
Dinámica de sistemas y análisis económico regional.

Un intento de modelización para la economía andaluza

Elías MELCHOR FERRER

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 perspectiva transdisciplinar con la que cada vez más se abordan los problemas regionales de carácter socioeconómico, unida al reconocimiento de las limitaciones que presentan algunas técnicas individualmente consideradas a la hora de alcanzar la comprensión global del fenómeno analizado, está haciendo que el análisis de sistemas suscite cuando menos curiosidad e interés, dada su especial predisposición a captar los complejos procesos dinámicos. Dicha flexibilidad, unida a su capacidad para incorporar de forma coherente técnicas alternativas: análisis input-output y econometría, entre otras, ha determinado su selección para modelizar el sistema socioeconómico andaluz (demografía, mercado de trabajo, y macroeconomía).

1. La dinámica de sistemas como técnica de análisis regional.

Dada la especial naturaleza de los sistemas sobre los que opera el científico social, muy pocas veces (por no decir

ninguna), puede utilizar el experimento controlado como método de investigación. Por ello, la elaboración de unos modelos que, en última instancia, constituyan una vía alternativa a la aproximación experimental, es una necesidad, sobre todo para aquéllos que han de tomar decisiones a partir de un cuadro sintético de opciones revisable, y capaz de ser actualizado permanentemente.

En el caso concreto de un sistema económico regional, su modelización permite describir su funcionamiento "por medio de una serie de ecuaciones que expresan las relaciones que existen entre magnitudes económicas mensurables consideradas significativas para el funcionamiento del sistema" (Ramírez 1990, p. 192). Dicha modelización debe estar lo suficientemente desarrollada como para permitir extraer conclusiones acerca de las repercusiones que sobre las magnitudes fundamentales del sistema económico (precios, empleo, producción, balanza de pagos, etc.), tiene la alteración de determinados factores de éste. Esos factores son muy importantes en tanto que permiten evaluar la oportunidad de adoptar determinadas políticas, o el establecimiento de preferencias ya sea entre un conjunto de acciones o entre una serie de instrumentos. Sin embargo, la dificultad estriba en determinar qué tipo de modelo es el más adecuado para cada situación particular. La elección según Foxley

(1975; p. 28) dependerá de "la calidad y disponibilidad de la información estadística; de la estructura institucional del país; del horizonte de tiempo de que se trata y de la magnitud del cambio estructural y político en el período de planificación y, finalmente, de la naturaleza de los problemas por resolver".

Dentro de la literatura económica abundan las propuestas de clasificaciones para aquellos modelos que describen el funcionamiento de una economía regional¹, sin embargo, la propuesta que goza de mayor aceptación y flexibilidad es aquella que distingue entre dos grandes clases de modelos: de simulación (también denominados de comportamiento o explicativos) y de optimización. Ambos pueden descomponerse en dos grupos en función del tipo de información que utilicen dura (medida sobre una escala cardinal) o blanda (cualitativa u ordinal). Dentro del primer grupo se encontrarían entre otros los modelos input-output, econométricos, y los de base económica, mientras que en el segundo estarían, entre otros, los estudios de prospectiva a nivel regional.

Los estudios de prospectiva a nivel regional consisten, básicamente, en la proyección hacia el futuro de los valores objetivo de una determinada realidad actual, para poder conocer así cuáles serían los diferentes estados del sistema ante diferentes hipótesis o escenarios. Esta proyección no tiene por objeto adivinar el futuro probable, sino prepararse para el futuro deseable y hacerlo factible en cuanto a su consecución. A la hora de construir los escenarios² habrá que tomar la situación en su conjunto, de forma que se logre describir tanto cada uno de los elementos que la componen, como las interrelaciones que entre ellos existen. El resultado final de ese proceso habrá de ser un conocimiento en profundidad de la realidad regional que permita detectar cuáles son las claves sobre las que se debe actuar.

Los estudios de prospectiva presentan ventajas pero también inconvenientes, entre las ventajas destaca la existencia de un horizonte de planificación (valores de las variables objetivo en un instante determinado), y servir de fuente de información y reflexión para la población acerca de la importancia que para su futuro tienen

las cuestiones de planificación. Pero, por otra parte, estos estudios corren el riesgo de no profundizar en los aspectos más relevantes de la situación, obviando algunas variables fundamentales o sus interrelaciones. Además, conviene no aislar en exceso las cuestiones analizadas de su contexto ya sea económico o de planificación, con vistas a que puedan desprenderse consecuencias prácticas. Por lo tanto el modelo que se construya (Aracil 1986; pp. 27 y 28) deberá ser fruto de una cuidadoso y detenido análisis de los distintos elementos que intervienen en el sistema observado, para poder así extraer la lógica interna y las relaciones estructurales del modelo.

Aunque la metodología de estos estudios ha de ser específica para cada caso concreto (lo cual impide el establecimiento de un modelo tipo), lo cierto es que los modelos de simulación en dinámica de sistemas gozan de unas características y una popularidad tales que les convierten en los máximos representantes de los estudios de prospectiva. Por todo ello, creemos conveniente hacer una breve reseña de la misma³.

La dinámica de sistemas surge como una técnica que permite analizar los sistemas y simular sus comportamientos pasados y futuros, merced a la construcción de unos modelos dinámicos, complejos y comprensivos, capaces de predecir los impactos a largo plazo de decisiones alternativas. Entre las características más importantes que diferencian a esta técnica de otras podríamos mencionar las siguientes (Aracil 1986; pp. 28 y 29):

- a) La estructura se puede caracterizar de forma gráfica sin dificultad.
- b) La estructura del modelo no está previamente determinada y la establece su constructor, por lo tanto no es única y se establece en función de la capacidad y experiencia del mismo.
- c) Permite comprender la respuesta del sistema a un conjunto de condiciones futuras.
- d) Realiza previsiones de las tendencias a largo plazo.

