

AJUSTE Y PROYECCION DE LAS TABLAS INPUT-OUTPUT EN CONDICIONES DE COHERENCIA ESTRUCTURAL MEDIANTE OPTIMIZACION MATEMATICA

MIGUEL ANGEL TARANCON MORAN*

Universidad de Castilla - La Mancha

Abstract

This paper develops an adjustment and projection method for input-output tables based on mathematical programming techniques. One of its main advantages is the flexibility and ability to include information relative to the elements of the table. The information considered in the adjustment technique stems from the hypothesis that there is a stable evolution of the productive structure of the economy. This leads to the inclusion of variability margins for the technical coefficients. In order to test the accuracy of this method, the paper undertakes a projection of input-output tables for Spain in the 1995-1998 period.

I. Introducción

La tabla input-output (TIO) de un país o región es una de las herramientas más útiles para el análisis global y, a su vez, detallado (sectorial) de la realidad económica. Esta herramienta, por tanto, es útil a la hora de proponer políticas de estímulo de la actividad económica.

Una de las limitaciones de esta herramienta estadística es su disponibilidad en el marco espacial y/o temporal de análisis. El alto costo de la elaboración de tablas mediante encuesta directa, así como su demora, hacen interesante el desarrollo de técnicas matemáticas de proyección. Así, la proyección de TIO ha sido una de las tareas que más atención ha obtenido por parte de distintos autores.

* Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Area de Econometría de la Universidad de Castilla - La Mancha. E-mail: MiguelAngel.Tarancon@uclm.es

Las técnicas tradicionales de ajuste de TIO no permiten asumir mucha información referente a los elementos y relaciones de la tabla. En cambio, las técnicas de programación matemática permiten integrar en el proceso de ajuste una elevada cantidad de información, constituyéndose en un marco de modelización flexible. Este artículo presenta un modelo de programación matemática que permita ajustar la tabla de referencia integrando toda la información que incide sobre los elementos y relaciones de la TIO.

Un tipo de información importante es la referida a la estructura de la TIO. Distintas experiencias empíricas evidencian la evolución en condiciones de estabilidad de los coeficientes técnicos de la tabla. A partir de esta idea, este trabajo propone la elaboración de márgenes de variabilidad estructuralmente admisibles sobre los coeficientes técnicos y su incorporación en el modelo de ajuste y proyección de la TIO.

Como segundo aporte de este trabajo se propone un método de resolución del modelo matemático resultante de forma iterativa e interactiva, de manera que se obtenga una solución final supervisada por el investigador, frente a los procesos de ajuste automáticos que corren el riesgo de obtener soluciones matemáticamente factibles pero estructuralmente inadmisibles.

La sección II muestra, como marco de la investigación, la estructura básica de la TIO. La tercera sección enumera las técnicas y metodologías de ajuste y proyección de tablas antecedentes de esta propuesta. La sección IV propone la hipótesis de evolución estructural estable, que sirve de base para la incorporación en el modelo de ajuste de márgenes de variabilidad estructuralmente admisibles. En la sección V se muestra el modelo de programación matemática resultante. Este modelo se resuelve siguiendo una serie de etapas metodológicas expuestas en la sección VI. En la sección VII se desarrolla, como aplicación, la proyección de las TIO de España en el período 1995-1998. Finalmente, la última sección destaca las principales conclusiones del trabajo.

II. La Tabla Input-Output. Relaciones Básicas

La TIO constituye el segundo pilar básico de las cuentas económicas de un país, tras la Contabilidad Nacional, a la cual permanece íntimamente unida. Este instrumento estadístico recoge los flujos de bienes y servicios entre los sectores de la economía a nivel desagregado por ramas de actividad¹.

La TIO de un sistema económico se compone de tres matrices de valores interrelacionadas: matriz de transacciones intermedias (X), matriz de demanda final (Y) y matriz de inputs primarios (Z).

