

Análisis dinámico de los efectos de la estructura de demanda sobre crecimiento y medio ambiente en Andalucía

J. Marcos Castro
Antonio Morillas
Universidad de Málaga
Elías Melchor
Universidad de Granada

BIBLID [0213-7585 (1996); 46; 47-68].

PALABRAS CLAVE: crecimiento económico; recursos naturales; dinámica de sistemas; medio ambiente; contabilidad ambiental; tablas I-O.

RESUMEN

Este artículo es una primera aproximación al estudio de las relaciones dinámicas de la especialización productiva andaluza con el crecimiento económico, el consumo de recursos naturales y la polución atmosférica. La metodología seguida parte de la aplicación de la dinámica de sistemas y utiliza un modelo que pone en relación variables medio ambientales con las de otros subsistemas, como la demografía, el mercado de trabajo y las magnitudes macroeconómicas de Andalucía. En los análisis se integran, en una u otra forma, las tablas input-output de Andalucía de 1980 y 1990, la tabla española de 1990, y los resultados obtenidos en la reciente contabilidad ambiental, elaborada por la Consejería de Medio Ambiente de esta Comunidad Autónoma. Por los resultados obtenidos, puede afirmarse que su orientación productiva es más ineficaz que la del conjunto español, tanto en crecimiento como en el consumo de recursos y polución. Además, parece moverse hacia la profundización de esa ineficacia.

ABSTRACT

This article is a first approximation to the study of the dynamic relationships of the Andalusian productive specialization with the economic growth, the natural resources consumption and the atmospheric pollution. The followed methodology part of the application of the systems dynamics and uses a model that puts on relationship environmental variables with those of other subsystems, as the demography, the job market and the macroeconomics magnitudes of Andalusia. In the analysis are integrated, in an or other form, the input-output tables of Andalusia of 1980 and 1990, the Spanish 1990 table, and the results obtained in the recent environmental accounting, elaborated by the Consejería de Medio Ambiente of this Autonomous Community. For the obtained results, it can be asserted that its productive specialization is more inefficient than the Spanish, from a perspective of growth as well as in the natural resources and pollution consumption. Furthermore, it seems be moved toward the deepening of that inefficiency.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la interacción entre crecimiento económico y calidad ambiental es una de las cuestiones que más importancia revisten como elemento básico a la hora de establecer las pautas para la consecución de una senda de desarrollo sostenible. Si partimos de la existencia teórica de un intercambio entre los objetivos ambiental y económico, resulta necesario un análisis de la estructura del sistema económico para concretar el nivel (o niveles) que equilibran esa relación en cada territorio. Estos niveles dan lugar a crecimientos equilibrados en el territorio, con un uso racional de los recursos naturales.

Por otro lado, si tomamos en cuenta las innovaciones o cambios tecnológicos (de producción, de gestión o de proceso), las repercusiones de éstas sobre la estructura productiva, nos permiten alcanzar crecimientos con niveles de calidad ambiental mayores a los planteados en el *trade off* inicial. Básicamente, gracias a la adopción de nuevas formas de producción, o de especialización sectorial, menos intensivas en el uso de los recursos naturales, o gestionando de forma racional esos insumos. Estos nuevos equilibrios nos aproximan a unos crecimientos sostenibles en el territorio y en el tiempo.

Como señala el “Libro Blanco sobre Crecimiento, Competitividad y Empleo” (1994), el actual modelo de crecimiento económico de la Comunidad Europea parte de una combinación subóptima de dos de los principales recursos comunitarios: la mano de obra (por su uso insuficiente) y los recursos naturales (por su sobre utilización). Es por ello que los mayores avances hacia la sostenibilidad han de venir por la vía de cambios estructurales que permitan obtener nuevos óptimos entre crecimiento y medio ambiente, más que por claudicaciones por parte de uno u otro objetivo de política económica.

El objetivo de este trabajo, que debe considerarse como una primera aproximación al tema, pendiente de ulteriores mejoras y ampliaciones, es relacionar la especialización productiva andaluza con el crecimiento económico, el consumo de recursos naturales y la polución atmosférica. Para ello, nos hemos centrado en dos de los recursos naturales básicos de su economía, como son el agua y la energía, así como en otros indicadores de calidad atmosférica, tales como las emisiones de CO y SO₂. La metodología seguida parte de la aplicación de la dinámica de sistemas, proponiendo un modelo¹ que pone en relación ciertas variables medio am-

1. Véase, Melchor (1995).

bientales con las de otros subsistemas, laboral y macroeconómico). En el modelo se integran las tablas input-output de Andalucía (Instituto de Estadística de Andalucía) y los resultados recientes, respecto a consumos de agua, energía y emisión de contaminantes, obtenidos en la contabilidad ambiental, elaborada por la Consejería de Medio Ambiente de esta Comunidad Autónoma.

La cada vez mayor importancia que la sociedad otorga a la relación entre el medio ambiente y el sistema socioeconómico ha conducido en los últimos años al desarrollo de metodologías que permiten mejorar su conocimiento. La complejidad de esta relación dificulta enormemente su modelización, pero el análisis de sistemas se ha revelado como una metodología válida para aquellos estudios que intentan aproximarse a ella, desde una perspectiva global, integrada y transdisciplinar. Aunque a largo plazo la interrelación entre dichas variables es bidireccional, en cortos períodos de tiempo es prácticamente imposible determinar como la situación medioambiental condiciona la actividad económica. Debido a esto, se ha optado por considerar sólo las repercusiones que la estructura regional sectorial puede tener sobre la polución atmosférica y los recursos hídricos y energéticos (fundamentalmente, en este caso, en lo referido a consumos).