1. Una relación de éstas se puede encontrar en Ramírez (1190; pp. 196-198) y Foxley (1975; pp. 30-47).

2. Se entiende por escenarios un conjunto de hipótesis coherentes sobre las condiciones en que va a desenvolverse el sistema.

3. Al respecto pueden consultarse, entre otras, las siguientes obras: Aracil (1986), Martínez Vicente y Requena (1986), y Richardson (1981).

e) Fácil accesibilidad al modelo por parte de especialistas en el sistema social, aún cuando no lo sean en dinámica de sistemas. Es precisamente esa accesibilidad la que ofrece garantías contra posibles falseamientos que se introduzcan en la construcción del modelo.

El origen y desarrollo de esta técnica de modelización se encuentra asociada a la labor que a mediados de la década de los cincuenta⁴ desarrolló el ingeniero de sistemas Jay W. Forrester, en el marco de un 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, una vez refinada y sistematizada, pasó a conocerse como Dinámica Industrial⁵. 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 complejos problemas 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 interdisciplinares (Estivill 1985, p. 5). El resultado fue publicado en un libro titulado *World Dynamics* (véase al respecto, Forrester 1971) 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, urbana, y económica; estudios de política empresarial; problemas ecológicos, tecnológicos, sociales, etc. Aunque se han sistematizado las áreas de carácter económico donde se aplica hoy día la dinámica de sistemas (véase Reda 1985, pp. 11 y 12), por lo se refiere a las economías regionales o nacionales, los modelos son diseñados para su uso como instrumentos de planificación y examen de las posibles políticas a aplicar. Los ejemplos son numerosos, tanto a nivel nacional como internacional, y de entre ellos cabría destacar los siguientes:

a) Modelo en Dinámica de Sistemas de los Estados Unidos (Forrester 1984 y 1989; y Graham 1984). Se podría definir como un modelo de simulación del cambio social y económico de los Estados Unidos, centrado en los aspectos de producción, financieros, familiares,

4. 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 y circuitos eléctricos.

5. 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.

demográficos, de empleo y gubernamentales. Su objetivo principal es el estudio de aquellos indicadores económicos y sociales que condicionan las fluctuaciones a corto y largo plazo de la economía de los EE.UU.

b) Modelo de desarrollo industrial (Reda 1985). Se propone un modelo de desarrollo industrial para países en vías de desarrollo; el sistema de este tipo de países se representa mediante diez sectores de actividad agrupados en tres clases funcionales: 1) sectores dirigentes: población e inversión de capital; 2) sectores industriales: recursos, manufacturas, agricultura, infraestructura física, servicios, tecnología, e infraestructura social; y 3) sector exterior.

c) Modelo Navarra 2000 (Servicio de Economía del Departamento de Economía y Hacienda de Navarra 1988; y Martínez Vicente 1988, pp. 56-60). Es un modelo regional que presenta dos estratos (regional, y comarcal o zonal) con el que se pretende modelar la evolución de las principales magnitudes que describen el comportamiento socioeconómico de Navarra.

d) Modelo ANDAOC 2 (Aracil 1982, pp. 451-470). Considera un estrato regional (formado por las provincias de Cádiz, Córdoba, Huelva y Sevilla), en donde se encuentra el submodelo económico que se encarga de coordinar los submodelos correspondientes a las distintas zonas; para cada una de ellas habrá un sector de servicios, otro demográfico y un último agrario.

e) Modelo Murcia 2000/II (Martínez Vicente et al. 1985, pp. 10-51). Este modelo pretende ser un procedimiento para simular las posibilidades de crecimiento económico en la Región de Murcia, con el horizonte del año 2000. Los submodelos que considera son los siguientes: población, empleo/paro, económico, y equipamiento/energía. El Modelo de Planificación Educativa de Murcia (MOPEM) está conectado con el modelo Murcia 2000/II a través de un submodelo de educación que se incorpora a éste.

f) Modelo Cataluña 2000 (Estivill 1985). Surge frente a la necesidad de previsiones sobre la demanda de espacio

generada por las diferentes actividades socioeconómicas que se incluyen en el conjunto de los trabajos necesarios para la redacción del esquema territorial de Cataluña, por ello, no se limita a prever la demanda de suelo, sino que es un estudio de carácter general de la economía catalana que pone especial énfasis en los aspectos territoriales.

g) Modelo DINAMICAL (Pérez 1989). Consiste en la realización de un modelo económico y demográfico de la Comunidad de Castilla y León, que dispone de dos grandes sectores: uno demográfico, que incluiría a la población urbana, a la rural, y a los emigrantes tanto en otras regiones como de fuera de España; y otro económico en donde destacan como grandes bloques la generación de ahorro regional, la conversión del ahorro en inversión realmente ejecutada en Castilla y León, y la generación tanto del empleo sectorializado como de la renta regionales.

Obviamente, esta técnica modelizadora no es la única que se puede aplicar a cuestiones de planificación regional o al análisis estructural de sistemas macroeconómicos, también lo pueden ser el análisis input-output, los modelos de optimización, y la econometría; sin embargo, existen serias discrepancias que separan a éstas de aquélla que van más allá de ser contempladas como métodos alternativos para la construcción de modelos de simulación⁶. Por ello, creemos conveniente contrastar la validez de la dinámica de sistemas frente a estas técnicas.

Concretamente, y por lo que se refiere al análisis input-output, una novedad metodológica importante constituye la incorporación de las tablas input-output regionales en la construcción de modelos de planificación regional en dinámica de sistemas. El procedimiento consiste en, una vez realizada la agregación sectorial, aplicar un modelo de demanda para la obtención de la producción regional a partir de la matriz inversa de coeficientes técnicos, que se consideran constantes dados los inconvenientes que presentan los métodos de dinamización, y del vector de demandas finales (obtenido de forma endógena).

