

DINÁMICA DE SISTEMAS Y PLANIFICACIÓN REGIONAL

SILVIO MARTÍNEZ VICENTE

Instituto de Economía y Geografía Aplicadas
C.S.I.C.

Palabras clave: Planificación regional, dinámica de sistemas.
Nº de clasificación JEL: L52, O21, P11, R1

0. INTRODUCCIÓN

El artículo está estructurado en tres partes. En la primera se presenta la técnica de dinámica de sistemas (DS) y se explica cómo puede ser utilizada en la planificación regional. En este sentido, la DS es un método de trabajo globalizador en una doble perspectiva: permite sintetizar los contenidos de muy diversas técnicas (modelos econométricos, programación lineal, tablas input-output, etc.) y, además, es un buen procedimiento para el trabajo interdisciplinar, que es imprescindible en la planificación. Junto a estas características, la DS es una técnica versátil, fácil y conversacional, característica esta última de gran interés en la planificación deslizando que las circunstancias cambiantes imponen en la actualidad.

La segunda parte del trabajo se destina a presentar y comentar los principales modelos DS de planificación regional. Se comienza con el modelo de Hamilton y se pasa a modelos regionales realizados sobre diversas zonas españolas. Así, se resumen los modelos *RAPIM*, *MOPEM* y *CANAGUA*.

La tercera parte se ocupa de un modelo de prospectiva regional que, sin duda, es el más veterano de los elaborados en nuestro país. Se trata del modelo *NAVARRA/2000*, cuya primera versión operativa se realizó en 1976 y que en la actualidad se encuentra en su

quinta versión, que es la que se comenta. Esta versión tiene dos características fundamentales: a) se trata de una síntesis de los modelos *MOSTRAN* (Modelo de Simulación de Trabajo en Navarra) y del *NAVARRA/2000/IV* (obviamente con las actualizaciones pertinentes); b) se ha implementado sobre microordenador.

La parte final del artículo presenta la bibliografía citada en el mismo. Para referencias más amplias pueden consultarse los manuales que, a su vez, se referencian. Asimismo, conviene advertir que un perfecto entendimiento de los modelos comentados sólo puede tenerse mediante la consulta de las memorias correspondientes, las cuales son propiedad de los organismos financiadores de cada trabajo.

El plan de artículo es el siguiente: en primer lugar, una introducción a la técnica de dinámica de sistemas (DS) y su empleo en planificación regional; después, una breve exposición de modelos DS aplicados a planificación regional; finalmente, en línea con el tema anterior, un comentario detallado del modelo decano de planificación regional española: el modelo *NAVARRA/2000*.

1. QUE ES LA DINÁMICA DE SISTEMAS (DS)

Durante siglos, para el estudio científico de los fenómenos ha predominado el *enfoque analítico*.

El *enfoque analítico* parte del principio de considerar con gran detalle las diferentes partes de un fenómeno. Esto se logra a costa de perder la visión de conjunto. En la actualidad, el *enfoque analítico* sigue teniendo gran interés. Sin embargo, es insuficiente para explicar muchos fenómenos. Para tratar de resolver esta situación ha aparecido el *enfoque sistémico*. El *enfoque sistémico* parte del principio de que es preferible una visión global de los problemas, aun a costa de perder los detalles. Los *enfoques analítico y sistémico* no tienen por qué ser contrapuestos. Por el contrario, si se utilizan complementariamente pueden obtenerse muy buenos resultados.

La *dinámica de sistemas (DS)* nace como una técnica que permite analizar los sistemas y simular sus comportamientos pasados y futuros. J. Forrester, ingeniero de sistemas del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) desarrolló este método durante la década de los cincuenta. La primera aplicación fue el análisis de la estructura de una empresa norteamericana y el estudio de las oscilaciones muy acusadas en las ventas de esta empresa.

Jay W. Forrester recibió el encargo de la compañía norteamericana *Sprague Electric* de estudiar las acusadas oscilaciones de sus ventas y establecer medidas para corregir tales oscilaciones. Por su experiencia anterior, Forrester comprendió que la esencia del problema radicaba en las oscilaciones que presentan los sistemas que tienen como características estructurales los efectos inerciales o retardos, y efectos hacia atrás o bucles, o de realimentación. El hecho de que sistemas de esta naturaleza tuvieran un comportamiento histórico oscilante era perfectamente conocido por los estudiosos de los sistemas mecánicos (1) y de los ecológicos. Precisamente en el estudio de ecología de poblaciones habían centrado parte de sus estudios los biomatemáticos Lotka y Volterra (2).

(1) A este respecto pueden verse las obras de P. Apple, *Mécanic-Rationnelle*, ed. Gauthier-Villar, París, 1884; y D. Maravall Casesnoves, *Ingeniería de las Oscilaciones*, ed. Dossat, Madrid, 1959.

(2) V. Volterra, *Leçon sur la Théorie Mathématique de la lutte pour la vie*, ed. Gauthier-Villar, París, 1934.

En 1961, Forrester publicó su obra *Industrial Dynamics*, que marca el comienzo de la «técnica DS» como procedimiento de estudio y simulación del comportamiento de sistemas sociales. En 1969, se publica la obra *Dinámica Urbana* (Forrester), en la que se muestra cómo el «modelado DS» es aplicable a sistemas de ciudades. En 1970, aparece *World Dynamics* o «El modelo del mundo», trabajo que sirvió de base para que Meadows y Meadows realizasen el *I Informe al Club de Roma*, investigación que fue divulgada con el nombre de *Los límites del crecimiento* (1972). Se puede decir que este trabajo, y las numerosas polémicas que suscitó, popularizaron la *Dinámica de Sistemas* a escala mundial.

En el momento actual, *Dinámica de Sistemas (DS)* o *Simulación Dinámica* — como también es, a veces, denominada — es una técnica de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistema con tal de que éste tenga las aludidas características de existencias de *retardos y bucles de realimentación*. Estas características son especialmente agudas e intensas en los sistemas sociales; y ello conlleva que estos sistemas tengan comportamientos *inesperados y contraintuitivos*.

En España son ya numerosos los trabajos en que se ha empleado la DS como técnica de modelado. Entre los más representativos pueden citarse los siguientes:

- *Dinámica de Sistemas y Planificación Urbana*, de J. Aracil y J. M. Bueno (1976).
- *Navarra 2000*, de J. S. Martínez Vicente, I. Ardaiz (1980).
- *Canagua: la gestión del agua en las Islas Canarias*, de J. S. Martínez Vicente, F. Ruiz de Francisco, A. Iñiguez y otros (1978).
- *El modelo Murcia*, de J. S. Martínez Vicente, A. Requena y otros (1983).
- *Los modelos RAPIM*, de M. A. García Dory, J. S. Martínez Vicente y otros (1985).
- *El modelo LANERE*, de I. Garayalde y otros (1985).

Algunos de estos modelos son comentados más adelante. Junto a estas referencias pueden consultarse como textos generales los de Aracil (1986) y Silvio Martínez y Alberto Requena (1986).

A continuación se establece un plan de etapas convencionales que corresponden a diversos hitos en la elaboración de modelos con la técnica DS:

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA, IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES.
2. DIAGRAMA CAUSAL.
3. DEFINICIÓN PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES.
4. DIAGRAMA DE FORRESTER Y DIAGRAMA MSD.
5. SISTEMAS DE ECUACIONES.
6. CALIBRADO.
7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.
8. EVALUACIÓN DEL MODELO: CONTRASTADO.
9. UTILIZACIÓN DEL MODELO: ESCENARIOS E IMÁGENES SIMULADAS.

En el plan de etapas propuesto, la 1.^a es común a cualquier clase de modelos; la 2.^a, 3.^a, 5.^a, 6.^o y 8.^a son propias de cualquier clase de modelo matemático. La 9.^a no es propiamente una etapa de construcción, sino la justificación de la construcción: el modelo debe ser utilizable. Dicha utilidad, como mínimo, debe suponer lo pasado y como deseable simular el futuro.

