad regional. La modelización en dinámica de sistemas participa plenamente de ese planteamiento general, de ahí que en esta comunicación se plantee contribuir al mejor conocimiento de una técnica de análisis regional un tanto olvidada.

1.- ENFOQUE SISTÉMICO Y PLANIFICACIÓN REGIONAL.

El enfoque sistémico resulta particularmente interesante para el estudio integrado de todos aquellos aspectos que estén en mayor o menor medida vinculados al territorio objeto de estudio, ya que permite concebir las cuestiones de planificación regional insertas en un proceso dinámico en el que cualquier variación introducida en el sistema se analiza y evalúa con la ayuda de modelos. Mediante el mismo se postula una forma globalizante de pensar y enfocar los problemas de la realidad (frente al enfoque científico reduccionista, analítico o atomista), puesto que dada la naturaleza de los problemas sociales, caracterizados por su totalidad y complejidad, se hace prácticamente imprescindible la utilización del enfoque sistémico. Ello supondrá que el modelizador opte por una visión *holística* de los sistemas sociales (Radzicki 1985, p. 90), que le permita acceder al conocimiento y análisis de los procesos económicos y sociales.

En concordancia por tanto con el paradigma sistémico, es factible contemplar el proceso planificador desde una perspectiva global e integrada, mediante la que se representen los diferentes subsistemas que intervienen en la consecución de los objetivos señalados, que no suelen consistir en predecir el futuro, sino en simular los efectos de diversos comportamientos que se imaginen para, de esta forma, encontrar aquellas políticas o cambios que sería conveniente implementar en la estructura para mejorar la forma en que opera el sistema (Forrester 1987, p. 5). No obstante, toda esa labor sería baldía si no se consigue cambiar la forma en que los individuos perciben una situación determinada (modelos mentales), de modo que se asemeje más a la del mundo real; de nada sirve aprehender perfectamente el conocimiento de un sistema si los individuos no lo reconocen como tal y, por tanto, no actúan en consecuencia. Para lograr esa modificación en los modelos mentales cabría actuar de dos formas (Forrester 1987, p. 17):

a) Mejorando su claridad a través de la comparación de supuestos residentes en aquéllos con la información disponible, pudiendo hacerse evidentes sus limitaciones mediante la construcción de un modelo matemático.

b) Haciendo ver al individuo las consecuencias nefastas que sobre el sistema dinámico tiene el mantener unos supuestos determinados. Ello se conseguiría construyendo un modelo matemático en base a los supuestos del modelo mental, y analizando los resultados a corto, medio y largo plazo generados por aquél.

La utilización de modelos (ya sean mentales o con algún grado de formalización) en el proceso de planificación es importante, tanto para describir o explicar el comportamiento de los sistemas urbanos o regionales, como para emplearlos proyectando la situación futura de éstos, y poder así anticiparse o influir en el curso del desarrollo regional (Lee 1975, pp. 23 y 24). No sólo indican qué ocurrirá como resultado de la verificación de ciertas hipótesis, sino también qué tipo de actuaciones se pueden poner en práctica para alcanzar los objetivos fijados a partir de unos supuestos determinados previamente. Esa búsqueda requiere comparar las diferentes imágenes¹ simuladas para diferentes escenarios con la situación considerada como óptima, finalizando dicha tarea cuando se considere haber llegado al óptimo, o lo que es más probable, cuando los costes derivados de buscar una solución mejor superen los beneficios generados por la misma.

Los modelos en dinámica de sistemas participan plenamente de ese planteamiento general; tanto por lo que se refiere a determinar cuáles son las variables más relevantes del sistema; como a la explicación del comportamiento histórico de estas variables. Todo ello, unido al hincapié que la dinámica de sistemas pone en el estudio de la dinámica de los sistemas sociales, convierte a esta técnica en un elemento a tener en cuenta a la hora de plantear el diseño de medidas de planificación regional.