6. Quizás la causa de que todavía persistan puntos de vista divergentes sea la dificultad con que se encuentran los usuarios de la dinámica de sistemas para transmitir su filosofía de estructuración de los sistemas sociales en un lenguaje fácilmente comprensible por aquellos investigadores ajenos a dicha metodología (Morecroft, 1983, p. 131).

Cuadro 1. Características generales de la econometría y la dinámica de sistemas.

Criterio	Econometría	Dinámica de Sistemas
Determinación de los parámetros	Se basa en las técnicas de estimación estadística a partir de los datos. A veces surgen problemas de sesgo y multicolinealidad que contradicen las expectativas teóricas.	Se realiza a partir de la cuantificación de la creencia subjetiva del modelador. El análisis estadístico es mínimo o inexistente, la necesidad de mayor precisión se determina a partir del análisis de sensibilidad.
Énfasis en la estructura	En la estimación de los parámetros se trata de ajustar un modelo previo a los datos históricos.	La estructura del modelo es resultado de un análisis cuidadoso y detenido de los distintos elementos que intervienen en el sistema; posteriormente se intenta el ajuste con los datos.
Estado del sistema	La representación del sistema en la mayoría de los casos es estática, se busca el óptimo en equilibrio.	La representación del comportamiento del sistema es dinámica.
Forma funcional del modelo	Utiliza métodos estadísticos lineales, lo que le convierte en poco efectiva para tratar con sistemas no lineales, aunque se disponga de métodos para linealizarlos.	Las no linealidades son el principal factor que explica el comportamiento del sistema dinámico.
Exigencia de datos y precisión	Necesita datos con suficientes grados de libertad para el análisis estadístico. Sólo se consideran las variables medibles e históricamente documentadas. La precisión de los valores de las variables es muy importante.	Inclusión también de factores tangibles, lo que interesa son las tendencias generales, por eso la precisión en la medición de las variables no es una cuestión crítica.
Objetivos y alcance	Se utiliza para la predicción a corto plazo, o proyección a menos de 5 años de variables económicas agregadas. Al requerir la determinación de un gran número de variables exógenas, la proyección a largo plazo se considera irreal.	Se utiliza para la comprensión de cuestiones de planificación en el largo plazo (incluso hasta 50 años o más), ya que se generan valores para todas las variables incluidas en el modelo.
Validación y verificación empírica	Pone hincapié en la verificación empírica de modelos	La validación no es cuestión crucial, depende de los test usados.
Análisis de sensibilidad	El análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo se encuentra en la base de esta técnica.	Se realiza de forma rutinaria y puede ser subjetivamente evaluada incluso después de haber realizado los test correspondientes.

Obtenida como resultado de sintetizar las aportaciones de Aracil (1986, pp. 27-29), Chen (1983, pp. 174 y 175), y Reda (1985, p. 19).

En segundo lugar, en cuanto a las limitaciones de los modelos de optimización argumentadas por los defensores de la dinámica de sistemas, hay que mencionar las siguientes (Pérez 1990, pp. 297 y 298): 1) presentan dificultades para incorporar tanto relaciones no lineales como de realimentación, especialmente abundantes en los complejos sistemas sociales, lo cual dificulta más si cabe el establecimiento de funciones objetivo; y 2) se identifica la solución óptima para un instante dado en el tiempo (carácter estático), sin considerar cómo se ha llegado a alcanzar ese estado óptimo, cómo evolucionará el sistema en el futuro, o si dicho comportamiento se ajusta realmente al exhibido por los agentes sociales. Además de estas limitaciones, también habría que valorar la imposibilidad de utilizar los modelos de optimización en enfoques de planificación más globales, integrados e interdisciplinarios.

Por último, hay que hacer referencia a la econometría que, al igual que la dinámica de sistemas, se ha desarrollado vigorosamente al calor de los avances en informática y cibernética, y goza de un reconocimiento generalizado. Ello, unido al hecho de que su filosofía difiera bastante de la que puede encontrarse en ésta (probablemente debido a que sus orígenes no se encuentran en la ingeniería o la investigación operativa), ha derivado en un intenso debate acerca de las ventajas e inconvenientes de una frente a la otra. De todas formas, una discusión metodológica sobre las ventajas o inconvenientes de cada técnica no permite decidir de forma absoluta cuál de ellas es preferible a la otra, por esa razón se suele establecer una serie de casos en los que la aplicación de la dinámica de sistemas sería preferible a la econometría, y a la inversa en caso contrario (Chen 1983, p. 175; y Aracil 1986, pp. 27-29):

a) En aquellas áreas en las que la escasez o debilidad de teorías no proporcione un aparato cuantitativo que permita construir un modelo, concretamente cuestiones de planificación regional y modelización de sistemas mundiales, en donde las variables interactúen sin que exista un aparato teórico.

b) Cuando los bucles de realimentación jueguen un importante papel.

c) Cuando predominen las relaciones no lineales, y la linealización sea engañosa.

d) Cuando la medición de las variables sea difícil o no existan datos.

e) Cuando la precisión en los valores de los parámetros pueda ser determinada sin necesidad de recurrir a la estimación estadística.

Hay que tener en cuenta que ambas técnicas están vinculadas a la existencia de dos paradigmas competitivos, manifestándose ello desde el mismo momento en que se produce la elección de los problemas objeto de estudio, diferentes por supuesto, pero además la óptica con que abordan los sistemas socioeconómicos y sus problemas también es diferente, e incluso en lo referido al significado de términos clave como predicción, sensibilidad, y validación (Meadows 1980, p. 49). En definitiva, la cuestión de determinar la metodología a utilizar depende, a veces, más de factores subjetivos que de los propiamente objetivables, lo cual no tiene por qué contemplarse necesariamente como algo negativo.