La matriz de transacciones intermedias X es una matriz ($n \times n$) de flujos (compras y ventas) de mercancías y servicios entre las ramas de actividad que componen el sistema económico. Por filas, se detallan las ventas que cada rama de actividad realiza al resto de ramas y a sí misma. Por columnas, se muestran las compras

que cada rama de actividad realiza al resto de ramas y a sí misma. El elemento típico de la matriz, x_{ij} , informa de las compras realizadas por la rama j-ésima del bien producido por la rama i-ésima.

La matriz de demanda final Y es la matriz (n x m) que muestra las transacciones (ventas) de las n ramas de actividad con las m componentes de la demanda final. El elemento y_{ik} mostrará la producción de la rama i-ésima comprada por la categoría k-ésima de demanda final: consumo privado y público, formación bruta de capital, demanda neta del sector exterior.

La matriz de inputs primarios Z es la matriz (p x n) de compra de inputs a los factores productivos primarios desagregados en p componentes (principalmente componentes del valor añadido): retribución de los asalariados, cargas sociales de las empresas, excedente bruto de explotación. El elemento z_{dj} mostrará la compra del d-ésimo tipo de inputs primarios por parte de la rama de actividad j-ésima.

La TIO puede ser considerada un sistema contable, en el sentido de la igualdad que debe cumplirse entre recursos y empleos del sistema económico en un momento dado. Esto se refleja en la siguiente relación básica:

$$\sum_{ik} y_{ik} = \sum_{dj} z_{dj} \quad (1)$$

Las relaciones contables obligan igualmente a que deba darse para cada rama de actividad una igualdad entre la suma de las ventas totales de la rama y sus compras totales. El valor de las sumas anteriores, tanto por el lado de las ventas como por el lado de las compras, será la *producción efectiva* de la rama de actividad w_i (o bien w_j):

$$\sum_j x_{ij} + \sum_k y_{ik} = w_i \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} + \sum_d z_{dj} = w_j \quad (3)$$

El concepto de *producción efectiva* da lugar a la definición de los coeficientes técnicos de producción. Un *coeficiente técnico* se define como el cociente entre cada elemento de la matriz de transacciones intermedias y la producción efectiva de la rama de actividad (columna) correspondiente:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{w_j} \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, \dots, n$$

donde x_{ij} es el elemento típico de la matriz de relaciones intersectoriales X , w_j la producción (efectiva) total de la rama j-ésima.

La matriz estructural A recoge la totalidad de los coeficientes técnicos:

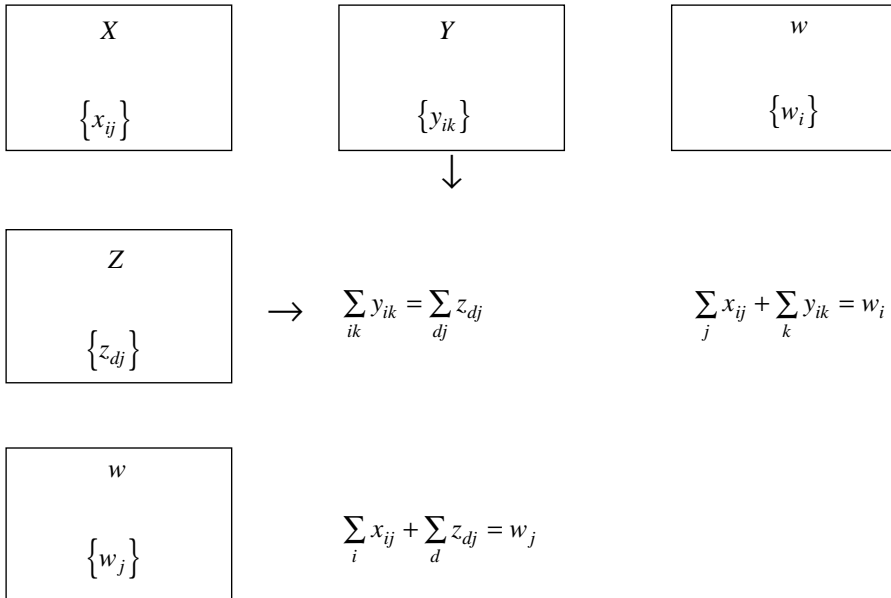
$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Por columnas los coeficientes técnicos muestran la estructura de compras de una rama de actividad o industria. Si, además, se incorporan las hipótesis de *efecto-precio nulo* y de *funciones de producción lineales y homogéneas*, puede concluirse que la columna j -ésima describe la función de producción de la rama j , en el sentido de mostrar la proporción de insumos necesaria para producir una unidad de producto. Por tanto, la matriz A muestra la estructura productiva que subyace al sistema económico descrito para la TIO objeto de análisis.