En resumidas cuentas, se puede concluir que la metodología sistémica en general, y la dinámica de sistemas en particular, es especialmente apropiada para los modelos de planificación regional debido a la flexibilidad de objetivos que introduce en dicho proceso, en el sentido de buscar la máxima aproximación de un conjunto de valores a los objetivos predeterminados (Martínez Vicente y Requena 1986, pp. 122 y 123). Por ello, seguidamente se hace una breve revisión de la literatura existente sobre el desarrollo histórico de la metodología, que ha condicionado su conceptualización y caracterización actuales.

2.- ORIGEN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y SITUACIÓN ACTUAL.

El origen y desarrollo de esta técnica de modelización se encuentra asociada a la labor que a mediados de la década de los cincuenta² desarrolló el ingeniero de sistemas Jay W. Forrester, en el marco de un

¹ El concepto *imagen* hace referencia a la situación en que se encontraría el sistema si se diesen las circunstancias recogidas en un determinado escenario.

² Anteriormente, a comienzos de la década de los cuarenta el MIT puso en marcha un programa de investigación dirigido a desarrollar la teoría de realimentación de sistemas para su uso en el control de equipos militares y en los procesos industriales. Además, a principios de los cincuenta se comenzaron a utilizar computadoras digitales para simular los comportamientos dinámicos de refinerías petrolíferas y circuitos eléctricos.

programa de investigación financiado por diversas instituciones, y cuyo objetivo era estudiar las acusadas oscilaciones de las ventas de la compañía norteamericana Sprague Electric, y establecer medidas para la corrección de las mismas. Todo este trabajo tuvo como resultado una metodología que, refinada y sistematizada, pasó a conocerse como *Dinámica Industrial*³. Dicha denominación estaba precisamente recogiendo el espíritu de la metodología, que en aquellos momentos consistía a grandes rasgos en la aplicación del enfoque sistémico, con el apoyo de equipos informáticos a los problemas complejos de carácter dinámico que se planteaban en el seno de una empresa industrial (Domínguez 1979, p. 18).

Posteriormente, en 1968, es trasplantada esta instrumentación a la simulación del desarrollo a muy largo plazo de una gran ciudad y explotación de las consecuencias lejanas sobre el empleo de políticas urbanas alternativas, cuyo resultado fue la publicación en 1969 de la obra *Urban Dynamics*. En junio de 1970, Forrester, a requerimientos del Club de Roma, procede a elaborar un modelo de todo el mundo para intentar conocer la trayectoria conjunta de cinco cuestiones fundamentales que describen su evolución: población, industria, recursos naturales, contaminación y agricultura. Se empleó la metodología desarrollada por Forrester debido a que ofrecía la ductibilidad que requiere todo proceso de modelización, relativa a permitir la incorporación de planteamientos interdisciplinarios (Estivill 1985, p. 5). El resultado fue publicado en un libro titulado *World Dynamics* (véase al respecto, Forrester 1971) en 1970, trabajo que fue la base para que posteriormente Meadows elaborase su conocido *I Informe al Club de Roma*, investigación que fue divulgada con el nombre de *Los Límites del Crecimiento* en 1972. Como consecuencia, por tanto, de su aplicación a cuestiones tanto de planificación urbana como de prospectiva mundial, se decidió cambiar la primitiva denominación por otra más acorde con su aplicación cotidiana, pasando así a denominarse *dinámica de sistemas* (Aracil 1986, p. 33).

Ya en la década de los setenta, aunque las macroaplicaciones de la dinámica de sistemas (a nivel urbano o mundial) estaban todavía en una fase de experimentación, se procedió a desarrollar y definir las relaciones de la dinámica de sistemas con otros métodos de investigación (Wolstenholme 1982, p. 547). Por último, en los ochenta el MIT se ha centrado en la aplicación de la dinámica de sistemas para analizar el comportamiento de las economías industriales y así comprender cuestiones tales como los ciclos empresariales, la inflación, y especialmente el ciclo económico de onda larga o de Kondratieff (Forrester 1987, p. 7).