En cualquier caso, los paradigmas tanto de la dinámica de sistemas como de la econometría no son totalmente incompatibles, por ello, para que dicha labor de síntesis pueda ser realmente fructífera precisaría de modificaciones por parte de ambas técnicas, entre ellas destacan (véase Chen 1983, p. 176): 1) para la econometría: considerar la estructura dinámica y de realimentación de los sistemas, incorporar relaciones no lineales, y diferenciar entre variables de nivel y de flujo, desarrollando reglas que permitan aplicar sus relaciones causales; y 2) para la dinámica de sistemas: incorporar procedimientos que permitan un mejor análisis de los datos en la estimación de los parámetros, realizar verificaciones empíricas, integrar las teorías socioeconómicas existentes con otros conocimientos adquiridos por la experiencia, y ensanchar el abanico de disciplinas de que hacen uso.

Al hilo de lo comentado anteriormente, una línea importante en la que deberían trabajar los investigadores en sistémica es la integración de la dinámica de sistemas con otras técnicas que utilicen información dura (como pueden ser la econometría, el análisis input-output, y la programación lineal), o blanda (técnicas de optimización multicriterio), de tal forma que se puedan aprovechar las posibilidades de estas técnicas, a la vez que se reducen de forma importante las suspicacias que muchos estudiosos plantean a la dinámica de sistemas.

2. Características generales de un modelo de simulación socioeconómica para Andalucía ⁷.

Este modelo puede considerarse como un instrumento de análisis y simulación del sistema socioeconómico andaluz en el largo plazo (quince años, aunque el período prospectivo es sólo de diez), para así tratar de describir las tendencias que subyacen en el mismo. No es, por tanto, el objetivo obtener unas predicciones fiables y rigurosas sobre las principales variables consideradas, puesto que, evidentemente, la cada vez mayor apertura e inserción de esta economía regional en su contexto nacional e internacional, llevan a una importante dependencia (sobre todo en el largo plazo) de elementos incontrolables y ajenos al sistema imposibles de modelizar a largo plazo. En cualquier caso, la utilidad didáctica de este tipo de instrumentos, bien a niveles académicos o de la administración pública, es indudable. Dicha flexibilidad permite integrar globalmente un conjunto de relaciones entre variables e informacio-

nes procedentes de fuentes diversas ⁸, que se articula para cada submodelo a través de una serie de teorías compatibles con el contenido y objetivos del modelo. A su vez, éstas se integran a través de la dinámica de sistemas, que establece los nexos de unión entre los diferentes submodelos y, por tanto, el funcionamiento dinámico de los mismos.

No obstante, para apreciar el funcionamiento global del modelo, en dinámica de sistemas se suele acudir al diagrama causal simplificado del mismo en donde se recogen las principales variables y relaciones de cada submodelo, así como las interconexiones entre éstos (véase la Figura 1). Obviamente, en dicho diagrama no se incluyen todas y cada una de las variables consideradas, sino tan sólo aquellas que tengan una relevancia especial (véase el Cuadro 2), bien en cuanto a la validación o por su especial significación en la explicación del comportamiento analizado (variables básicas y sintéticas, respectivamente).

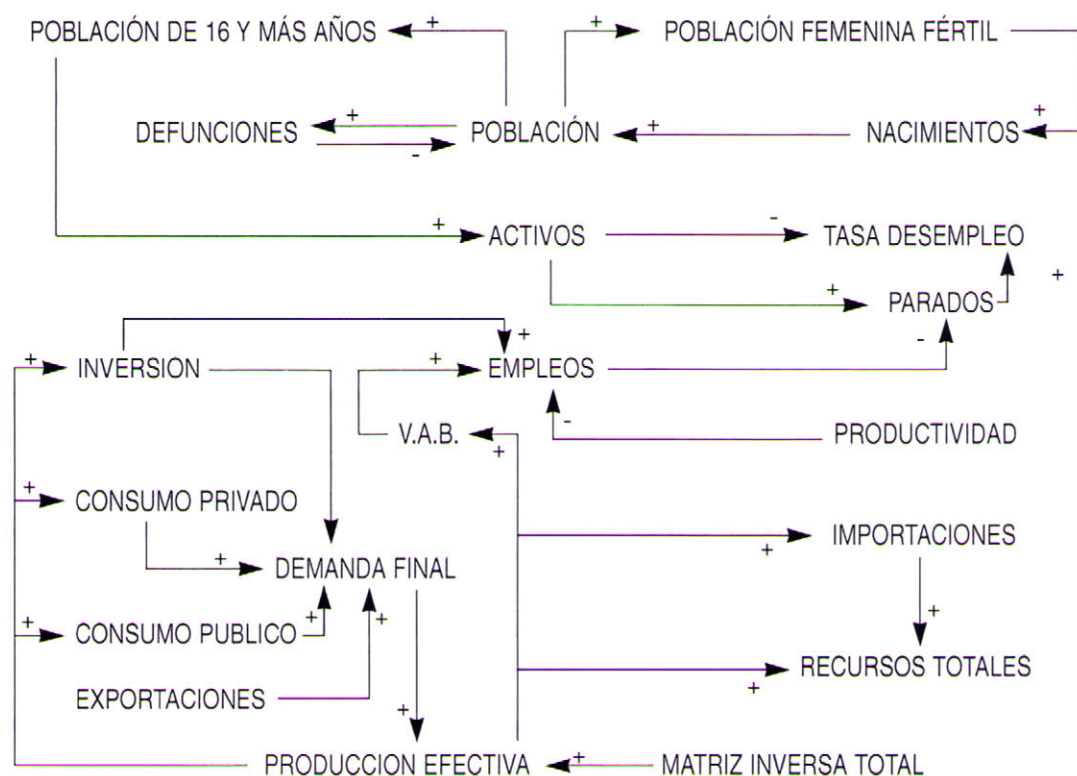
La significación económica y el funcionamiento de los distintos submodelos sería el siguiente:

Cuadro 2.. Principales variables del modelo.