En el Gráfico 1 se muestra la relación entre las distintas matrices del sistema input-output a través de las oportunas identidades que constituyen el armazón en base al cual construir una tabla input-output:

GRAFICO 1

RELACIONES BASICAS DE LA TABLA INPUT-OUTPUT



El problema que se plantea en este trabajo es la proyección de esta tabla a un horizonte temporal posterior, en coherencia con las informaciones técnicas, contables y estructurales que sobre ese horizonte se dispongan. La herramienta seleccionada para este propósito es un modelo de programación matemática. Algunas experiencias consideradas como antecedentes son mostradas en la siguiente sección.

III. Antecedentes: Técnicas de Proyección de Tablas Input-Output y Programación Matemática

Las distintas técnicas de proyección de TIO se han basado tradicionalmente en el ajuste de una tabla de referencia a la información sobre los márgenes de ésta. Ejemplos de estas técnicas son el popular método RAS o el método de Friedlander. Esta información, en la realidad, es difícil de obtener, por lo que el proceso de ajuste debe extenderse a la totalidad de matrices del sistema input-output.

Además, existe una variada casuística de informaciones (sectores y coeficientes importantes, tendencias, opiniones de expertos, relaciones entre elementos, equilibrios, etc.) que deben ser asumidas de forma global en el proceso de ajuste, sin perder los condicionantes individuales y dotando de coherencia a todo el sistema de proyección (Harrigan 1983, pp. 547-549).

En este sentido, el desarrollo de las técnicas de optimización matemática han ofrecido la posibilidad de especificar modelos de ajuste más flexibles basados en herramientas de optimización. Los modelos de programación matemática, en opinión de Harrigan (1983, p. 548), gozan de las siguientes ventajas respecto a otros métodos de ajuste de TIO:

- Posibilidad de incluir restricciones complementarias a las sumas de filas y columnas.
- Utilización indistinta de restricciones tipo igualdad y restricciones tipo desigualdad.
- Posibilidad de establecer intervalos de variabilidad en todas las variables del modelo.
- Posibilidad de tratar a los agregados como elementos sujetos a variabilidad, o ser considerados fijos.
- Posibilidad de especificar relaciones lineales o multiplicativas.

Esfuerzos pioneros de este enfoque lo constituyen los trabajos de Dorfman, Samuelson y Solow en la década de los 50, o Matuszewski *et al.* (1964), que prueban la fuerte relación existente entre el análisis input-output y la programación lineal.

En España, puede citarse como antecedente de la metodología aquí propuesta la metodología de ajuste óptimo utilizada en la aplicación del modelo EXPO (Rodríguez Alcaide *et al.*, 1988) mediante el desarrollo del sistema M.A.R.I.B.E.L.², o el modelo planteado en el Proyecto ECONOMETRIST (Martínez Aguado *et al.*,

1998) en donde, en la línea de Maas (1994), se plantea la construcción de intervalos de variabilidad en torno a los coeficientes técnicos basados en el análisis de sensibilidad.

Precisamente, en este proyecto se propone el establecimiento de márgenes de variabilidad sobre los coeficientes técnicos de la tabla a la hora de su ajuste, lo que asegurará una proyección que suponga una evolución estable de la estructura productiva representada en la TIO. Esta evolución estable, y su implementación operativa, es defendida en el siguiente apartado.