Actualmente el campo de aplicación de esta técnica es bastante amplio, ya que ha pasado de ser aplicada al estudio de problemas industriales, a demostrar su utilidad en múltiples áreas como pueden ser (Sohn y Surkis 1985, p. 399): planificación de la producción, planificación urbana, planificación económica,

³ En Forrester (1961), se detalla la filosofía de modelización, la teoría que le sirve de soporte y los objetivos de la metodología. Posteriormente, en Forrester (1968), los conceptos básicos de la dinámica de sistemas fueron detallados, y la teoría matemática de realimentación desarrollada.

estudios de política empresarial, problemas ecológicos, tecnológicos, sociales, etc. Se ha intentado sistematizar en cuatro las áreas de carácter económico dónde se aplica hoy día la dinámica de sistemas (Reda 1985, pp. 11 y 12):

- a) Aplicación a partes específicas o a la totalidad de una industria o negocio.
- b) Ayudar en el proceso de selección de la alternativa más adecuada, cuando existan proyectos particulares con diferentes alternativas de actuación.
- c) Sistemas socioeconómicos, los modelos son generados para analizar cómo se relacionan los factores económicos con la sociedad, ya sea una comunidad, una región, un país, o todo el mundo.
- d) La cuarta área de aplicación se refiere a las economías regionales o nacionales, en este caso los modelos son diseñados para su uso como instrumentos de planificación y examen de las posibles políticas a aplicar.

En España, a pesar de ser conocida esta técnica desde fechas tempranas, no llegó a despertar un gran interés. Sin embargo, ha sido la labor del Profesor Aracil en materia de divulgación y aplicación práctica de la dinámica de sistemas a distintos tipos de realidades, la que ha contribuido realmente a su difusión, al avance de la metodología, y lo que es más importante, al mejor conocimiento de nuestros sistemas socioeconómicos⁴.

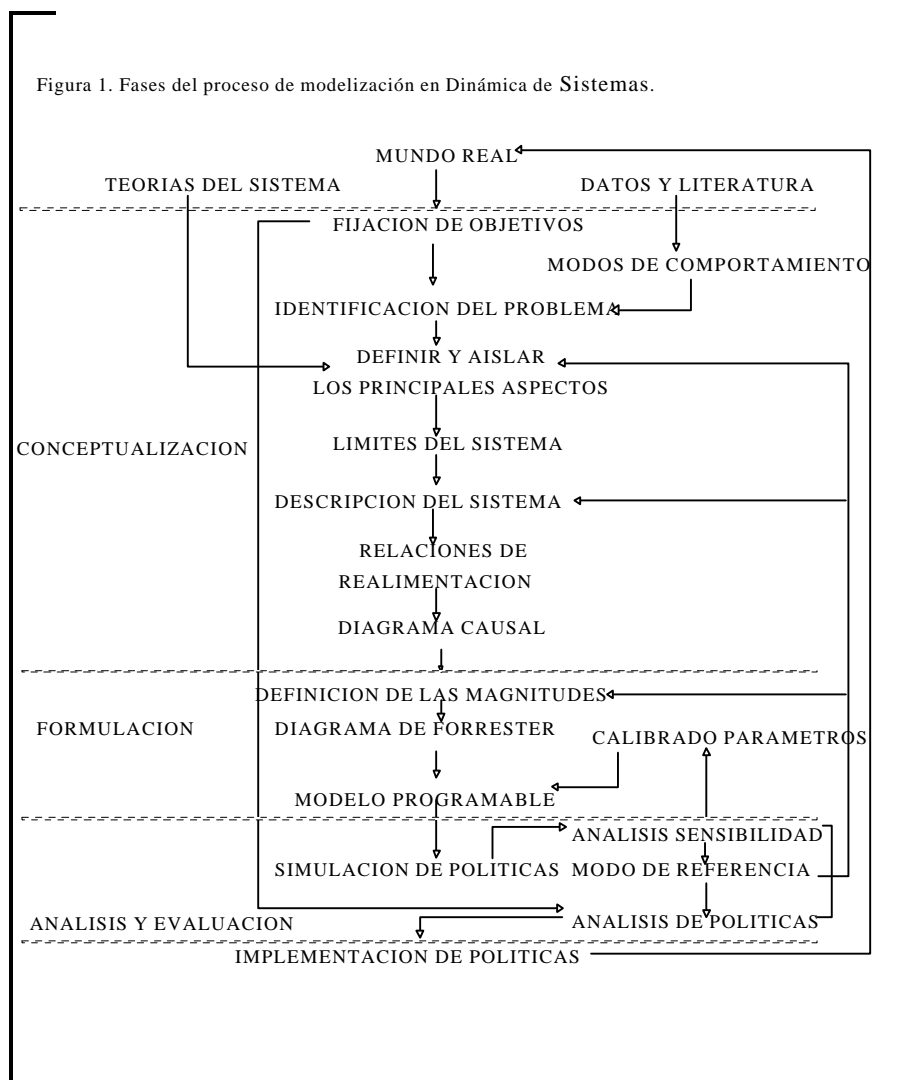
3.- CUESTIONES RELATIVAS A LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.