	Demografía	Mercado Laboral	Macroeconomía
Variables sintéticas	Población	Empleo	P.I.B. Demanda final
Variables básicas	Nacimientos Defunciones Pobl. mayor 16 años	Activos Parados	Cons. publico/privado, V.A.B., Exportaciones netas, Inversión

7. Todo el proceso de formulación y calibrado del modelo se puede encontrar de forma más de tallada en Melchor (1995).

8. Incluso ya es factible incorporar variables medioambientales, gracias a la inminente aparición de la Tabla Input Output de Medio Ambiente de Andalucía, 1990.

Figura 1. Diagrama causal del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

a) Demografía; en el mismo se simula la estructura poblacional desagregada por sexo y grupos de edad, derivándose de la agregación de distintas cohortes bien la población total o la población de 16 y más años. La importancia de este submodelo radica en que de él deriva la oferta de trabajo disponible, más que en la obtención de previsiones poblacionales año a año, pues la relativa estabilidad de flujos migratorios y tasas vitales permite determinar la pirámide poblacional a pocos años vista con un grado de precisión importante. Para ello se ha utilizado el método de los componentes demográficos, a través de la proyección por separado de las principales magnitudes demográficas como nacimientos y defunciones, prescindiendo deliberadamente del saldo migratorio dada la compleja y poco fructífera tarea de reproducir su comportamiento en los últimos años (hipótesis de saldo nulo).

b) Mercado de trabajo; en este submodelo se relaciona oferta y demanda de trabajo, obteniéndose de dicha relación unos niveles de desempleo, tanto agregados como sectoriales. La población activa se deriva del submodelo demográfico, como resultado de aplicar a la población de dieciséis y más años una tasa de actividad (por sexo y grupos de edad). Por otro lado, las demandas de ocupación por el sistema productivo andaluz vendrían determinadas por el Valor Añadido Bruto y la productividad dinamizada, incluyéndose además un multiplicador que recoge el efecto de las fluctuaciones de la inversión regional sobre dichas demandas.

c) Macroeconomía; se parte de las relaciones fundamentales de la Contabilidad Nacional para calcular la demanda final como suma de sus componentes, los cuales se obtienen bien como resultado de aplicar el modelo de

Samuelson-Hicks de interacción entre el acelerador y el multiplicador (para el consumo privado y la inversión), bien aplicando la propensión marginal correspondiente (al consumo público o a importar) a la producción efectiva, o estableciendo alguna hipótesis sobre la evolución futura de las exportaciones (variable exógena, por tanto). Es precisamente para obtener la producción efectiva donde se introduce el análisis input-output, pues a partir de unos valores iniciales para dicha producción (y por tanto para los componentes de demanda final), se dinamiza ésta año a año en virtud de los resultados proporcionados por un modelo input-output de demanda que trabaja a partir de 1990 con la matriz de coeficientes técnicos de Andalucía para dicho año (una vez hecha la agregación correspondiente).

De todo lo comentado hasta este punto se podría inferir la causalidad existente entre los distintos submodelos, llegándose a la conclusión que de todos ellos cabe considerar como dirigentes al demográfico y macroeconómico. Con dicha calificación no se pretende ni mucho menos jerarquizarlos al modo que se podría hacer con las variables a través del análisis de la estructura causal, sino más bien constatar el hecho de que dichos submo-

delos son relativamente independientes entre sí y con el resto, y condicionan de forma directa la evolución del mercado laboral regional. Evidentemente, trabajar con un modelo a muy largo plazo (50 o 100 años), requeriría también establecer relaciones de causalidad bidireccionales entre todos y cada uno de los submodelos, e incluso incorporar otros en donde se concibiese el sistema socioeconómico regional como abierto a su entorno (nacional e internacional).

En cualquier caso, considerando el horizonte de simulación establecido y las teorías que sustentan los anteriores submodelos (con lo que ello supone en cuanto a correcto diseño de los mecanismos y especificación de ecuaciones y parámetros), no cabría esperar de la simulación unos resultados incoherentes; sin embargo, la validación interna no garantiza plenamente la ausencia de éstos, de ahí que deba compararse el comportamiento del modelo con el del sistema real (fundamentalmente desde un punto de vista cualitativo). Para ello se ha fijado un período de calibrado amplio (1981-1991), puesto que en caso contrario la concordancia en las trayectorias sería difícilmente apreciable.

Cuadro 3. Variables sintéticas de los submodelos demográfico y laboral, 1981-1991.

	Resultados simulados			Diferencias con datos reales (%)		
	1981	1986	1991	1981	1986	1991
Población	6.441.149	6.721.274	6.898.276	0,002	-1,01	-0,61
Empleos	1.548.900	1.525.913	1.777.203	0	1,92	-2,08

Nota: Los datos reales de población proceden de los Censos de Población 1981 y 1991, y del Padrón de 1986, mientras que los de empleo se han obtenido de la Encuesta de Población Activa.