En la medida en que los modelos integrados económico-ecológicos verifican las características de interconexión entre variables económicas y no económicas, integración de múltiples procesos en interacción simultánea, flexibilidad e integración de información blanda, señaladas por Morecroft (1988; p.308), es perfectamente posible su modelización a través de la dinámica de sistemas. Pueden incluirse, por tanto, todos aquellos modelos en los que se relacionen variables económicas y ecológicas. Dicha relación puede ser de tres tipos, en función de las relaciones existentes entre los submodelos económico y ecológico (Braat y Lierop 1987, pp. 59 y 60): 1) relación en un único sentido en donde las variables del submodelo económico influyen sobre las del ecológico; 2) relación en un único sentido en donde las variables del submodelo ecológico influyen sobre las del económico; y 3) cuando los submodelos económico y ecológico están mutuamente relacionados. Dos modelos recogidos en este apartado son el modelo Mundo 3 (Forrester 1971; y Meadows *et al.* 1973) y el modelo ECCO (*Evolution of Capital Creation Options*) (Slesser 1994). El que aquí se utilizase podría considerarse dentro del primer grupo.

Es necesario subrayar que la aproximación de los valores simulados a las observaciones reales, aún siendo deseable, no constituye el objetivo prioritario de la modelización en dinámica de sistemas. Más que la aproximación cuantitativa (generación de imágenes similares a la reali-

dad andaluza), lo que se persigue, por tanto, es la reproducción cualitativa del comportamiento observado, con lo que ello supondría en cuanto a mejora en el conocimiento del sistema real que, posteriormente, podría ser usado en el proceso de toma de decisiones. De ahí la casi general negativa a elaborar modelos de simulación basados exclusivamente en métodos cuantitativos. Ello no implica, necesariamente, el rechazo frontal de la metodología sistémica al uso de dichos métodos, sino que, más bien, se plantea su integración con otras técnicas de análisis regional como el análisis input-output (véase Martínez Vicente *et al.* 1979, pp. 171-173), la econometría (véase Chen 1983, pp. 174-176; y Meadows 1980, p. 46), y los modelos de optimización (véase Pérez 1989, pp. 58-60 y 297-298).

2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

El modelo se caracteriza por integrar en un todo coherente un conjunto de relaciones entre variables e informaciones procedentes de fuentes diversas. Todo ello se articula, para cada bloque, a través de una serie de teorías compatibles con el contenido y objetivos del mismo. La dinámica de sistemas establece los nexos de unión entre los diferentes sectores y el funcionamiento dinámico de los mismos. La información cuantitativa también juega un papel decisivo en el modelo, y procede, básicamente, de los Censos de Población y el Movimiento Natural de la Población, en el campo demográfico; en aspectos laborales, de la Encuesta de Población Activa; para el submodelo económico, de las Tablas Input-Output de Andalucía de los años 1980 y 1990 (en lo sucesivo AND80 y AND90); mientras que, para el sector medioambiental, se ha acudido a la Tabla Input-Output de Medio Ambiente de Andalucía de 1990.

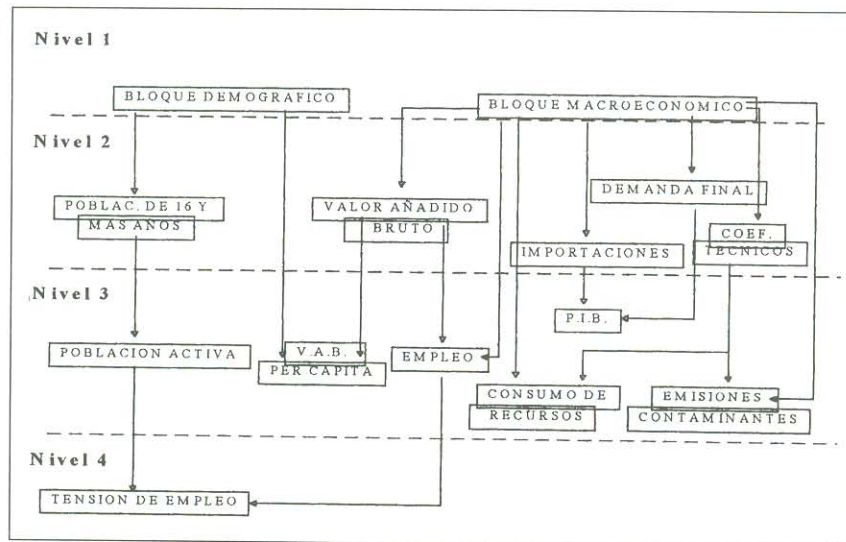
En cuanto a la delimitación temporal del sistema, el período de simulación considerado es de 15 años y se inicia en 1990, año de partida en el que se dispone de abundante y reciente información (Censo de Población y Tablas Input-Output económica y medioambiental). La importancia de ello radica en que en dinámica de sistemas, como se sabe, se precisa de una serie de valores retardados que desempeñan el papel de semillas para la estimación de los valores del período en curso de resolución; por tanto, se considera que el año que ofrezca una base estadística más amplia debe ser el punto de partida para comenzar la ejecución del modelo.

En el modelo se han considerado cuatro bloques, que constituyen otros tantos submodelos, cuyas estructuras (interrelaciones entre variables) están específicamente orientadas a la reproducción de los comportamientos observados en la realidad y son los siguientes:

- a) Demografía: se simula el comportamiento de la población y, por tanto, el de la oferta de trabajo disponible.
- b) Mercado de trabajo: oferta y demanda de empleo, dando como resultante unos niveles de empleo y paro.
- c) Macroeconomía: determina el nivel de actividad y renta regional, que es de donde se deriva, básicamente, la demanda de empleo.

Medio ambiente: analiza los consumos de energía y agua, así como la emisión de contaminantes. De esta forma, se puede simular la sensibilidad medioambiental de Andalucía ante variaciones en el nivel y en la forma del crecimiento.