La modelización en dinámica de sistemas se inicia con una definición clara y precisa de los objetivos, cuya inclusión se justifica como el primer paso del proceso, debido a que en función de éstos así se han de estructurar el resto de actividades a realizar. Hay, no obstante, un objetivo prioritario que consiste en "mejorar la comprensión de las relaciones existentes entre la estructura de realimentación y el comportamiento dinámico del sistema, de modo que puedan desarrollarse políticas que mejoren el comportamiento problemático" (Richardson y Pugh 1981, p. 38). Por lo tanto, se puede comprobar como la finalidad última de todo el proceso de modelización es posibilitar el diseño o mejora de políticas que puedan implementarse para la resolución de problemas concretos. A pesar de ello, a veces suele fallar precisamente la implementación en el mundo real de las conclusiones obtenidas por el modelo, como resultado de haber perdido de vista a lo largo del proceso el objetivo último de la modelización.

Aunque dicho proceso puede descomponerse en tantas fases como número de pasos existan, hay autores que conciben el proceso de construcción de un modelo como resultado de dos únicas fases (Starr 1980,

⁴ Una referencia completa sobre los modelos realizados en España se puede encontrar en Martínez Vicente (1994).

pp. 47 y 48): definición del problema (incluiría el establecimiento de los objetivos del modelo, la definición de los límites y los criterios de validación), y análisis y estructuración del modelo (englobaría la formalización analítica, contenido y la fijación de políticas alternativas del modelo). En un sentido similar se manifiestan Andersen y Richardson (1980, pp. 92 y 93), al considerar la existencia de un bloque conceptual, que recogería desde la identificación del problema hasta la representación del modelo; y un bloque técnico, que abarcaría también la formalización del modelo y lo anteriormente denominado como análisis y evaluación (véase la figura 1). Todo este proceso, que podría en mayor o menor medida ser asumido por otras técnicas de análisis regional, tiene una dependencia crítica de la identificación clara y precisa del sistema a modelizar, de ahí que a la hora de aplicar la dinámica de sistemas para la construcción de modelos de simulación, haya que tener en cuenta una serie de precauciones en lo referido a las leyes de funcionamiento del sistema y los instrumentos de medida (Martínez Vicente y Requena 1986, pp. 127-129):



a) Las imágenes obtenidas en el proceso de simulación serán borrosas cuando las leyes de funcionamiento del sistema no estén claras, o cuando los instrumentos de medición proporcionen medidas con márgenes de error desconocidos o muy altos.

b) En la mayoría de los casos los sistemas pueden ser modelados mucho mejor cuando se dispone de leyes de funcionamiento e instrumentos de medida precisos y fiables.

c) En el caso de que las leyes no sean bien conocidas y los instrumentos no sean fiables,

cualquier modelo (no sólo los de dinámica de sistemas), proporcionará resultados imprecisos e inexactos.