En los Cuadros 3 y 4 se recogen los valores simulados para las variables sintéticas del modelo, apreciándose una más que aceptable reproducción de las principales tendencias reales (en los submodelos demográfico y laboral), lo cual si se une a las escasas diferencias cuantitativas (un 4% el año en que más para el P.I.B.), permite valorar muy positivamente el comportamiento del modelo. En el caso de las variables macroeconómicas, no se valora la evolución tendencial debido a que si

bien se dispone de los datos históricos de la Contabilidad Regional de España, el haber hecho uso en el modelo sólo de la información procedente de las Tablas Input-Output de Andalucía, 1980 y 1990, podría derivar (caso de utilizar aquélla) en discrepancias con los datos simulados debido más a problemas de homogeneidad que a un deficiente diseño y calibrado del modelo. Por ello, y aunque las trayectorias simuladas son coherentes con la situación de la década de los

Cuadro 4. Variables sintéticas del submodelo macroeconómico en 1990 (millones de ptas).

	Resultados simulados	Resultados reales	Diferencias absolutas	Diferencias (%)
Producto Interior Bruto a p.m.	5.992.285	6.254.240	-261.955	-4,19
Demanda Final	9.342.930	9.596.426	-253.496	-2,71

Nota: Los datos reales de P.I.B. y demanda final se han obtenido de la Tabla Input-Output de Andalucía, 1990.

ochenta, se ha optado por efectuar dicha comparación en 1990, la cual es bastante significativa dado que el modelo se inicializa en 1981.

Asimismo, analizada la sensibilidad de las principales variables a la especificación de los parámetros, cabe afirmar la relativa independencia de éstas frente a pequeños cambios (lo cual constituye un importante elemento de validación en dinámica de sistemas) hasta aproximadamente el año 2005, mostrando a partir de entonces un comportamiento más explosivo. Esta circunstancia, aunque no es determinante para la selección del horizonte de simulación, sí en cambio es indicativa de la confiabilidad en los datos simulados.

Todas estas observaciones permiten calificar la validez del modelo como buena, y por ello ya es factible su utilización como instrumento de simulación y análisis de los resultados generados en distintos escenarios.

3. Análisis de los resultados generados por el modelo.

Ante la incertidumbre que cualquier esfuerzo de modelización lleva consigo a la hora de establecer con absoluta precisión los parámetros que definen la evolución de las variables exógenas, se suele optar por agrupar las posibles trayectorias en conjuntos coherentes (escenarios) que, en cierta medida, reflejen la incidencia del contexto nacional e internacional en el sistema regional. Por ese motivo en este trabajo se ha optado por consi-

derar tres escenarios que podrían responder a una amplia y variada casuística:

a) Escenario tendencial; en él se establece el mantenimiento de las condiciones demográficas, laborales, y de reactivación económica existentes durante la década de los ochenta.

b) Escenario optimista; refleja, en cambio, una situación bastante positiva en relación a la mostrada por el anterior, sin embargo, hay que entender esa valoración desde una perspectiva global para todos y cada uno de los submodelos considerados, no para variables determinadas.

c) Escenario pesimista; mediante el mismo se describe una situación de crisis generalizada que afecta tan sólo a las principales variables macroeconómicas (a través de un menor crecimiento).

En el Cuadro 5 se recogen las variables de escenario consideradas que, como puede apreciarse, pertenecen casi todas al submodelo macroeconómico, excepto la tasa de mortalidad cuyas hipótesis por escenarios no requieren comentario adicional. El resto de variables, en cambio, sí: 1) tanto la propensión marginal al consumo privado como el ratio capital/producción efectiva, se derivan de la estimación econométrica realizada para España por el modelo MOISEES⁹ (aunque con calibrados específicos para cada escenario), siendo quizás lo más relevante en el primer caso la moderación en el crecimiento de la propensión que, de hecho, refleja las tendencias actuales en política económica, en donde se plantea conseguir expansiones económicas más duraderas aunque a costa de reducir su intensidad; y 2) en cuanto a la propensión marginal al

9. Las referencias utilizadas corresponden a las estimaciones realizadas en base al período 1966-1988 que proporciona el Modelo de Investigación y Simulación de la Economía Española (MOISEES) elaborado por la Secretaría General de Planificación Económica del Ministerio de Economía y Hacienda.

Cuadro 5. Relación de variables de escenario.

	Escenarios		
	Base tendencial	Optimista estancamiento	Pesimista tendencial
Tasa de mortalidad (desde 1991)			
Propensión al consumo privado en el año 2000	0,465	0,4675	0,4625
Propensión al consumo público (desde 1990)	estancamiento	tendencial	estancamiento
Ratio capital/producción efectiva (desde 1994)	2,415	2,42	2,4

consumo público, las hipótesis de escenario se han establecido desde una óptica de demanda (como contribución a la demanda agregada, y por tanto al crecimiento económico y al empleo).

Una vez definidos los tres escenarios a utilizar, se procede a simular el modelo al objeto de obtener una serie de imágenes con las que efectuar un análisis comparativo (véase el Cuadro 6) para así establecer algunas conclusiones sobre el comportamiento previsible del sistema socioeconómico andaluz.

Con relación al submodelo demográfico, ya se ha apuntado con anterioridad su relativa independencia frente a implicaciones provenientes de otros submodelos, de ahí que no quepa esperar otra cosa que escasas modificaciones para cualquier escenario en relación al resto, y las existentes se derivan del efecto que el estancamiento o

no de la tasa de mortalidad tendría sobre la población total (y por tanto sobre nacimientos, etc.). Todo ello viene a poner de manifiesto, como ya es bien conocido por otra parte, la relativa independencia de los aspectos demográficos regionales ante medidas de política económica dirigidas a estimular el crecimiento, el empleo, y por tanto el bienestar, por lo menos en períodos de tiempo como los considerados en la simulación.

Por lo que se refiere a las imágenes generadas por el modelo para las principales variables laborales, hay que hacer referencia a la mayor estabilidad que muestran en el escenario optimista tanto la ocupación como el desempleo regional a lo largo de todo el período de simulación. Sólo de esta forma se puede entender el que en dicho escenario se genere empleo permanentemente, mientras que en los restantes se destruye hasta 1999. En ese sentido, el escenario base (también podría califi-

Cuadro 6. Variables sintéticas simuladas según escenarios (crecimiento medio anual %).