FIGURA 1
ANÁLISIS CAUSAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN



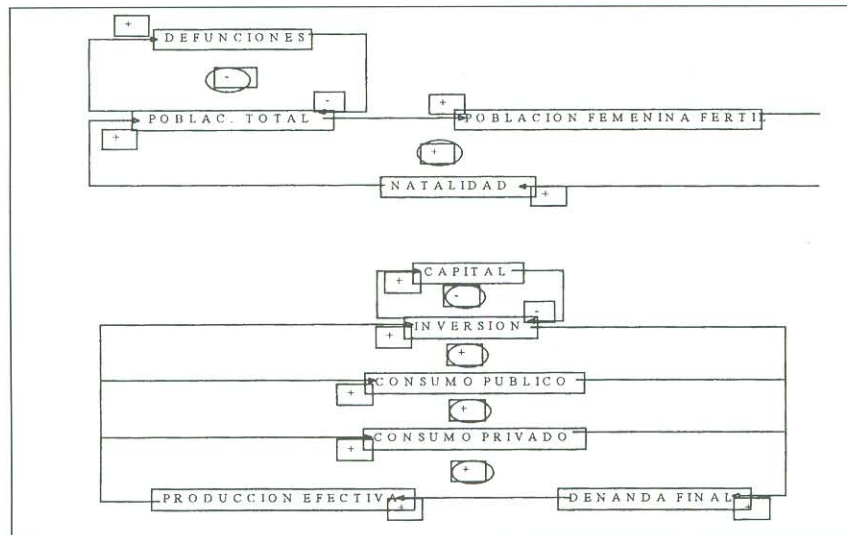
Fuente: Elaboración propia.

Para analizar la causalidad existente entre las variables más relevantes del modelo y detectar la presencia de bucles de realimentación, se ha acudido a la teoría de grafos². Como resultado de dicho análisis, en el

2. Un resumen de sus aplicaciones a los modelos económicos puede verse en Morillas (1982 y 1983).

grafo reducido, se aprecian cuatro niveles jerárquicos, en los que se asientan los diferentes bloques señalados (véase la Figura 1), y dos bucles (componentes fuertemente conexas del grafo), pertenecientes, respectivamente, a los bloques demográfico y macroeconómico (véanse las Figuras 1 y 2). Por ese motivo, de los cuatro bloques considerados, cabría catalogar como *dirigentes* a demografía y economía, puesto que de ellos se obtiene información que luego es utilizada por el resto del modelo.

FIGURA 2
BUCCLES DE LOS SUBMODELOS DEMOGRÁFICO Y
MACROECONÓMICO



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Bloque demográfico.

La formulación relativa al bloque demográfico se ha elaborado en base a la idea de que a la hora de realizar previsiones poblacionales, los estados futuros hacen referencia al número de individuos de la población pertenecientes a diferentes clases. En este caso, se ha hecho uso de la habitual distribución por edades y sexos, al decidir utilizar el método de los componentes demográficos, es decir, de la proyección por separado de las principales macromagnitudes demográficas como fecundidad y

mortalidad, que configuran la dinámica de un conjunto poblacional. Esta opción implica utilizar el esquema clásico de los métodos demográficos contables, cuya estructura básica se puede expresar a través de la siguiente ecuación (Leguina 1989, p. 243):

$$POB_t = POB_{t-1} + (N - D)_{t/t-1} + (I - E)_{t/t-1}$$

donde,

POB_t	= población en el instante t;
$N_{t/t-1}$	= nacimientos en el período t/t-1;
$D_{t/t-1}$	= defunciones en el período t/t-1;
$I_{t/t-1}$	= inmigraciones en el período t/t-1; y
$E_{t/t-1}$	= emigraciones en el período t/t-1.

La dificultad de llevar a la práctica un esquema como el propuesto en su totalidad, estriba en la compleja y poco fructífera tarea de reproducir el comportamiento de los saldos migratorios, hecho difícilmente previsible. Piénsese, simplemente, en la dificultad de acotar el volumen de inmigración acontecido en los últimos años, a consecuencia, entre otras causas, del retorno de la emigración andaluza de los años sesenta y setenta. Por ello, se ha optado por prescindir de los dos últimos sumandos de la ecuación anterior, lo cual equivale a considerar la hipótesis de saldo migratorio nulo.

Las interacciones de las variables de este sector con otros son diversas, aunque es el mercado de trabajo el bloque en donde las variables poblacionales juegan un papel más relevante, sobre todo por lo que hace referencia a aquellos grupos de edad que forman parte de la población de dieciséis y más años, así como a las consecuencias que ésta, a nivel agregado, tiene en la evolución de los activos.

2.2. Bloque de mercado de trabajo.

En este bloque se relaciona la oferta con la demanda de mano de obra, siendo el resultado de dicha interrelación unos niveles de empleo y desempleo, a partir de la definición de la población activa, que surge como resultado de aplicar a la población de dieciséis y más años, procedente del bloque demográfico, una tasa de actividad. La demanda de trabajo está condicionada por las exigencias del sistema productivo regional, vía productividad de la mano de obra y valor añadido bruto, por un lado, y vía inversión, a través de un indicador que recoge las variaciones interanuales de la inversión total (tomada como media de las tres últimas observaciones), por otro. Como consecuencia de la interrelación

entre la oferta y la demanda del factor trabajo se obtiene la tensión de empleo (número de trabajadores desempleados), y a partir de ésta, en relación con la población activa, la tasa de desempleo.

2.3. Bloque macroeconómico.

Este submodelo parte de las relaciones fundamentales de la Contabilidad Nacional, mediante las cuales se puede calcular la demanda final como suma de sus componentes, que, a su vez, se obtienen, básicamente, a través de la aplicación de la propensión marginal correspondiente (partiendo de unos datos iniciales e hipótesis sobre su crecimiento futuro). Este planteamiento tan sencillo no es suficiente, puesto que no permite la obtención del vector de producción final, cuyo cálculo es fundamental para los submodelos de mercado de trabajo y medio ambiente.

Para obtener la producción final es necesario acudir al modelo estático abierto de Leontief. Los sectores de las tablas AND80 y AND90 utilizados en el modelo, por razones de homogeneidad y disponibilidad de información, han sido únicamente los diez en que la propia tabla de 1980 agrega los distintos componentes de la demanda final:

- 1) Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.
- 2) Energía y agua.
- 3) Extracción y transformación de minerales y productos derivados, industrias químicas.
- 4) Industria transformadora de metales.
- 5) Otras industrias manufactureras.
- 6) Construcción.
- 7) Comercio, restaurantes y cafés.
- 8) Transportes y comunicaciones.
- 9) Instituciones financieras y seguros.
- 10) Otros servicios.