No obstante, la idoneidad de la dinámica de sistemas para representar interacciones de sistemas amplios y complejos (como son los sociales) ha sido fuertemente criticada, tanto por aparentar conocer de forma precisa variables y relaciones que de hecho se desconocen, como por estimular la simplificación en exceso. Concretamente, destacan tres áreas en donde la dinámica de sistemas choca con otros enfoque modelizadores (Forrester 1983, p. 10):

- a) El punto de vista endógeno; hace referencia tanto a la idea de límites, como al hincapié que se hace en la dinámica de sistemas acerca de la generación interna del comportamiento. Frente a esta posición se encuentran los modelos econométricos, que tienden a ver los sistemas siempre cerca de una situación de equilibrio tan sólo alterada por perturbaciones externas. De igual manera, los gestores tienden a pensar que sus dificultades tienen un origen exógeno, sin detenerse a pensar si son o no las políticas que ellos implementan las responsables de sus problemas.
- b) Cuantificación de las variables intangibles; en este punto hay que hacer frente a la cuestión de cuáles han de ser las fuentes de información a utilizar en el proceso de modelización, en general, y de las variables intangibles, en particular. Aunque la rigidez utilizada por los distintos enfoques en esa cuantificación varía bastante, la pregunta parece inmediata: ¿por qué no se va a poder hacer uso de toda la información disponible?, constituyendo de hecho un argumento de peso que se podría aplicar contra todos aquellos que plantean restricciones a la utilización de algún tipo de información. Este planteamiento adquiere pleno sentido en el proceso de estimación de parámetros, puesto que como consecuencia de las estructuras de realimentación existentes en los modelos de dinámica de sistemas, su mejor o peor aplicación no depende de los tradicionales procedimientos de estimación estadística. Por otra parte, y dado que estos modelos consideran relaciones lineales y no lineales, no se pretende obtener predicciones numéricas precisas, sino alcanzar un nivel general de conocimientos. En ese sentido, tanto "la cuantificación de los parámetros como los resultados obtenidos ocupan un lugar secundario en el proceso de modelización, siendo lo principal la determinación del comportamiento del sistema en el tiempo" (Estivill 1985, p. 6).
- c) Predicción; en economía se suele pensar que el último y necesario test de validación de un modelo es su capacidad para predecir el estado futuro del sistema. En cambio, estos test son vistos por los usuarios de la dinámica de sistemas como un instrumento de relevancia menor en el proceso de discriminación entre buenas o malas políticas. Es por ello que a la hora de validar los modelos en dinámica de sistemas no existan procedimientos formales y cuantitativos, y en lugar de ellos se utilicen procedimientos de tipo cualitativo.

Al constituir los métodos de validación uno de los principales puntos de conflicto de esta metodología con otras, se ha creído conveniente abundar más en esta cuestión.

4.- LA PROBLEMÁTICA DE LA VALIDACIÓN EN LOS MODELOS EN DINÁMICA DE SISTEMAS.

En líneas generales, los procedimientos empleados para la validación de estos modelos se pueden agregar en dos categorías, siguiendo el criterio del aspecto concreto del modelo en que se ponga especial atención (Sharp y Price 1984, p. 8):

- a) Validación interna; supone corroborar la existencia de una respuesta correcta originada por un mecanismo bien diseñado, lo que de hecho supone verificar que ecuaciones y parámetros han sido correctamente especificados. A un nivel superior, supone analizar tanto los bucles como los sistemas de realimentación para determinar cuál sería el probable comportamiento de algunas variables.
- b) Validación externa; asume que la estructura interna del modelo es correcta, y consiste en comparar su comportamiento con el del sistema real.

Junto a ambas categorías, habría que considerar otro grupo de tests que, si bien no tienen en cuenta el objetivo o su consistencia con la realidad, sí en cambio han de considerarse a la hora de emitir un juicio final sobre el modelo. Estos tests se caracterizan por su contribución a la utilidad y eficacia de dicho juicio o a la aplicación de los tests anteriores, de ahí que en sentido estricto quizás no debiesen ser considerados como de validación. A su vez cada uno de estos tres bloques se pueden descomponer en otros dos dependiendo de que la validación interna, externa, o su contribución a la utilidad y eficacia se consiga centrándose en la estructura del modelo o en su comportamiento (véase Richardson y Pugh 1981, p. 314).