		1995	1997/1995	1999/1997	2001/1999	2003/2001	2005/2003
Población	Base	7005240	0,37	0,36	0,34	0,33	0,34
	Optimista	7008021	0,4	0,39	0,39	0,39	0,41
	Pesimista	7005240	0,37	0,36	0,34	0,33	0,34
Empleo	Base	1753367	-0,25	-0,39	0,63	1,15	2,42
	Optimista	1793878	0,14	0,25	0,95	0,53	0,71
	Pesimista	1670647	-0,37	-0,74	1,51	4,12	4,99
P.I.B. (mill.ptas)	Base	6880227	1,15	0,89	1,05	1,21	1,84
	Optimista	7004893	1,75	1,48	1,48	1,3	1,52
	Pesimista	6689071	0,47	0,47	1,06	1,77	2,84
Demanda final (mill.ptas)	Base	10976938	1,71	1,29	1,26	1,29	1,7
	Optimista	11123854	2,24	1,83	1,7	1,49	1,57
	Pesimista	10756821	1,06	0,82	1,1	1,59	2,42

carse como tendencial), pero sobre todo el pesimista exhiben importantes fluctuaciones (en ocasiones incluso generando más empleo) que, en este último caso le llevan a finalizar la simulación con las mayores tasas de crecimiento medio anual. En cuanto al desempleo (tanto en términos absolutos como expresado en tasa sobre los activos), su situación se encuentra condicionada por la evolución de la ocupación recién comentada, pero también por el mayor crecimiento de los activos en el escenario optimista, de ahí que por esta vía se refuerce en el horizonte de simulación la aparente paradoja de que un escenario con tal calificación presente una situación no tan buena como la del resto. Independientemente de que la fuerte expansión en el escenario pesimista a final del período pueda verse influida por posibles disfunciones del modelo debidas a la duración de la simulación, lo que parece bastante claro es la existencia de dos etapas claramente definidas: una primera que llegaría hasta finales de siglo en donde se mantendría la situación actual de crecimiento bastante (tocando fondo en ese momento); y una segunda de fuerte expansión económica que se iniciaría desde entonces.

Finalmente, habría que destacar muy especialmente las simulaciones macroeconómicas por escenarios, puesto que ellas permiten explicar en buena medida las trayectorias recién comentadas para el mercado de trabajo. Así, analizando las tasas de crecimiento de variables como inversión y exportaciones netas, puede apreciarse claramente para cada escenario las oscilaciones antes observadas. Aunque, evidentemente, los consumos público y privado como componentes de demanda tienen un peso muy superior al que conjuntamente tienen los dos anteriores, ello no es suficiente para impedir que variables como P.I.B., demanda final o valor añadido bruto (aunque en menor medida) reflejen aquéllas fluctuaciones. En la medida en que tanto esta última variable como la inversión determinan el nivel de ocupación regional¹⁰, es fácil entender la similitud entre las trayectorias de todas ellas.

A nivel global, la ralentización en el crecimiento demográfico unida a la moderación en la incorporación de activos al mercado laboral (como resultado de la aproximación de la tasa de actividad regional a la media española), permiten ser algo más optimistas (por el lado

de la oferta) en lo que se refiere a la solución del primer problema con que cuenta Andalucía: el desempleo. El ciclo económico, cuya incidencia sobre el mismo es determinante, no parece que vaya a contribuir de forma decisiva en su solución en lo que resta de década, puesto que en ningún escenario la tasa de desempleo bajaría del 32% a finales de la misma. No es sino hasta comienzos del próximo siglo cuando se inicia una fuerte recuperación cuya intensidad según escenarios es proporcional al grado en que sufrieron la crisis (o el estancamiento) en los años precedentes. No obstante, en el horizonte de simulación aún en el mejor de los casos, la tasa de desempleo es lo suficientemente alta como para confirmar el carácter prioritario de este problema entre los objetivos de política económica regional.

Aunque no se hayan introducido explícitamente variables exógenas que recojan tanto la situación de atonía en las economías japonesa y alemana, como la aplicación de políticas de ajuste en los países de la Unión Europea derivadas del proceso de unificación económica y monetaria emanado del Tratado de Maastricht, el hecho es que los resultados simulados son coherentes no sólo con la situación actual, sino también con el calendario de dicho proceso, de ahí que, con las limitaciones inherentes a cualquier esfuerzo de modelización, se podría apuntar hacia una posible reproducción de las tendencias subyacentes no sólo del sistema económico regional, sino incluso nacional, por parte de la estructura del presente modelo.

4. Conclusiones finales.

Como conclusión de todo lo anterior, habría que valorar positivamente la validez de la dinámica de sistemas como técnica de análisis regional en su aplicación al sistema socioeconómico andaluz, no sólo por la correcta reproducción de los comportamientos reales sino también por una más que aceptable aproximación cuantitativa de los valores simulados a los históricos. Evidentemente, todo modelo es mejorable y ampliable, sin embargo, en dinámica de sistemas dichas posibilidades se ven acrecentadas debido al carácter acumulativo de todo el trabajo que realice en ese sentido el modelador, y por la propia filo-

10. Al considerar las repercusiones de la inversión regional en la ocupación se está de hecho entendiendo que las evoluciones de esa variable son indicativas de la situación en que a medio plazo se encontrará Andalucía en el plano laboral y económico.

sofía de esta técnica. De esta forma, el calibrado de los parámetros o la especificación de las ecuaciones pueden ser modificadas a la luz de nueva información estadística o de un mejor conocimiento sobre el funcionamiento del sistema, o se pueden incorporar nuevos submodelos para explicar de forma más precisa una situación determinada o para reducir los aspectos oscuros introducidos a través de variables exógenas. De entre las posibles ampliaciones o reelaboraciones que cabrían realizarse en el modelo anteriormente descrito, quizás las más relevantes (aparte de un mayor detalle y desagregación del mismo) serían: 1) la incorporación de un submodelo de medio ambiente, para lo cual la información procedente de la Tabla Input-Output de Medio Ambiente de Andalucía, 1990 jugaría un papel destacado; y 2) implementar un mayor número de variables exógenas que hiciesen referencia al influjo del contexto nacional e internacional en el sistema regional.