IV. Hipótesis de Evolución Estructural Estable

La TIO no es simplemente un sistema de matrices de valores interrelacionados, sino que es además la representación de un sistema productivo. Numerosos estudios empíricos evidencian el cambio de la estructura productiva representada por los coeficientes técnicos de la TIO. Como apunta Sevaldson (1974, pp. 113-115), los productores pueden disponer de varias combinaciones de inputs (vectores columna de coeficientes técnicos), adoptando aquel vector que le suponga un mayor margen de beneficio.

Vaccara (1970, p. 239) opina que los cambios en las relaciones técnicas de una industria se implantan de una forma lenta y ordenada. Esto se debe a las demoras en la introducción en un sector de nuevos productos, nuevos materiales, nuevas tecnologías y largos procesos de sustitución de materias en función de los cambios en los precios relativos.

Fontela y Pulido (1991, p. 140) constatan la lentitud en la adopción de cambios sustanciales en la magnitud de un coeficiente técnico, lo que es atribuible a que la innovación tecnológica que impulsa tal cambio debe ser asumida por toda la tecnología del sector.

Esta teoría es sugerida, más recientemente, por Azid (2002, pp. 2-5). Este autor cree que el cambio en los coeficientes técnicos de una tabla es un reflejo de la innovación tecnológica. Esta innovación supone una acumulación de nuevo capital productivo. Según la posición y el nivel de monopolio de la industria que pretende incluir la innovación, el resto de industrias y sectores acumularán el nuevo capital productivo inducido por la innovación. Es difícil pensar en una rápida sustitución del capital acumulado correspondiente al nivel tecnológico actual, por lo que es lógico pensar en que la introducción de la nueva tecnología (y por tanto del nuevo capital productivo) será lenta y convivirá con la tecnología actual (y por tanto con el capital existente). Esto se traduce en un cambio lento y paulatino, pero constante, de los coeficientes técnicos.

Antonelli (1999) abunda en esta teoría al apuntar que el progreso técnico es acumulativo, de manera que varias tecnologías pertenecientes a una misma rama de actividad conviven. Esto hace que los coeficientes técnicos evolucionen según las trayectorias tecnológicas de la industria. Estas trayectorias, a juicio de Dosi (2000, p. 16), implican “un patrón relativamente coherente de cambio en los coeficientes técnicos”.

Antille *et al.* (2000) realizan el estudio de la evolución de los coeficientes técnicos en el caso de Suiza. En su estudio destacan tanto la evolución estable de los coeficientes técnicos como el mantenimiento a lo largo del tiempo de fuertes conexiones técnicas (rutas productivas), lo que caracteriza la estructura productiva del país.

Desde el punto de vista empírico, diversos estudios han analizado la evolución de los coeficientes técnicos. Así, cabe destacar las experiencias recogidas por Pulido (1986) y Scherer (1982), que coinciden en señalar cómo la difusión de las innovaciones en diferentes industrias (y por tanto la evolución de los coeficientes técnicos que representan dicha difusión) sigue un patrón en forma de "S". Más recientemente, Okuyama *et al.* (2000) proponen un comportamiento de los coeficientes técnicos de tipo autorregresivo mediante la estimación de un modelo VAR. Pulido y Fontela (1993) recogen otras experiencias empíricas en las que el comportamiento de los coeficientes técnicos es modelizado mediante técnicas matemáticas y estadísticas.

Como conclusión de los distintos estudios, puede decirse que los coeficientes técnicos que constituyen la estructura de la TIO evolucionarán de forma estable. Es la llamada *hipótesis de evolución estructural estable*.

Esta hipótesis se refleja en el hecho de que, si bien las magnitudes de los coeficientes cambian siguiendo, en la mayoría de las ocasiones, sendas bien definidas, este cambio será a una velocidad lo suficientemente lenta como para que los patrones estructurales básicos no experimenten una ruptura brusca con el valor de sus propios parámetros. Estos patrones estructurales, que son característicos de la economía representada y que caracterizan a ésta (Szyrmer, 1985), se mantendrán a lo largo de intervalos temporales relativamente amplios.