Junto a la comparación del modo de referencia y el estudio de sensibilidad de parámetros y condiciones iniciales, se suele plantear el análisis de políticas como otro instrumento a utilizar en la evaluación de un modelo en dinámica de sistemas (Aracil 1986, p. 149). Dicho análisis supone necesariamente la existencia de un modelo que permita investigar sobre los efectos que políticas concretas podrían tener en el sistema real, al objeto de iniciar un debate o diálogo entre los diferentes agentes implicados y así permitir una clarificación del problema que, en última instancia, genere recomendaciones de actuación y logre mejorar ese comportamiento problemático del sistema. Evidentemente las soluciones propuestas no son únicas e inmutables, más bien al contrario, ya que cuanto mejor sea la comprensión del comportamiento del sistema, sin ningún género de duda dichas soluciones experimentarán algún cambio (Roberts et al. 1983, p. 173).

Para efectuar dicho análisis se requiere una cierta habilidad (Richardson y Pugh 1981, p. 321), no sólo en la transformación de la estructura o valores de los parámetros del modelo para adecuarlo a las diferentes políticas que se van a simular, sino también para interpretar los cambios en el modelo como

opciones de política en el sistema real. Sin embargo, aunque se dispusiese de dicha habilidad, conviene tener en cuenta que una política puede mejorar un comportamiento indeseable pero a la vez empeorar otros, de ahí la necesidad de relativizar la importancia de eliminar malos comportamientos, sobre todo si ello conlleva la degradación del comportamiento del sistema en otros aspectos (Sharp y Price 1984, p. 9). Por tanto, de lo que se trata es de seleccionar una política que, en conjunto, proporcione los mejores resultados.

Todo lo anterior justifica la conveniencia de establecer algún tipo de estadístico que permita evaluar los valores generados por los modelos en dinámica de sistemas, para lo cual se acude a algunos de los utilizados en modelos econométricos⁵. De ellos, la medida más común del error predictivo es la media de la suma al cuadrado de los errores, no obstante, suele ser más conveniente calcular una medida normalizada de los mismos. Independientemente de la importancia de los errores que se puedan encontrar en los valores generados por el modelo, también son objeto de especial atención las causas que los han provocado (aleatoriedad en los datos históricos o fallos sistemáticos debidos a la exclusión de algún tipo de comportamiento). Por ello, se acude a los estadísticos de Theil, que surgen como resultado de descomponer la media de los errores al cuadrado.

Asimismo, a los modelos de sistemas sociales en dinámica de sistemas se les pueden aplicar sin excesivas dificultades las técnicas de optimización paramétricas y el cálculo variacional⁶; todo ello con el fin de determinar las políticas más adecuadas para determinados propósitos (Aracil 1986, pp. 302 y 303). Dichas técnicas ofrecen considerables ventajas con respecto a los métodos tradicionales de prueba y error, puesto que éstos últimos dependen en gran medida de la intuición del analista.

5.- REFLEXIONES FINALES.

De todo lo comentado anteriormente se desprende que la dinámica de sistemas supone sencillamente una forma alternativa de ver y entender la realidad regional, más global, amplia y participativa, de ahí la necesidad de abordar su estudio con un espíritu interdisciplinar. Esa globalidad exige para su modelización un mayor grado de simplificación y el establecimiento de supuestos que podrían parecer arriesgados, sobre todo para los seguidores del enfoque analítico o reduccionista. A pesar de la subjetividad inherente a este planteamiento, lo más oportuno es efectuar (en la medida de lo posible), la integración de la dinámica de

⁵ Todo el proceso de obtención de estos estadísticos así como su interpretación se puede encontrar en Mass y Senge (1980), y Sterman (1984).

⁶ En Burns y Malone (1974, pp. 220-223), pueden apreciarse los fundamentos matemáticos de las técnicas de optimización paramétricas y el cálculo variacional aplicados a modelos de sistemas sociales. En ambos casos se requiere la construcción previa de un indicador que permita controlar la mejora o el deterioro en el comportamiento del modelo.

sistemas con otras técnicas de análisis regional, siendo la misma especialmente fructífera con los métodos de optimización, la econometría y el análisis *input-output*.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Andersen, D. F. y Richardson, G. P. (1980): "Toward a Pedagogy of System Dynamics", en Legasto, A. A. Jr.; Forrester, J. W.; Lyneis, J. M.: *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, vol. 14, North-Holland, Amsterdam, pp. 91-106.