Dada la extensión de este artículo, no se comentan cada una de las etapas. Se pasa directamente a explicar el uso general de los modelos DS. La primera, trivial, utilización de un modelo DS, es una aproximación al conocimiento del sistema que representa. Sin embargo, normalmente se debe esperar más de los modelos. Se llamará simulación a la generación de valores de las variables endógenas a partir del modelo, con diversas hipótesis alternativas de

conjuntos coherentes de valores de las variables exógenas y parámetros. Para hacer simulación con un modelo DS hace falta conocer:

- 1.^o La forma estructural del modelo (etapas 1 a 6).
- 2.^o Las condiciones iniciales.
- 3.^o Los «escenarios» de simulación.

Conocer las condiciones iniciales supone saber:

- a) Los valores para *tiempo inicial* de todos los niveles.
- b) Los valores de las variables predeterminadas (sean flujos o auxiliares) con tantos retardos como contenga la ecuación.
- c) Los valores de los parámetros absolutamente invariables.

Establecer un «escenario» de simulación supone determinar valores coherentes desde *Tiempo = Tiempo inicial* hasta *Tiempo = Tiempo final* de las siguientes magnitudes:

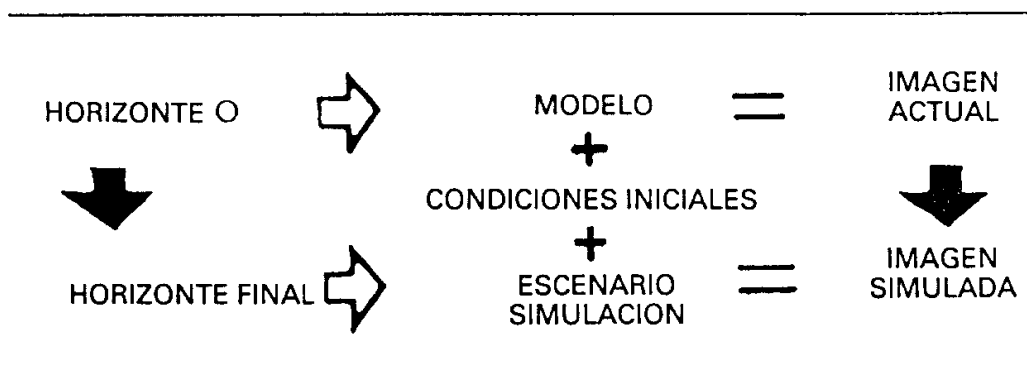
- a) Todas las variables exógenas ligadas al tiempo, período a período.
- b) Valores fijos de aquellos parámetros que se consideren constantes simulables.

A veces se denomina «escenario» *lato sensu* al conjunto de condiciones iniciales y valores de lo que aquí se ha denominado «escenario» *stricto sensu*. La razón de proponer que se distingan condiciones iniciales y «escenario de simulación» radica en que aquéllas son invariantes y se deberían conocer objetivamente, en tanto que éstos son múltiples y se establecen subjetivamente.

En la terminología prospectiva se denomina imagen del sistema al conjunto de valores de las variables endógenas en el horizonte final asociado a cada conjunto de condiciones iniciales (fijas) y escenarios de simulación.

Esquemáticamente se puede resumir lo anterior de la manera que se representa en el gráfico n.º 1.

Gráfico n.º 1. «Escenario» e «Imágenes».



A continuación veremos cómo pueden emplearse los modelos DS en planificación regional. La palabra planificación se utilizará aquí en la acepción de Tinbergen (1961). Es decir, se entenderá por planificación la puesta en práctica de una serie de instrumentos para alcanzar unos fines u objetivos. Por tanto, las ideas cruciales son éstas:

- 1.^a Existen unos *objetivos o fines*.
- 2.^a Se dispone de unos *instrumentos* con que lograr los objetivos.
- 3.^a Se debe establecer una *estrategia* o modo de puesta en práctica de los instrumentos. A esta estrategia se llamará *política*.

Convencionalmente suelen distinguirse las siguientes fases de la planificación:

1. DEFINICIÓN OBJETIVOS E INSTRUMENTOS.
2. IDENTIFICACIÓN RESTRICCIONES.
3. DIAGNOSTICO.
4. MODELO.
5. ESCENARIOS.
6. IMÁGENES.
7. EVALUACIÓN.
8. POLÍTICAS.

El contenido de la primera fase es obvio. En la segunda se establecen las relaciones teóricas entre objetivos e instrumentos (también puede

denominarse determinación del diagrama causal o de influencias). La tercera supone hacer un juicio sobre el estado actual y reciente del sistema. En la cuarta se pasa del diagrama causal al modelo matemático. La quinta fase supone determinar hipótesis coherentes para todas las variables exógenas del modelo y algunas de tasas o parámetros; también hay que establecer las condiciones iniciales, o valores en el horizonte cero, de las variables principales. Se llama «imagen» al conjunto de valores que toman las variables endógenas del sistema en el horizonte final; habrá tantas «imágenes» como «escenarios». En ocasiones las «imágenes» serán borrosas, es decir, determinadas por una «banda» alrededor de una trayectoria puntual. La séptima fase supone valorar hasta qué punto alguna de las «imágenes» generadas mediante simulación se adecua a los objetivos establecidos en la primera fase. Si el juicio es favorable, puede pasarse a la octava. Si no lo es, habrá que reformular los objetivos y/o los «escenarios». Puede suceder que los objetivos sean inalcanzables globalmente y/o que haya que habilitar nuevos instrumentos. La fase última consiste en establecer un plan sobre cómo poner en funcionamiento los instrumentos; lo cual significa que hay que decir qué valor debe tomar y cómo se llevarán a la práctica.

En sentido amplio puede decirse que las fases 2 a 6 se corresponden con las etapas de modelado y simulación. Sin embargo, la 1, 7 y 8 quedan completamente al margen. En sentido estricto sólo las fases 4 a 6 tienen un equivalente exacto con el modelado y la simulación. La DS puede servir para realizar las fases 2 a 6 de la planificación, ya que se trata de cuestiones de modelado y simulación. El modelado consiste en establecer las interrelaciones entre objetivos e instrumentos. Sucede con frecuencia que los objetivos son parcialmente incompatibles y que los instrumentos son incongruentes y escasos. Además, es normal que las relaciones entre instrumentos y objetivos no sean determinísticas, sino estocásticas. Es decir, existen variables desconocidas que actúan junto a las conocidas como causas de los objetivos.

Por otra parte, una vez que se dispone de un modelo operativo, la DS ofrece un soporte informático muy cómodo para ensayar diferentes medidas o políticas. El esquema que se inserta más adelante (cuadro n.º 1) es un resumen de cómo puede emplearse la DS en simulación de políticas o «escenarios». Las ideas básicas se resumen en:

- 1.^a El planificador debe fijar unos valores deseados para los objetivos (tales metas pueden ser cualitativas). En términos de DS los objetivos se expresan por variables de nivel, flujos y auxiliares.
- 2.^a El planificador controla la aplicación de ciertos instrumentos (algunas variables exógenas y ciertos parámetros).
- 3.^a El planificador debe tener en cuenta que sobre los objetivos inciden variables y parámetros que no pueden ser controlados por él. Se deben ensayar diversas opciones, dentro de un campo de variabilidad lógico.

La formulación matemática de un modelo de planificación puede hacerse con el esquema del cuadro n.º 1.

El vector o grupo de objetivos (O) tiene N elementos; se dispone de K instrumentos (I); sobre los objetivos e instrumentos inciden J variables no controlables (E), y existen Q parámetros o constantes (P). Además existen L variables aleatorias total o parcialmente desconocidas.

Cuadro n.º 1. Correspondencias entre modelos de planificación y modelos DS.

$$O = f(I, E, A, P)$$

Modelo general	Modelo DS
O, Objetivos.	Los niveles y algunos flujos y variables.
I, Instrumentos.	Algunas variables exógenas y algunos parámetros.
E, Variables exógenas no controlables.	Algunas variables exógenas.
A, Variables aleatorias no controlables.	Algunas variables exógenas y las variables auxiliares estocásticas.
P, Parámetros.	Algunos de los parámetros y tasas y las tasas y las constantes funcionales.