Por todo lo comentado anteriormente, la estructura del modelo diseñado para Andalucía (que está en la línea de lo hecho para otros territorios) sería perfectamente aplicable a otras regiones previa modificación de parámetros y algunas relaciones. Otra opción consistiría en adoptar el ámbito nacional como marco de referencia, e incluir un segundo nivel en donde se situarían los submodelos regionales, o incluso coordinar a equipos de investigadores en sistemática a escala internacional para desarrollar un programa que fuese para dinámica de sistemas lo que hoy por hoy es el proyecto LINK en econometría. Sin embargo, en las sesiones de la Conferencia Internacional de la System Dynamics Society en 1996, no se aprecia excesivo interés por esa línea de trabajo, sino más bien por cuestiones de modelización estratégica en empresa o como instrumento de formación para directivos y estudiantes.

Bibliografía

ARACIL, J. (1982): "Aspectos de la Aplicación de la Dinámica de Sistemas a Modelos Urbanos y Territoriales", en *Tablas Input-Output y Cuentas Regionales. Teorías, Métodos y Aplicaciones*. Especial Referencia al Caso de Andalucía, Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Sevilla, nº 19, pp. 437-470.

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

CHEN, M. M. (1983): "National, Regional, and Corporate Planning Methodologies - System Dynamics versus Simultaneous Equation Using Regression", *Socioeconomic Planning Sciences*, vol. 17, nº 4, pp. 173-176.

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

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

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

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

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

FORRESTER, J. W. (1984): "The System Dynamics National Model: Objectives, philosophy, and status", 1984 *International System Dynamics Conference*, Oslo.

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. (1989): "The System Dynamics National Model: Macrobbehavior from microstructure", *System Dynamics Group Working Paper D-4020*, M.I.T., Cambridge (Massachusetts).

FOXLEY, R. A. (1975): *Estrategia de Desarrollo y Modelos de Planificación*, Méjico, D.F., Fondo de Cultura Económica.

GARAYALDE, I. (1989): *Modelo Lanere (versión 3): Un Instrumento de Simulación del Sistema Económico en la C.A.P.V.*, Vitoria, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

GRAHAM, A. K. (1984): "Introduction to the System Dynamics National Model Structure", *System Dynamics Group Working Paper D-3573*, M.I.T., Cambridge (Massachusetts).

- MARTÍNEZ VICENTE, J. S.; MONREAL, J.; REQUENA, A.; TOVAL, A.; y PÉREZ, C. (1985): *Un Modelo de Planificación Educativa. Simulación Dinámica para la Región de Murcia*, Murcia, Consejería de Cultura y Educación de la Comunidad Autónoma de Murcia.
- MARTÍNEZ VICENTE, J. S. y REQUENA, A. (1986): *Dinámica de Sistemas. 1. Simulación por Ordenador*, 2. Modelos, Madrid, Alianza Editorial.
- MARTÍNEZ VICENTE, J. S. (1988): "Dinámica de Sistemas y Planificación Regional". *Ekonomiaz. Revista de Economía*, nº 11, pp. 43-60.
- MEADOWS, D. H. (1980): "The Unavoidable a Priori", en RANDERS, J. (1980): *Elements of the System Dynamics Method*, Cambridge (Massachusetts), Wright-Allen Press, pp. 23-94.
- MELCHOR, E. (1995): *Aplicación de la Dinámica de Sistemas al Estudio Integrado de Economía, Contaminación y Recursos Naturales en Andalucía*, Tesis Doctoral de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Málaga.
- PÉREZ RÍOS, J. (1989): *Aplicación de la Dinámica de Sistemas al Análisis y Planificación Económica Regionales. El Caso Castellano-Leonés*, Tesis Doctoral de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.
- PÉREZ RÍOS, J. (1990): "Enfoques Cuantitativos para el Análisis Regional: El papel de la dinámica de sistemas". *Actas del II Congreso de Economía Regional de Castilla y León*, Servicio de Estudios de la Consejería de Economía y Hacienda, Junta de Castilla y León.
- RAMÍREZ, J. N. (1990): *Una Aproximación al Análisis Cuantitativo de una Economía Regional. Especial Consideración de los Modelos Económicos Regionales*, Tesis Doctoral de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Málaga.
- RANDERS, J. (1980): *Elements of the System Dynamics Method*, Cambridge (Massachusetts), Wright-Allen Press.
- 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, Michigan, University Microfilms International.
- RICHARDSON, G. P. y PUGH, A. L. (1981): *Introduction to System Dynamics Modeling*, Cambridge (Massachusetts), Productivity Press.
- SERVICIO DE ECONOMÍA DEL DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA Y HACIENDA DE NAVARRA (1988): *Modelo de Dinámica de Sistemas de la Economía Navarra* (MIDSENA), Documento de Trabajo 04/88, Gobierno de Navarra.
- 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, nº 3, May/June, pp. 399-408.
- WOLSTENHOLME, E. F. (1982): "System Dynamics in Perspective". *Journal of the Operational Research Society*, vol. 33, nº 6, pp. 547-556.