El cálculo de los componentes de la demanda final se ha efectuado como sigue:

- a) Consumo privado y formación bruta de capital:

Para proceder al cálculo de ambas macromagnitudes se ha acudido a la versión que hace Hicks del modelo de Samuelson, sobre la interacción existente entre los principios multiplicador y acelerador, puesto que permite explicar desde un punto de vista endógeno los ciclos económicos (Low 1980, p. 107). Dicha versión combina la identidad de demanda con el modelo input-output de demanda de la forma que sigue, y comienza con el cálculo del consumo privado.

$$D_t \dots C_t + I_t + G_t + E_t$$

$$[Y_t] \dots [I - A]^{-1} * [D_t]$$

$$C_t = c * Y_{t-1}$$

siendo,

- D_t = demanda agregada;
- C_t = consumo privado;
- I_t = inversión;
- G_t = gasto público;
- E_t = exportaciones;
- $[Y_t]$ = vector de producción total efectiva sectorial;
- I = matriz identidad;
- A = matriz de coeficientes técnicos;
- $[D_t]$ = vector de demanda final sectorial;
- c = propensión marginal a consumir; y
- Y_{t-1} = producción total efectiva en el ejercicio precedente.

En cuanto a la inversión, tradicionalmente se ha supuesto que las empresas ajustan su nivel de inversión al considerado apropiado en cada momento con relación a la producción total, determinándose aquél a través de la diferencia entre el stock de capital deseado y el disponible, lo cual quiere decir que el nivel deseado de capital depende, lógicamente, del nivel de la producción pasada y no del actual puesto que el primero de ellos es conocido mientras que el segundo no. Además, y dado que el stock de capital disponible también se puede expresar en términos de producción (equivaldría a sumar al nivel acumulado de capital del período anterior la inversión realizada en el mismo período), sustituyendo en la identidad de demanda agregada se vería como inversión y consumo se expresan en términos de producción total. Dicho desarrollo se puede contemplar en el conjunto de ecuaciones que a continuación se detallan.

$$I_t = X_t - K_t = v * Y_{t-1} - K_t$$

haciendo lo propio en el instante t-1,

$$I_{t-1} = X_{t-1} - K_{t-1} = v * Y_{t-2} - K_{t-1}$$

$$v * Y_{t-2} = K_{t-1} - I_{t-1} = K_t$$

$$I_t = v * (Y_{t-1} - Y_{t-2})$$

$$D_t \dots (c + v) * Y_{t-1} - v * Y_{t-2} + G_t + E_t$$

siendo,

X_t = nivel deseado de capital;
 K_t = stock acumulado de capital de la economía; y
 v = relación stock de capital/producto (utilización de la capacidad productiva).

Sin embargo, el desarrollo anterior, que constituye la versión original del modelo de Samuelson y Hicks de acuerdo con la más pura ortodoxia económica, no puede incorporar aspectos relacionados con la acumulación y el uso de información, pero sí cuando se aborda la construcción del mismo a través de la dinámica de sistemas. Por ello, y siguiendo a Low (1980) se ha procedido a modificar el modelo original en dos aspectos fundamentales: 1) considerar niveles alisados de producción tanto para la determinación del consumo privado como para el stock de capital deseado, en lugar de la producción retardada uno y dos períodos, respectivamente; y 2) implementar un parámetro sobre la diferencia entre el capital deseado y el stock existente en cada instante, que representa el tiempo normal de ajuste entre la situación deseada y la real, y refleja el período de planificación y organización requerido para efectuar cambios en el grado de utilización de la capacidad productiva (normalmente dos años).

b) Exportaciones:

A partir del valor inicial que para las exportaciones totales establece la Tabla Input-Output (a precios de 1990), el valor de éstas en cada instante es igual al anterior más un incremento equivalente al resultado de aplicar sus correspondientes velocidades de crecimiento al valor inmediatamente precedente.

c) Consumo público e importaciones:

Para ambas macromagnitudes es aplicada una metodología similar a la utilizada para el consumo privado, con la única diferencia de trabajar con la propensión marginal del consumo público o a importar, respectivamente.

2.4. Bloque medioambiental.

Es prácticamente imposible abarcar todos los aspectos sociales que de una forma directa o indirecta influyen en el medio ambiente. Por diversas razones, especialmente, el carácter regional del estudio y la interrelación de las variables ambientales a considerar con otras varia-

bles incluidas en el modelo, sólo se contemplarán, como se ha dicho, la contaminación atmosférica, y el consumo de recursos hídricos y energéticos³.

El análisis de la emisión de contaminantes en Andalucía, comienza con la determinación de los coeficientes técnicos de emisión, que resultarían de la siguiente expresión⁴:

$$m_{ij} = \frac{C_{ij}}{E_i}$$

donde,

m_{ij} = cantidad de contaminante j emitido por la rama i , por cada unidad monetaria producida ($j=1,2,\dots,m$; $i=1,2,\dots,n$).

C_{ij} = cantidad de contaminante j que es atribuida a la rama productiva i .

E_i = producción efectiva del sector i , en unidades monetarias.

Las cantidades, c , de cada uno de los m recursos contaminantes generados, directa e indirectamente, por un vector y de demanda final, vendrá dada, evidentemente, por la siguiente expresión matricial:

$$c = M' (I - A)^{-1} y; \text{ con } m_{ij} \in M$$

De forma similar, se definen los coeficientes técnicos de consumo (en nuestro caso, de agua y energía) como la relación entre el consumo total por una determinada rama productiva de un recurso concreto, en unidades físicas, y su producción efectiva, en unidades monetarias; es decir,

$$r_{ij} = \frac{R_{ij}}{E_j}$$

donde,

r_{ij} = cantidad de recurso ambiental i consumido por la rama j , por unidad monetaria producida ($i=1,2,\dots,r$; $j=1,2,\dots,n$).