El cuadro n.º 2 resume qué magnitudes determinan los «escenarios». Por una parte, están todos aquellos parámetros que pueden ser objeto de control total o parcial por el planificador, y que, por tanto, podrán ser simulables. Por otra parte, están las variables exógenas, establecidas mediante tablas o funciones. A su vez, éstas pueden ser controlables (los instrumentos) o no controlables. Es muy importante advertir que el conjunto de valores que conforman un «escenario» debe ser coherente.

Para finalizar esta breve introducción a la DS, se comentarán las principales ventajas de esta técnica.

- 1.ª *Sencilla*: En efecto, si a primera vista puede parecer engorrosa la simbología propia de la DS, en realidad la forma de modelar consiste en aplicar con una cierta sistemática el sentido común y los conocimientos. Esto es verdad al menos hasta llegar a formular el diagrama de Forrester. La transcripción de este diagrama en ecuaciones en parte trivial (ecuaciones de niveles y otras definiciones) y en parte no trivial. Pero la complejidad de estos casos

subsiste en otros procedimientos alternativos de modelado.

- 2.ª *Versátil*: Con este adjetivo se califica la propiedad de los modelos DS de poder ser reconvertidos fácilmente; sin tener que comenzar el modelado desde el principio. Cuando se está construyendo el modelo, y en virtud de la tercera ventaja, que se comentará a continuación, estos cambios se efectúan directamente sobre el sistema de ecuaciones.
- 3.ª *Conversante*: Esta característica quiere decir que el modelo proporciona respuestas rápidas a preguntas que se le hacen. La gran ventaja radica en que la conversacionalidad se puede, y se debe, utilizar para construir el modelo.
- 4.ª *Interdisciplinaria*: Este calificativo expresa la gran capacidad de esta técnica para facilitar el trabajo de científicos y expertos de muy diversas disciplinas y campos de especialización. En el modelado de sistemas complejos suelen requerirse la colaboración de expertos de campos muy diversos y numerosos. La práctica demuestra

Cuadro n.º 2. **Determinación de escenarios**

ESCENARIO	
1. <i>Lato sensu</i>	
1.1. {	parámetros = tasas, P
	tablas I, E
	⊕
1.2. {	<i>condiciones iniciales</i>
IMAGEN	
2.	Conjunto de valores de variables endógenas u <i>objetivos</i> , O

que el modelado DS facilita la comunicación entre especialistas de diversas áreas.

- 5.^a *Transdisciplinaria*: En realidad, esta propiedad no es ventajosa ni dificultosa en sí. Se cita porque es una peculiaridad de la DS; ya que el modelista, o modelador, se convierte en especialista de lo general, o generalista de lo especial, o integrador de los conocimientos especiales de los diversos expertos que intervienen en el proceso de modelado. En este sentido, el papel del modelador es sintetizar y sistematizar los conocimientos de los expertos.

2. ALGUNOS MODELOS DS APLICADOS A LA PLANIFICACIÓN REGIONAL

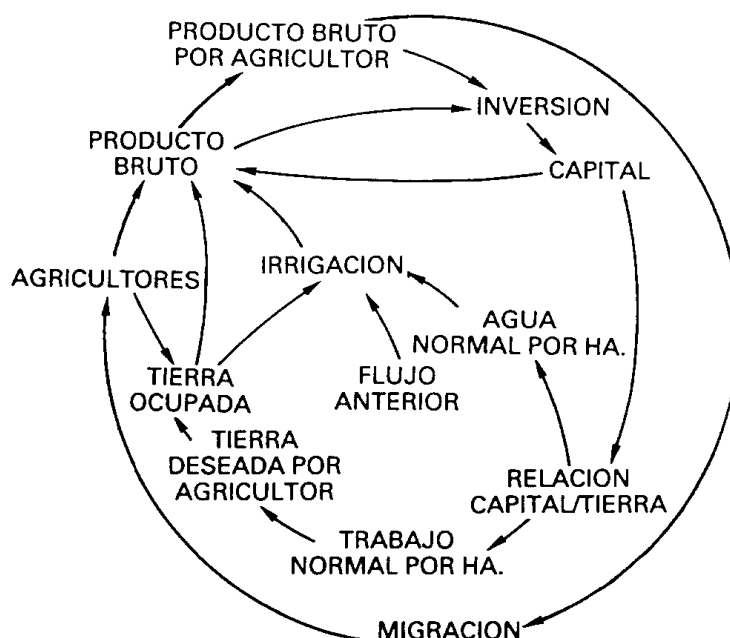
Se presentarán diversos modelos DS, empezando por uno que merece el calificativo de pionero: el modelo de Hamilton sobre la cuenca del río

Susquehanna. El gráfico n.º 2 muestra el diagrama causal simplificado de este modelo, cuya finalidad era servir como instrumento simulador de estrategias de desarrollo y de acciones políticas sobre esta cuenca hidrográfica.

El resto de modelos que se comentan en este apartado se refieren a regiones o comarcas españolas. En todos los casos no puede hablarse de uso de la DS en sentido estricto, ya que se combinan otras técnicas de modelado, sobre la base de la DS. Esta DS ampliada ya no sigue las pautas rigurosas del grupo de Forrester, puesto que no emplea el lenguaje DYNAMO para programar y añade otras técnicas de investigación operativa, tales como la inferencia estadística, las tablas *Input-Output*, la programación lineal, etc.

Veremos en primer lugar un modelo de planificación ganadera que ha sido aplicado a diversas comarcas del Estado español. Genéricamente este modelo se denomina *RAPIM* (Razas autóctonas frente a Piensos Importados). El modelo

Gráfico n.º 2. Diagrama causal simplificado del modelo de Hamilton

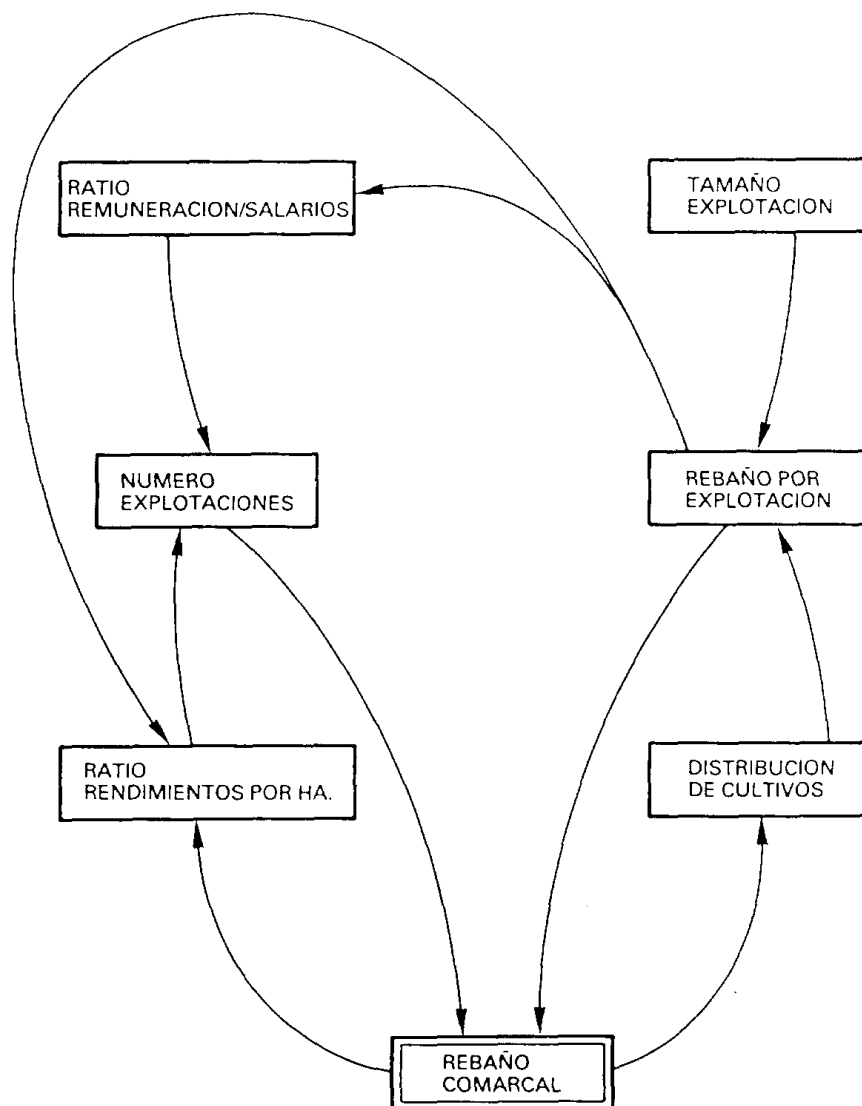


forma parte de un proyecto que con el mismo nombre se ha desarrollado en el Instituto de Economía y Geografía Aplicadas del C.S.I.C. durante los años 1983 a 1985 (véase M. A. García Dory y Silvio Martínez, 1985). El RAPIM tiene como objetivo fundamental estudiar las medidas a tomar para «disminuir las importaciones de maíz y soja a base de potenciar la oferta de carne y leche obtenida de razas de ganado autóctonas, espacios agrarios infrautilizados y subproductos».