Aracil, J. (1986): *Introducción a la Dinámica de Sistemas*, Alianza Editorial, Madrid.

Burns, J. R. y Malone, D. W. (1974): "Computational Techniques for Analysis of System Dynamics Models of Social Systems", *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 8, pp. 215-223.

Coyle, R. G. (1983): "The Technical Elements of the System Dynamics Approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 14, pp. 359-370.

Domínguez, J. A. (1979): *Modelización de Sistemas Financieros Mediante Dinámica de Sistemas. El caso español*, Caja Rural Provincial de Sevilla, Sevilla.

Estivill, X. (1985): *Model Catalunya 2000. Estudi Prospectiu sobre la Demanda de Sòl a Catalunya*, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Forrester, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts.

Forrester, J. W. (1968): "Industrial Dynamics - After the First Decade", *Management Science*, vol. 14, nº 7, pp. 398-415.

Forrester, J. W. (1969): *Urban Dynamics*, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.

Forrester, J. W. (1971a): *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.

Forrester, J. W. (1983): "Future Development of the System Dynamics Paradigm", *1983 International System Dynamics Conference*, Chestnut Hill, Massachusetts.

Forrester, J. W. (1987): "System Dynamics and its Use in Understanding Urban and Regional Development", *System Dynamics Group Working Paper D-3903*, M.I.T., Cambridge, Massachusetts.

Forrester, J. W. y Senge, P. M. (1980): "Test for Building Confidence in System Dynamics Models", en Legasto, A. A. Jr.; Forrester, J. W.; Lyneis, J. M.: *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, vol. 14, North-Holland, Amsterdam, pp. 209-228.

Lee, C. (1975): *Modelos de Planificación*, Pirámide, Madrid.

Martínez Vicente, J. S. y Requena, A. (1986): *Dinámica de Sistemas*, Alianza Editorial, Madrid.

Martínez Vicente, J. S. (1994): "Aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Planificación Regional", en Asociación Castellano-Leonesa de Ciencia Regional: "Integración y Revitalización Regional", Salamanca, pp. 257-263.

- Mass, N. J. y Senge, P. M. (1980): "Alternative Test for Selecting Model Variables", en Randers, J.: *Elements of the System Dynamics Method*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusettes, pp. 203-223.
- Peterson, D. W. (1980): "Statistical Tools for System Dynamics", en Randers, J. (1980): *Elements of the System Dynamics Method*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusettes, pp. 224-245.
- Radzicki, M. J. (1985): *The Impact of an Increased Level of Vocational and Technical Education on Employment and Population Growth in the Indiana Economy*, Ph. D. University of Notre Dame, University Microfilms International, Michigan.
- Reda, H. M. A. (1985): *A Theory for National Industrial Development Presented in a System Dynamics Model*, Ph. D. Virginia Polytechnic Institute and State University, University Microfilms International, Michigan.
- Richardson, G.P. y Pugh, A.L. (1981): *Introduction to System Dynamics Modeling*, Productivity Press, Cambridge, Massachusettes.
- Roberts, N.; Andersen, D. F.; Deal, R. M.; Garet, M. S.; y Shaffer, W. A. (1983): *Introduction to Computer Simulation: A systems dynamics modeling approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusettes.
- Sharp, J. A. y Price, D. H. R. (1984): "System Dynamics and Operational Research: An appraisal", *European Journal of Operational Research*, n° 16, pp. 1-12.
- Sohn, T-W y Surkis, J. (1985): "System Dynamics: A methodology for testing dynamic behavioral hypotheses", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, n° 3, May/June, pp. 399-408.
- Starr, P. J. (1980): "Modeling Issues and Decisions in System Dynamics", en Legasto, A. A. Jr.; Forrester, J. W.; Lyneis, J. M.: *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, vol. 14, North-Holland, Amsterdam, pp. 45-59.
- Sterman, J. D. (1984): "Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit of System Dynamics Models", *DYNAMICA*, vol. 10, parte II, pp. 51-66.
- Wolstenholme, E. F. (1982): "System Dynamics in Perspective", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 33, n° 6, pp. 547-556.