R_{ij} = cantidad del recurso i que es consumido en el proceso productivo por la rama j .

E_j = producción efectiva del sector j .

3. Expresados en Toneladas Equivalentes de Petróleo, independientemente de la fuente.

4. Véase, Consejería de Medio Ambiente (1996, p. 33-34).

Las cantidades, r , de cada uno de los r recursos consumidos, directa e indirectamente, por un vector y de demanda final será:

$$r = R (I - A)^{-1} y; \text{ con } r_{ij} \in R$$

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Partiendo de la imagen de la economía andaluza representada en las tablas de relaciones intersectoriales y del medio ambiente de 1990 (AND90), el objetivo principal del análisis es observar la eficiencia relativa, económica y medioambiental, del sistema productivo andaluz, medida en función del comportamiento obtenido, según distintos escenarios, para ciertas variables económicas y ambientales en el período de simulación fijado (1990-2005). La idea es analizar, en un primer momento, cuáles son las repercusiones que sobre el crecimiento, la polución y los recursos naturales (agua y energía), tiene una estructura sectorial determinada de la demanda final (total) y , en un segundo paso, evaluar la incidencia particular que sobre dichos aspectos tienen las diferentes estructuras sectoriales de las componentes de la misma. Para esto último, se ha procedido a realizar diferentes simulaciones, previa modificación en la tabla base (AND90), una a una, de las estructuras sectoriales del consumo, la formación bruta de capital y de las exportaciones. Hay que decir que la matriz de coeficientes técnicos ("tecnología") de la tabla andaluza de 1990, así como los coeficientes de consumos de recursos y de emisión, se han mantenido constantes en todo el período de simulación. Es, sin duda, una hipótesis nada creíble, pero que podría esperarse que afectara por igual a todas las simulaciones efectuadas. Los escenarios de comparación se basan, el primero, en la tabla de 1980 (AND80), con objeto de comprobar el sentido de la evolución en el tiempo de la economía andaluza, y, el segundo, en la tabla input-output española de 1990 (ESP90), para tomar como referencia al conjunto del estado.

Los resultados obtenidos para la simulación con el total de la demanda final para el crecimiento se exponen, en forma de índices simples, en el Gráfico 1, y para el medio ambiente en el Gráfico 2. La Tabla 1, recoge el balance de crecimiento, consumo de recursos y emisión de contaminantes, expresados en variaciones porcentuales respecto al escenario base (AND90). Tomando esta tabla como referencia, una sencilla clasificación de los escenarios según su eficiencia relativa podría ser, por

tanto, la del Cuadro 1⁵, donde aparece el escenario ESP90 como el mejor en crecimiento y, también, en medio ambiente.

TABLA 1
BALANCE DE CRECIMIENTO Y MEDIO AMBIENTE
VARIACIONES RESPECTO A AND90 (%)

Variable de referencia	Escenario AND80	Escenario ESP90
PIB	1,30	2,12
Agua	3,12	-40,01
Energía	3,20	-13,39
SO ₂	-4,92	-18,75
CO	20,73	-7,18

Puede afirmarse, pues, que la estructura sectorial de la demanda final correspondiente a la economía española (ESP90) sería la más eficiente desde el punto de vista del comportamiento global del sistema⁶, tanto en el ámbito económico como en el ambiental. Generaría más de dos puntos porcentuales en la producción global del período que el escenario base (AND90) y la disposición de recursos y su contribución a la contaminación estaría muy por debajo del mismo, especialmente en el consumo de agua, con una disminución del 40% (explicable por el menor peso agrario de la demanda nacional), energía, un 13% menos, y de SO₂, con una diferencia del 19%.

Por otro lado, la estructura sectorial de la demanda en Andalucía para 1980 (AND80) parece que sería, también, más eficiente desde el punto de vista del crecimiento que la del año 1990 (AND90). Sin embargo, en general, su incidencia negativa sobre la contaminación (muy especialmente CO, con una variación relativa del 20%, estrechamente relacionado con el sector de transportes por carretera y, en menor medida, con las industrias de transformación de cultivos agrarios industriales y la industria química orgánica) y el consumo de recursos sería mayor (aunque no tan importante en este caso), un 3% tanto en agua como en energía. El único factor que cambia negativamente en 1990 es la emisión de SO₂, con un balance negativo del 5%. Se amplía, así, la emisión de este contaminante, ya no sólo con respecto a la media española (un 19%), sino en relación al escenario andaluz de 1980.

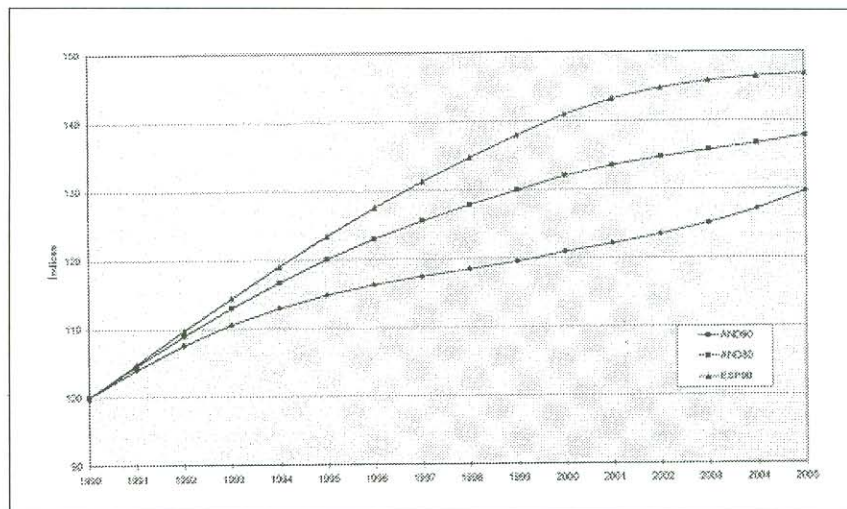
5. Para un mayor detalle, véase Morillas, A. *et al.* (1996).