La realización del RAPIM pasa por diversas etapas:

1. *Identificación de comarcas y razas:*
Tal identificación se lleva a cabo con los siguientes criterios: i) que la(s) raza(s) tenga(n) posibilidades de ser rentable(s) a medio o largo plazo; ii) que se posea un nivel de información mínimo; iii) que se detecte una cierta voluntad política de apoyo local.

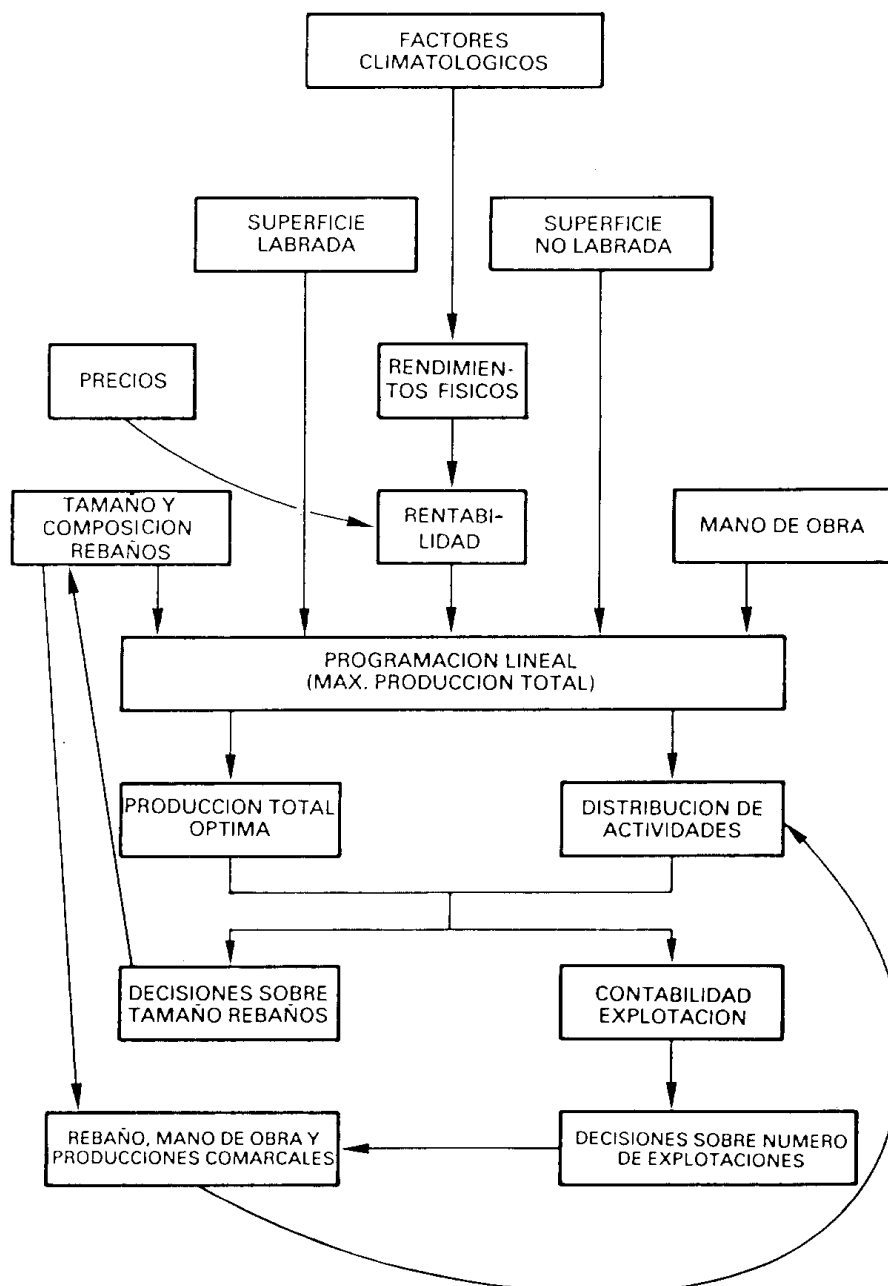
Gráfico n.º 3. Esquema general de los modelos RAPIM



2. *Determinación de los principales parámetros zootécnicos, técnicos, económicos y sociales.* Dicha información se establece, en la medida de lo posible, para las explotaciones-tipo y para la comarca.

3. *Construcción, y uso, de un modelo de Dinámica de Sistemas (DS) para:* i) simular los efectos de diversas políticas; ii) simular impactos, a través de la modificación de parámetros zootécnicos, técnicos y económicos.

Gráfico n.º4. Diagrama causal preliminar del modelo RAPIM-Pirenaica



Se han analizado cuatro comarcas en las que son típicas diversas especies y razas de ganado. Tales comarcas son:

- 1.^a La Sagra (Granada), con la oveja Segureña.
- 2.^a Fortuna-Abanilla (Murcia), con la cabra Murciana.
- 3.^a Los Picos del Cornión (Asturias), con la vaca Casina.
- 4.^a El Valle de Aézcoa (Navarra), con la vaca Pirenaica.

En todos los casos el punto de partida consiste en sondear las posibilidades de incrementar o el tamaño medio del rebaño por explotación, o el número de explotaciones, o ambas cosas a la vez. El gráfico n.º 3 muestra esta hipótesis central. El gráfico n.º 4 es una desagregación de esta hipótesis central

para el caso del modelo RAPIM-Pirenaica (aplicado al Valle de Aezcoa en el Pirineo Nvarro con la vaca Pirenaica). Puede verse cómo en una de las fases de modelado se utiliza la programación lineal.

El siguiente modelo que se comenta se denomina *MOPEM* (Modelo de planificación educativa para la región de Murcia). Este modelo provee un procedimiento para simular las necesidades de puestos escolares por niveles educativos desde Preescolar hasta COU, en la región de Murcia. El gráfico n.º 5 contiene el diagrama causal del modelo, que se ajusta al esquema clásico de los modelos de planificación regional. El gráfico n.º 6 muestra un nivel típico del submodelo educativo: las necesidades de puestos escolares se calculan a partir de la pirámide de edad del submodelo población y de las

Gráfico n.º 5. **Diagrama causal simplificado del MOPEM (Modelo de Planificación Económica)**

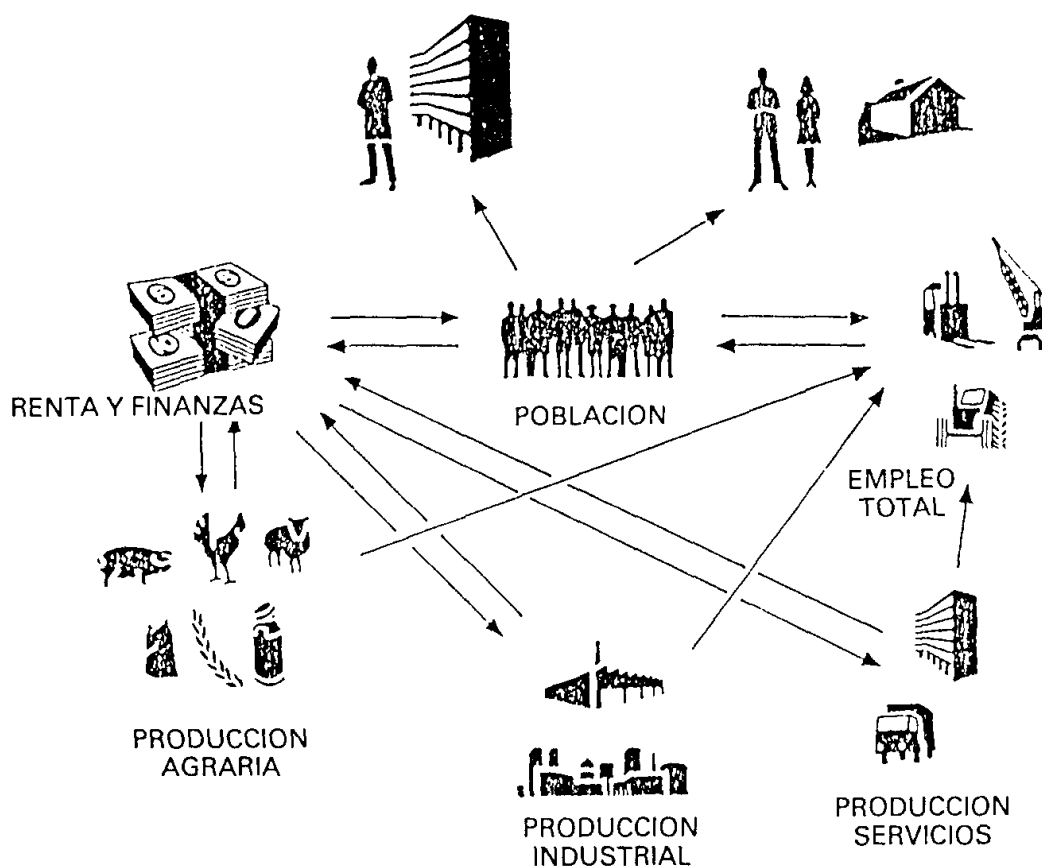
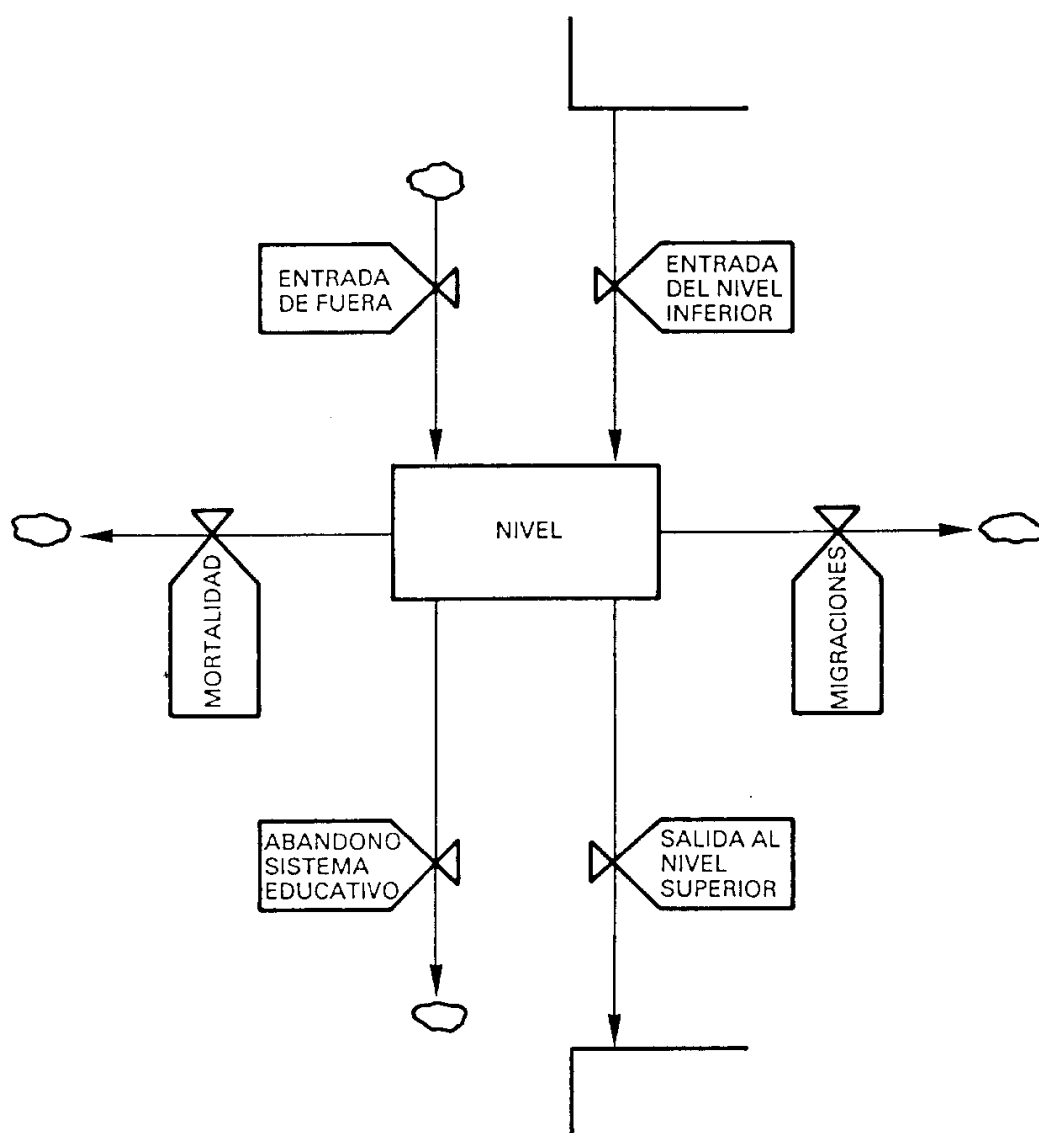


Gráfico n.º 6. Estructura de un nivel típico del submodelo educativo



tasas de repetición y abandonos del sistema educativo (para detalles puede verse Silvio Martínez, Juan Monreal y Alberto Requena, *Opc. cit.*).

Finalmente, se comenta un modelo aplicado a las Islas Canarias. El modelo CANAGUA permite simular cuánto durará la reserva de agua en cada isla de continuar el ritmo de extracción actual, cómo debe organizarse la base económica y el uso del agua de manera que ésta dure al menos hasta el momento en que se encuentren soluciones energéticas y tecnológicas alternativas y viables para la desalinización, a bajo costo, a partir

de la energía solar. (Puede verse un resumen en S. Martínez, I. Árdaz, A. Iñiguez y A. Valentín en *Actas del Simposio Nacional sobre Hidrología*, Pamplona, 1978, págs. 205-259). La hipótesis básica del estudio es que el agua dulce se comporta, en las Canarias, como un recurso no renovable. Consecuentemente, hay que administrarla de forma que dure el mayor tiempo posible y no utilizarla más que para fines estrictamente indispensables.

El términos generales, las cuestiones que se intentan responder son:

1. De seguir la explotación del agua en las intensidades actuales, en qué años se agotarán aproximadamente los recursos de aguas fósiles.
2. A la vista de esto, y si es cierto que un día se agotarán, qué estrategias alternativas caben para administrar de manera óptima el agua.
3. ¿Cuáles son las fuerzas dominantes que se oponen a una regulación integral que tiende a conservar los recursos del agua en Canarias y qué medidas habrá que tomar para superar el bloqueo socio-político existente en torno al tema?

De acuerdo con las características fundamentales del sistema socio-económico objeto de estudio, el modelo

de dinámica de sistemas construido tiene cuatro bloques, que son mostrados en el gráfico n.º 7. A continuación se comentan los contenidos de cada submodelo.