6. En el sentido cuantitativo y relativo del término, al conseguir, en términos de balance, a lo largo del período de simulación 1990-2005, un volumen acumulado de PIB mayor, así como unos consumos de recursos y una emisión de contaminantes, acumulados siempre, menores al resto de escenarios.

CUADRO 1
CLASIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS POR EFICIENCIA RELATIVA

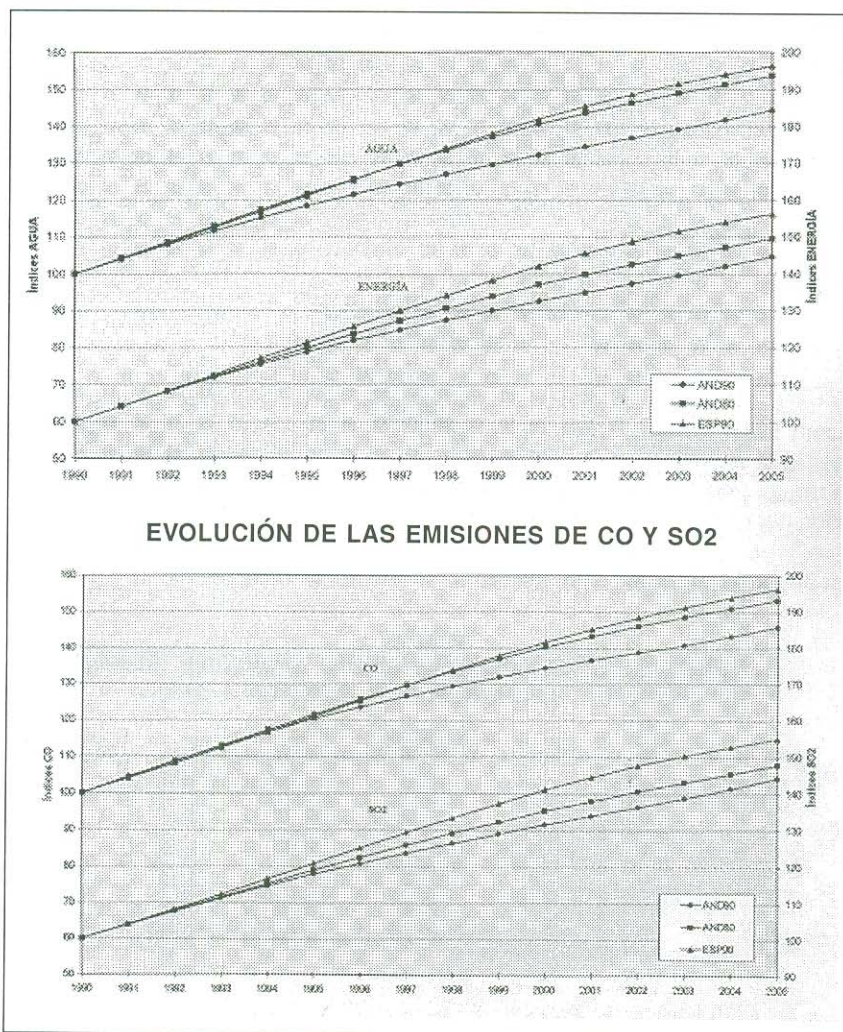
		Ambiental		
		1º	2º	3º
	1º	ESP90		
Económica	2º			AND80
	3º		AND90	

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DEL PIB. (1990=100)



La mejora en las emisiones de CO₂, se debe, por un lado, a un menor peso del sector de transporte por carretera, íntimamente ligado a la actividad económica, y, por otro lado, a la menor emisión por parte de las industrias de transformación de plantas industriales y química orgánica, gracias a un menor peso de dichas actividades en la demanda final. El empeoramiento en la contaminación por SO₂, producido en Andalucía, básicamente, por la producción de energía eléctrica, química básica y refino de petróleo, pone el contrapunto en la dirección contraria, evidenciando un mayor peso relativo de este tipo de productos en la demanda final del año 1990.

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE AGUA Y ENERGÍA



Quiere esto decir, en un análisis global, que, por un lado, tanto en materia económica (crecimiento) como ambiental (contaminación y consumo de los recursos agua y energía), ambos escenarios andaluces producen resultados mucho más ineficaces que los obtenidos para el caso de la simulación con la estructura sectorial de la demanda correspondiente al conjunto nacional. Por otro, que la estructura de demanda de la economía andaluza habría evolucionado en sentido desfavorable al crecimiento económico y a la emisión de SO₂, aunque de una forma positiva en relación al consumo de agua y energía y, especialmente, a la emisión de CO. Las simulaciones detalladas de las componentes de demanda, como veremos más adelante, arrojan interesantes matizaciones a estos hechos.

La segunda vertiente a la que se ha hecho referencia, trata de interpretar el comportamiento desagregado de la estructura sectorial de las exportaciones, consumo privado e inversión desde la misma perspectiva: el nivel de eficiencia aportado por las distintas simulaciones que toman como base la tabla regional de 1990. Para ello, modificamos exclusivamente la estructura sectorial de la componente simulada de la demanda, introduciendo en AND90 la correspondiente a los escenarios alternativos considerados anteriormente (AND80 y ESP90) y manteniendo el resto de componentes con la misma distribución de la tabla base (AND90). Los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 2.

TABLA 2
**BALANCE DE CRECIMIENTO Y MEDIO AMBIENTE, SEGÚN
COMPONENTES. VARIACIONES RESPECTO A AND90 (%)**

Escenarios	PIB	AGUA	ENERGÍA	CO	SO ₂	Media MA
CPRAND80	1,23	14,94	-0,24	11,66	-4,45	5,17
CPRESP90	2,86	-18,96	-5,02	-15,48	-4,09	-11,12
INVAND80	-0,01	-0,62	0,94	0,31	1,03	0,41
INVESP90	0,05	-0,80	0,23	0,21	0,26	-0,03
EXPAND80	-0,14	-11,18	2,34	8,68	-1,67	-0,72
EXPESP90	-0,92	-20,31	-8,72	7,87	-15,04	-9,64

En dicha tabla, se han puesto en negrita los datos más significativos. Si observamos, en primer lugar, los efectos sobre el crecimiento, es la estructura del consumo privado, tanto de la tabla española como la de la andaluza de 1980, la que produce las diferencias en el crecimiento a favor de dichos escenarios, dato realmente relevante en una región con

escasa renta, alto paro e importantes transferencias de la administración central. La inversión (formación bruta de capital) no arroja resultados claramente diferenciados. Sin duda sus efectos se deberían notar, al menos, a través de la variación de los coeficientes tecnológicos de consumo y emisión, así como en los coeficientes de inputs de las tablas, pero tales cambios son imposibles de observar en el actual estado del modelo y, además, como se sabe, no es una cuestión baladí la que se plantea. Las exportaciones, con signo negativo en ambos casos, aunque la variación no es muy relevante, se comportarían peor que las de AND90, lo cual podría indicar una "correcta" orientación exportadora desde el punto de vista del crecimiento para este escenario.

Analizando los consumos de agua, puede observarse que el fuerte efecto diferencial del escenario español es la suma tanto de una mejor estructura del consumo privado como de la orientación de sus exportaciones. Sin embargo, la ligera ventaja comparativa que se detectó en el escenario AND90 sobre el AND80, se debe al efecto fuertemente negativo de la estructura de demanda del consumo privado del escenario andaluz de 1980 (casi 15 puntos más que el de 1990), que no puede ser compensado por un mucho menor consumo de agua por parte de las exportaciones de 1980 en relación a las de 1990. Así, pues, esa "correcta" orientación exportadora supone un poco más de crecimiento, pero un mucho más de consumo de agua. Conviene recordar que los mayores consumos de agua se dan en sectores agrarios, por el siguiente orden de importancia: hortalizas y frutas (26,8%), cereales y leguminosas (26,1%), olivar (13,8%) y agrios (9,5%). Conviene precisar, sin embargo, que no sólo el consumo relativo del primero de ellos es inferior al de otros sectores (4,1 litros por peseta producida frente a las 18,8 litros del olivar o los 11 de cereales y leguminosas)⁷, sino que la elasticidad del sector Agua respecto a la demanda del de frutas y hortalizas es, también, más baja que la de Restaurantes y Cafés, Aceites y Grasas, Azúcar y Edificación⁸. Incluso la industria de fabricación de papel y de productos químicos para la agricultura, tan propios de la especialización productiva andaluza, tienen más altos coeficientes. Todos estos son datos interesantes que hay que tener en cuenta, no sólo para la política agraria, como se pone de manifiesto en el trabajo citado en la nota 7, sino, también, en la de desarrollo regional.

En cualquier caso, como se ha dicho, el 76,2% del consumo de agua por parte de todas las actividades productivas de la región lo hacen es-

7. Véase, Consejería de Medio Ambiente (1996; p.69).

8. Véase, Morillas (1996; p.133)

tos cuatro sectores agrarios, de clara vocación exportadora. Si, además, se tienen en cuenta todos los datos y comentarios señalados en el párrafo anterior, se entiende la importancia del dilema crecimiento-medio ambiente para el caso del sistema regional andaluz (AND90 *versus* AND80: la escasa ganancia de eficiencia económica de las exportaciones de AND90 se correspondería con una mucho mayor pérdida de eficiencia en el consumo de un recurso tan escaso y preciso para Andalucía como es el agua. Esta es, sin duda, como se señala en Consejería de Medio Ambiente (1996; p.71), “una restricción de partida del modelo de crecimiento económico de Andalucía”.

Respecto al consumo de energía, sólo el consumo privado de 1980 presenta una diferencia ligeramente favorable a un ahorro comparativo. Por tanto, el mejor balance, que se ha detectado anteriormente, del escenario AND90 respecto al AND80 se debe, básicamente, a un mayor consumo de energía de las exportaciones y de la inversión correspondientes al escenario de 1980 (un 2,34% y un 0,94% más que el de 1990, respectivamente). Sin duda que este hecho merecería un análisis más profundo, pero no sería muy aventurado afirmar que si la estructura de exportaciones de 1990 supone un menor consumo de energía es, sencillamente, o por una caída relativa de los sectores con mayores multiplicadores (la propia energía, química básica, cerámica y vidrio), cosa que no parece cierta, ya que la relevancia de estos sectores en 1990 era superior a la de 1980⁹, o porque se incorpora un menor peso relativo de productos elaborados y, por tanto, más de bienes con escasa o nula transformación.

En las emisiones de contaminantes, hay que decir que el transporte por carretera (29,1%) tiene un alto peso en la de CO, junto con el consumo privado (37,8%). Les sigue, a gran distancia, las plantas industriales, con un 7,8%. Una emisión tan fuertemente ligada al transporte por carretera y al consumo privado, ha de estar forzosamente relacionada con el nivel de actividad económica y eso es, probablemente, lo que reflejan los valores positivos de las exportaciones. Por lo demás, la menor eficiencia relativa del escenario de AND80 se produce gracias al consumo privado, cuando este es, precisamente, la gran baza del escenario ESP90 para compensar los efectos negativos de su estructura de exportaciones, similares, por lo demás, al caso de AND80. De nuevo, como en el caso del agua, la estructura sectorial de demanda del consumo privado se vuelve esencial para explicar estas diferencias.

9. Morillas (1995)

Finalmente, en la emisión de SO₂, hay un comportamiento desfavorable del escenario base, tanto en el consumo como en las exportaciones, indicando una tendencia negativa en la emisión de este contaminante y, particularmente, muy diferenciada respecto a la española en cuanto a la componente exportadora. Los máximos emisores de este tipo de producto son, como se ha dicho, energía eléctrica (26,4%), refino de petróleo (22,4%) y química básica (13,3%). Precisamente la extracción, transformación de minerales y química fueron de los sectores con mayor crecimiento en Andalucía durante la década de los 90.