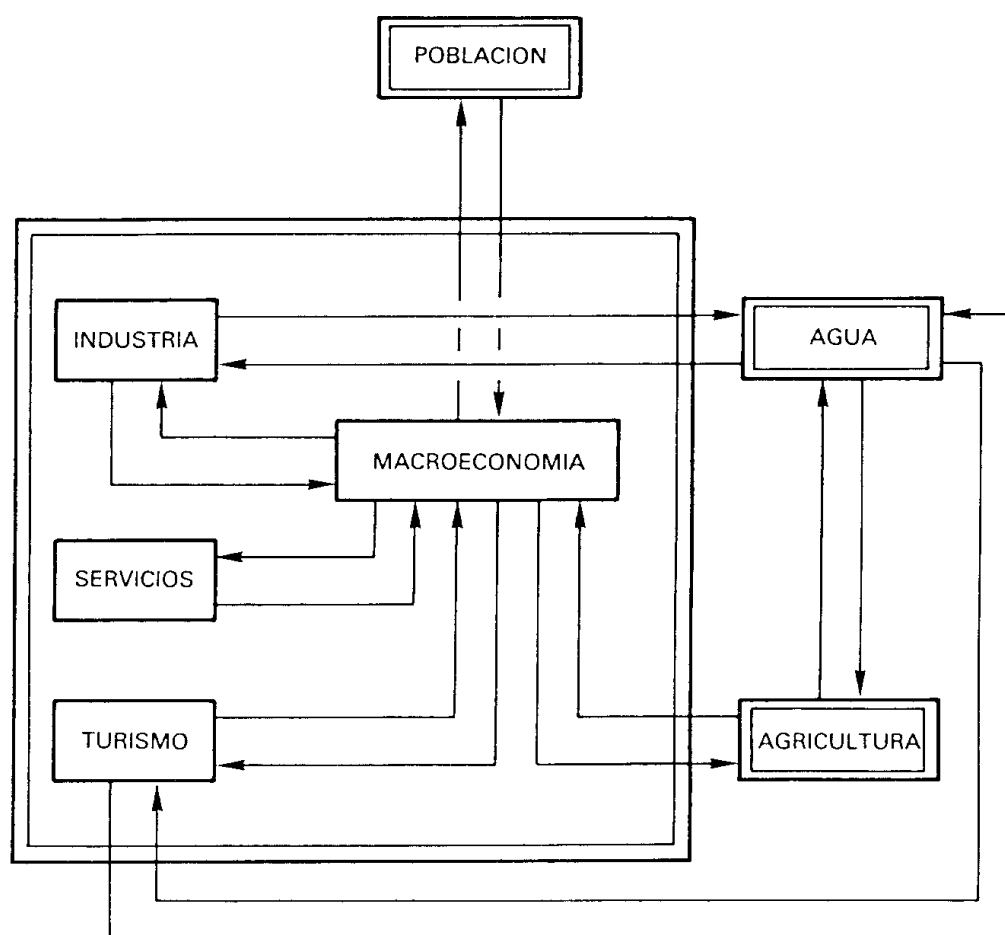
Submodelo demográfico

El submodelo demográfico consta de un único nivel que es la población. Dicho nivel se llena y se vacía debido a los flujos de nacimientos, defunciones y migraciones.

Submodelo hídrico

Este submodelo consta de un nivel que es la reserva de agua. Este nivel se llenará debido a la lluvia y debido

Gráfico n.º 7. Diagrama causal simplificado del modelo «CANAGUA»



también a la obtención artificial de agua (pozos, desalinizadoras, etc.). Se vaciará debido al gasto de agua en usos agrícolas y no agrícolas.

En el gasto de agua se pueden distinguir dos tipos de consumo. El gasto de agua para usos no agrícolas (abastecimiento de la población, industria, servicios) y el gasto de agua en regadío. Naturalmente, sólo se utilizará agua para regadíos una vez satisfechas las otras necesidades. Por otra parte, las necesidades de agua para uso no agrícola pueden no satisfacerse en un 100 % si existen restricciones debido a escasez de agua. Las demandas de agua para abastecimientos y usos turísticos se establecen mediante estándares de agua variables por niveles de renta.

Submodelo económico

Consta de cuatro sectores (industria, turismo, resto de servicios y macroeconomía). Los niveles característicos son los stocks de capital productivo en cada subsector económico. Las variables-flujo decisivas son las inversiones brutas en cada uno.

Submodelo agrario

El sector agrario consta de un nivel que es la superficie de regadío. Supuesto que un determinado año se riega una superficie, es decir, existe una infraestructura para el regadío (canales de riego, bombas, aspersores, etc.), en los años posteriores se regará al menos la misma superficie, aunque haya menos agua. Ahora bien, si los caudales de riego son menores que los óptimos, los rendimientos serán menores. Se considera que la cantidad de superficie transformable es limitada y que dicho límite se alcanzaría de manera asintótica.

Junto a los trabajos citados puede encontrarse una bibliografía relativamente extensa de proyectos realizados en España mediante dinámica de sistemas. Así, los modelos denominados LANERE y MOSTRAN,

que se refieren a la planificación de los mercados de trabajos en Euskadi y Navarra, respectivamente. Del primero puede verse un resumen en I. Garayalde y L. Rodríguez Yurre (1985). Otro modelo de prospectiva de usos del suelo es el denominado CATALUNYA/2000, cuyo resumen puede verse en M. Parellada, «Modelos de prospectiva de usos del suelo en Catalunya», en Papers de Seminari, 1986.

3. EL MODELO NAVARRA/2000

En 1974 la Diputación Foral de Navarra encargó un trabajo denominado *Estudio de Prospectiva de Navarra. Año 2000*. Como parte de la metodología de dicha investigación se construyó el modelo NAVARRA/ 2000, que desde su versión 0 de 1976 hasta la fecha ha sido objeto de varias actualizaciones, reformulaciones y ampliaciones, de manera que cabe hablar de una «biografía del modelo NAVARRA/2000». Precisamente con este título se presentó en 1980 una Comunicación a la Tercera Conferencia Internacional de la I.F.A.C, celebrada en Rabat (Marruecos) y firmada por losu Ardaiz y Silvio Martínez. El cuadro n.º 3 es un resumen de las diferentes versiones del modelo que por ahora está en la número V, procesable en microordenador. Sobre esta versión se hacen los comentarios descriptivos del modelo, auxiliándose, como en los casos anteriores, de varias ilustraciones.

La versión actual del modelo (la número V) es una síntesis de la versión IV y del modelo MOSTRAN. Este es un modelo de DS referido al mercado de trabajo en Navarra, encargado por el Instituto de Estudios Territoriales del Gobierno de Navarra y realizado durante 1986. Los gráficos n.ºs 8 y 9 contienen diagramas de influencias muy simplificados de las dos últimas versiones del modelo. Como puede verse, en el primero existen siete bloques o submodelos, de los cuales 6 tienen desagregación zonal; en el segundo, aparece la conexión del MOSTRAN (con 4 submodelos) y del NAVARRA/2000 que contiene 3 submodelos. A continuación se hace una breve reseña de cada bloque.

Cuadro n.º 3. **Historia del modelo NAVARRA /2000**

VERSIÓN I	• Navarra sin zonas • Sin desagregación sectorial • Población total
VERSIÓN II	• Navarra y 7 zonas (*) • Tablas inter-industriales (17) (*) • Población en 28 cohortes (*) • Empleo zonificado (3 sectores) (*) • Usos del suelo zonificados (7) (*) • Subsuelo energético agregado (*)
VERSIÓN III	• Navarra y 7 zonas (rezonificación) (*) • Tablas I/0,72 (64 sectores) (*) • Población en 28 cohortes con tasa de fecundidad, mortalidad y actividad dinamizadas • Actualización de parámetros • Submodelo educativo (*) • Nuevas condiciones iniciales
VERSIÓN IV	• Navarra y 7 zonas • Tablas I/0,80 (17 sectores) (*) • Desagregación consumo (57 categorías) (*) • Población de 28 cohortes • Empleo zonificado (12 sectores) (*) • Submodelo educativo (*) • Submodelo equipamientos colectivos (*) • Submodelo cultivos agrícolas (17) (*) • Variables económicas en dinero corriente y en dinero constante (*)
VERSIÓN V	• Navarra y 7 zonas • Tablas I/0,80, dinamizadas (5 sectores) (*) • Población en 28 cohortes • Empleo zonificado (5 sectores) • Usos del suelo zonificados (*) • Mercado de trabajo a escala Navarra (20 variables) (*) • Procesable en microordenador (*)

(*) Novedad respecto a la versión anterior.