En resumen, podría afirmarse que tanto la estructura sectorial del consumo privado como la de las exportaciones son las claves para explicar las diferencias en el comportamiento de los distintos escenarios. Los resultados obtenidos para la primera de estas dos componentes muestra una mayor eficiencia del escenario ESP90, en todos y cada uno de los aspectos analizados (PIB, agua, energía, CO y SO₂), sobre los dos escenarios andaluces. Comparando estos dos últimos, se observa que el mayor crecimiento inducido por la estructura sectorial del consumo de 1980 en Andalucía (con mayor peso relativo del sector agrario y de transporte), supone más consumo de agua y de emisión de CO que en el obtenido para 1990. De nuevo se pone de manifiesto el conflicto crecimiento *versus* medio ambiente en el sistema productivo andaluz. Por otro lado, el análisis de las exportaciones revela que, desde el punto de vista del crecimiento, la estructura sectorial en Andalucía para 1990, es ligeramente más eficiente que la de 1980 e, incluso, que la española. No obstante, esa ventaja en la producción se realiza a costa de un consumo de agua, energía y emisión de SO₂ muy superiores a la media española. También, es más ineficaz que el escenario AND80 en consumo de agua y emisión de SO₂, poniendo de manifiesto la tendencia en la especialización regional en sectores consumidores de recursos naturales y emisores de contaminación¹⁰: exportación de productos agrarios, extracción y transformación de minerales y química básica.

Como conclusión, podemos decir que el sistema económico que rige en Andalucía es más ineficaz que el español, tanto en crecimiento como en el consumo de los recursos y agentes polucionantes analizados¹¹. Además, la tendencia del sistema andaluz parece ir en el sentido de la profundización de esa ineficacia. Este trabajo ha sido una primera aproxi-

10. Se confirma, así, lo detectado en otros trabajos, como Morillas (1995) o Delgado (1990 y 1995).

11. Un análisis estático de la incidencia de la estructura productiva sobre el medio ambiente en Andalucía, puede verse en Consejería de Medio Ambiente (1995, cap. III y 1993).

mación. La complejidad del modelo y el buen número de variables relevantes que podrían haber sido incluidas en el análisis demandan no sólo una profundización en los aspectos tratados, sino una ampliación a otros indicadores económicos relevantes y a un mayor número de recursos naturales y agentes contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAAT, L. C. y LIEROP, W. F. J. van (1987): "Integrated Economic-Ecological Modeling", en BRAAT, L. C. y LIEROP, W. F. J. van: *Economic-Ecological Modeling*, Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland, Amsterdam, pp. 49-67.
- 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.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (1993): *Análisis Medioambiental de la Estructura Económica de Andalucía*. Monografía núm. 5. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (1995): *Plan de Medio Ambiente de Andalucía, 1995-2000*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (1996): *La Tabla Input-Output Medioambiental de Andalucía 1990*. Dirección General de Planificación y Participación. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- DELGADO CABEZA, M.(1990): "Condicionantes del futuro económico de Andalucía". *Revista de Estudios Regionales*, núm. 90; pp. 25-55.
- DELGADO CABEZA, M.(1995): "Las relaciones con el exterior de la estructura productiva andaluza. Análisis de las necesidades de importación. 1980-1990". *Contabilidad Regional y Tablas Input-Output de Andalucía. Análisis de resultados*. Vol. I, pp. 272-315.
- FORRESTER, J. W. (1971): *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.
- LEGUINA, J. (1989): *Fundamentos de Demografía* (4ª ed.), Siglo XXI de España Editores, Madrid.
- LOW, G. W. (1980): "The Multiplier - Accelerator Model of Business Cycles Interpreted from a System Dynamics Perspective", en LEGASTO, A. A. Jr.; FORRESTER, J. W.; LYNEIS, J. M. (1980): *System Dynamics*, TIMS Studies in the Management Sciences, vol. 14, North-Holland, Amsterdam, pp. 23-43.
- MARTÍNEZ VICENTE, J. S.; ARACIL, J.; y RUÍZ DE FRANCISCO, F. (1979): "La Simulación Dinámica Aplicada a la Ordenación de Recursos: Un modelo a dos niveles", *Agricultura y Sociedad*, nº 10, pp. 171-215.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; y BEHRENS W. W. (1973): *Los Límites del Crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, México.
- MEADOWS, D. H. (1980): "The Unavoidable a Priori", en RANDERS, J. (1980): *Elements of the System Dynamics Method*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts, 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 Universidad de Málaga, Málaga.
- MORECROFT, J. D. W. (1988): "System Dynamics and Microworlds for Policymakers", *European Journal of Operational Research*, nº 35, pp. 301-320.
- MORILLAS RAYA, A.(1982): "Análisis estructural de modelos económicos. Aportaciones de la teoría de grafos". *Estadística Española*. Jul.-Sep., 1982.
- MORILLAS RAYA, A.(1983): *La teoría de grafos en el análisis input-output. La estructura productiva andaluza*. Secretar. Publicaciones. Universidad de Málaga, 1983.
- MORILLAS RAYA, A.(1995): "Aplicación de la teoría de grafos al estudio de los cambios en las relaciones intersectoriales de la economía andaluza en la década de los 80". *Contabilidad Regional y Tablas Input-Output de Andalucía. Análisis de resultados*. Vol. I, pp.90-140.
- MORILLAS RAYA, A.(1996): "La teoría de grafos en el análisis económico regional. El agua como factor productivo en Andalucía". *Boletín Económico de Andalucía*, núm. 21, pp. 125-138.
- MORILLAS, A.; MELCHOR, E.; CASTRO, J.M. (1996): "An Environmental and Socioeconomic Integrated Systems Analysis. The case of Andalusia", LI Meeting of the Applied Econometrics Association, Econometrics of the Environment and Transdisciplinarity, Lisboa
- PÉREZ, 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, Madrid.
- SLESSER, M. (1994): *ECCO User's Manual Parts I & II; simulation software for assessing national sustainable development*, Resource Use Institute, Edinburgh.

Recibido, 2 de Octubre de 1996; Aceptado, 2 de Diciembre de 1996.