Modelo MOSTRAN

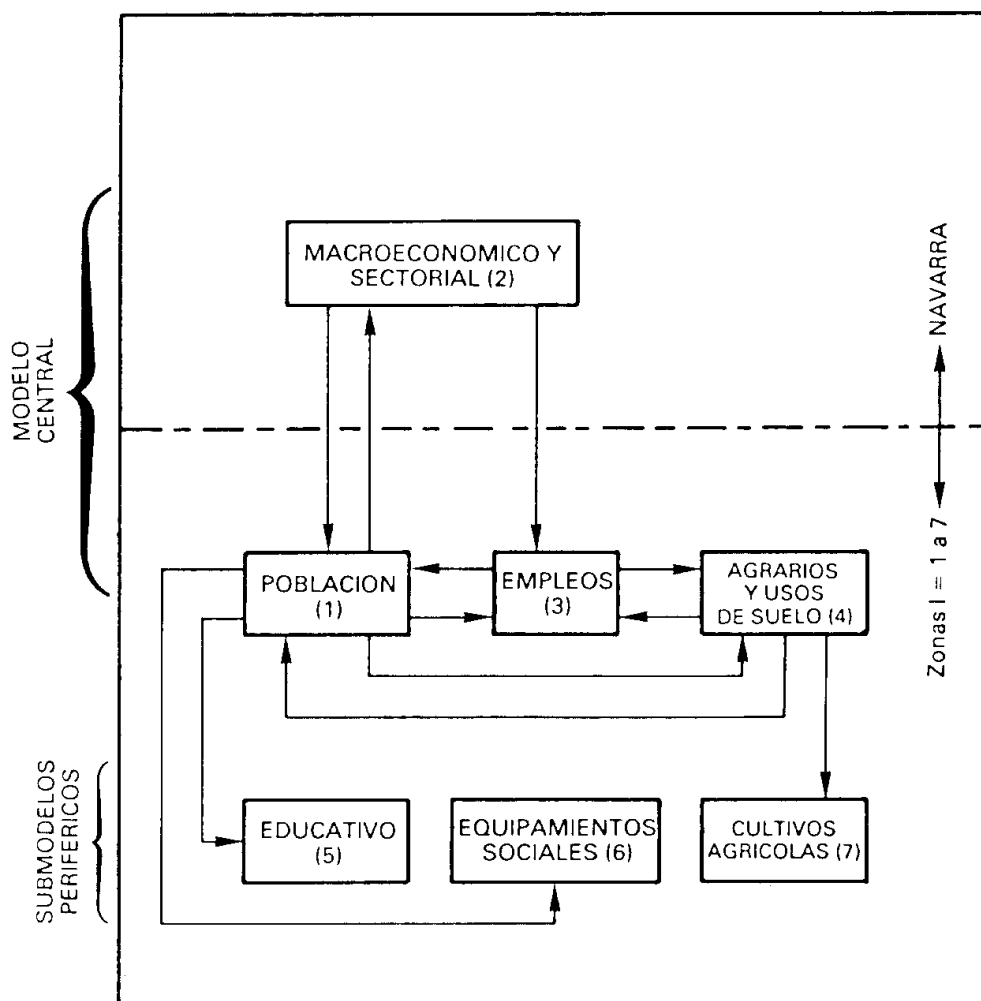
El submodelo macroeconómico permite la inserción del sistema económico en el marco de la planificación general. Consta de 4 partes que se esquematizan en el gráfico n.º 10. Como se ha indicado, la técnica básica de construcción es la dinámica de sistemas, si bien contiene partes

modeladas mediante programación lineal (bloque del mercado de trabajo) y de tablas Input-Output dinamizadas (bloque de producción).

Los contenidos y relaciones de cada parte son los siguientes:

- *Mercado de trabajo:* En este submodelo se relacionan la oferta y

Gráfico n.º 8. Esquema general del modelo «NAVARRA/2000/IV»



demanda de trabajo, derivándose de él la evolución del nivel salarial, el desempleo, la tasa de actividad y la demanda de empleo por tipos y sectores.

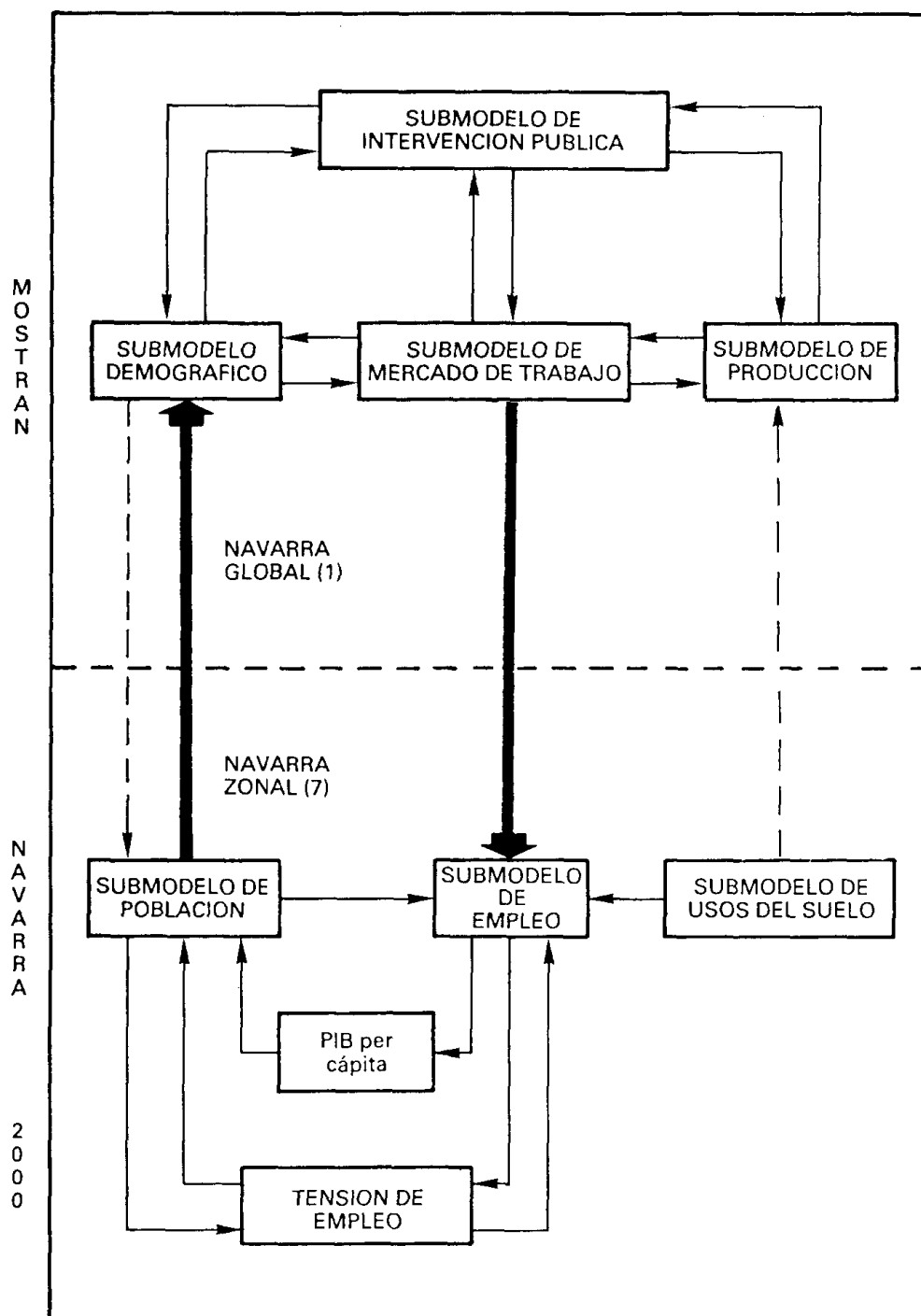
— *Producción:* En este bloque los diversos componentes de la demanda gregada determinan la necesidad de horas de trabajo, sirviendo de input al submodelo del mercado de trabajo. El modelo considera cinco sectores productivos: primario, industria, construcción, servicios comerciales y no comerciales.

— *Demográfico:* Reproduce el funcionamiento de la población por sexos y cohorte de edad, su crecimiento vegetativo y el saldo migratorio.

— *Intervención pública:* Se consideran dos segmentos: administración autónoma y administración central. Para cada uno de ellos se efectúa el cálculo de ingresos y gastos, reproduciéndose, asimismo, las relaciones entre ellos.

Respecto a los submodelos zonificados, los contenidos son éstos:

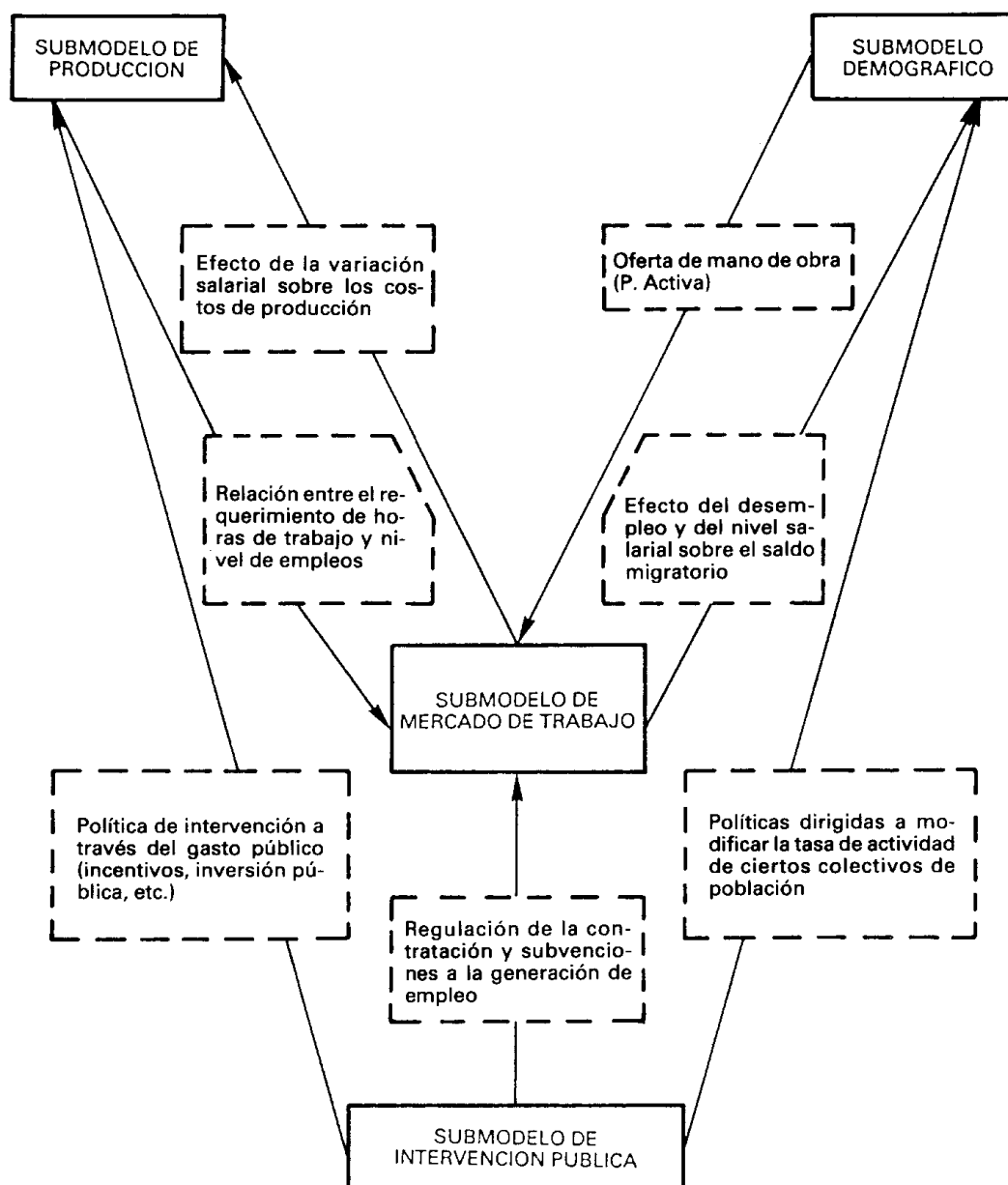
Gráfico n.º 9. Esquema general del «NAVARRA/2000/V»



NAVARRA ZONAL:

- | | |
|------------------------|----------------------|
| I — BAZTAN | V — NAVARRA MEDIA |
| II — PIRINEO | VI — RIBERA ALTA |
| III — AREA DE PAMPLONA | VII — AREA DE TUDELA |
| IV — TIERRA ESTELLA | |

Gráfico n.º 10. Ligazones principales entre los diferentes submodelos del modelo «MOSTRAN»



Submodelo de población

- Población: 28 cohortes por edad y sexo.
- Población potencialmente activa: 6 cohortes por edad y sexo.

- Saldo migratorio: 28 cohortes por edad y sexo.
- Mortalidad: 28 variables por edad y sexo.
- Fecundidad: 14 cohortes por edad.
- Natalidad: 2 variables por sexo.

Submodelo de empleo zonal

Obtenida la variación de empleo sectorial, en Navarra se produce el reparto a las 7 zonas. Esta distribución se efectúa partiendo de los valores iniciales, por medio de una serie de funciones que consideran tanto variables de oferta como de demanda, así como la dotación infraestructural de las zonas respectivas. A partir del empleo zonal y de las productividades sectoriales, se procederá a la obtención del PIB zonal,

que afectará al proceso de migraciones en cada ámbito geográfico.

Usos del suelo

La dotación de suelo de cada una de las zonas (regadío, secano, forestal, pastos, industrial y urbano) afecta a la distribución de los empleos obtenidos a nivel agregado. Por medio de este subsistema se introducirán en el modelo dichas variables, que, a su vez, condicionan la evolución comarcal del empleo.

BIBLIOGRAFÍA

- J. ARACIL y J. BUENO (1976), *op. cit.* Revista DYNA, 1976.
- I. ARDAIZ y S. MARTÍNEZ (1980), *Estudio de prospectiva NAVARRA/2000*, Diputación Foral de Navarra.
- J. FORRESTER (1961), *Industrial Dynamics*, The MIT Press, N.Y. Existe traducción al castellano con el nombre de *Dinámica Industrial*, ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1961.
- J. FORRESTER (1969), *Urban Dynamics*, The MIT Press, N.Y.
- J. FORRESTER (1970), *World Dynamics*, The MIT Press, N.Y.
- I. GARAYALDE y L. RODRÍGUEZ YURRE (1985), «Perspectivas del mercado de trabajo en la CAPV», en *Ekonomiaz*, n.º 1, págs. 169-194.
- M. A. GARCÍA DORY y S. MARTÍNEZ (1985), *Sistemas Ganaderos Extensivos*, Servicio de Publicaciones del C.S.I.C., monografía n.º 11 del D.E.A., Madrid.
- H. R. HAMILTON et alia (1969), *System Simulation for Regional Analysis and Applications to River-Basin Planning*, The MIT Press.
- A. IÑIGUEZ et alia (1978), *Actas del Simposio Nacional sobre Hidrología*, Pamplona, págs. 205-259.
- SILVIO MARTÍNEZ y ALBERTO REQUENA (1986), *Dinámica de sistemas: simulación por ordenador y modelos*, Alianza Editorial, Lb 1183 y 1184, Madrid.
- S. MARTÍNEZ, J. MONREAL y A. REQUENA (1983), *Pensando en el futuro*. Ed. Rubio Esteban, Valencia.
- S. MARTÍNEZ, J. MONREAL, A. REQUENA y C. PÉREZ (1985), *Un modelo de planificación educativa para la región de Murcia*, Comunidad Autónoma de Murcia.
- D. MEADOWS y D. MEADOWS (1972), *The Limits to Growth*. Existe traducción al castellano con el nombre de *Los límites del crecimiento*, F.C.E., México.
- J. TINBERGEN (1961), *La planeación económica*, F.C.E., México.