El planteamiento operativo de la hipótesis de evolución estructural estable puede ser una valiosa fuente de información para la proyección de la TIO. Para ello, se planteará un modelo de ajuste en términos de programación matemática que permita incorporar la hipótesis en términos de márgenes de variabilidad sobre los elementos de la tabla.

Antes de plantear la especificación del modelo de optimización, es necesario establecer una propuesta operativa que permita incorporar al proceso de modelización la hipótesis de evolución estructural estable.

El algoritmo de Schintke y Stäglin (1988) basado en el análisis de sensibilidad permite de una forma operativa establecer unos límites de variabilidad estructuralmente admisibles, acordes con la hipótesis de evolución estable propuesta. La hipótesis que subyace al algoritmo puede formularse como la necesidad de que los coeficientes técnicos que conforman la estructura de la TIO no puedan cambiar más allá de un punto en el que, para un mismo nivel de demanda final, la producción de algún sector económico varíe más de un porcentaje preestablecido³.

El algoritmo ofrece intervalos de variabilidad con una amplitud inversamente proporcional a la importancia del coeficiente dentro de la estructura productiva. El grado de importancia relativa de un coeficiente se obtiene mediante la ecuación:

$$\omega_{ij}(p) = a_{ij} \left(\alpha_{ji} p + 100 \max_{k=1, \dots, n} \frac{\alpha_{ki} w_j}{w_k} \right) = a_{ij} \left(\alpha_{ji} p + 100 \frac{\alpha_{ii} w_j}{w_i} \right) \quad (4)$$

con:

ω_{ij} grado de importancia del coeficiente a_{ij}

p porcentaje máximo de variación absoluta que provocará sobre la producción de cualquier sector w_j

α_{ij} elemento de la matriz inversa $(I-A)^{-1}$.

Siendo la sensibilidad del coeficiente (que aporta los márgenes de variabilidad superior e inferior para el coeficiente):

$$r_{ij} = \frac{p}{\omega_{ij}} \quad (5)$$

Los márgenes de variabilidad obtenidos mediante el algoritmo anterior se incorporan al proceso de proyección de la TIO mediante su especificación en el siguiente modelo matemático.

V. El Modelo Matemático

El modelo de ajuste matemático que constituye el corazón de la metodología es denominado modelo A.N.A.I.S. (Ajuste Numérico Algebraico Interactivo Sectorial) (Vázquez y Tarancón, 1999).

Operativamente, se implementa como un modelo de optimización matemática con la siguiente especificación:

- El multiobjetivo del modelo es la minimización individualizada y global de las discrepancias relativas ponderadas que surgen entre los elementos de la TIO tomados como referencias, y los elementos ajustados:

$$\min \text{ rmax} \quad (6)$$

$$\min \left(\sum_{ij} r_{ij}^x \omega_{ij}^x + \sum_{ik} r_{ik}^y \omega_{ik}^y + \sum_{dj} r_{dj}^z \omega_{dj}^z \right) \quad (7)$$

Como restricciones del programa pueden distinguirse:

- Ecuaciones de coherencia: son la serie de identidades que constituyen la estructura contable de la tabla input-output, y que fueron mostradas en la sección II como las ecuaciones (1), (2) y (3):

$$\sum_{ik} y_{ik}^* = \sum_{dj} z_{dj}^* \quad (8)$$

$$\sum_j x_{ij}^* + \sum_k y_{ik}^* = w_i^* \quad (9)$$

$$\sum_i x_{ij}^* + \sum_d z_{dj}^* = w_j^* \quad (10)$$

- Ecuaciones de coherencia estructural: como singularidad respecto a otros métodos de ajuste, esta metodología incorpora una serie de restricciones sobre la variabilidad de los coeficientes técnicos de la tabla, que atienden a la hipótesis de evolución estructural estable:

$$a_j^- \leq \frac{x_{ij}^*}{w_j^*} \leq a_j^+ \quad (11)$$

Los márgenes de variabilidad inferiores y superiores a_j^- y a_j^+ de cada coeficiente técnico se calculan al restar y sumar al coeficiente de la matriz de referencia el porcentaje de variación calculado en (5).

- Intervalos de variabilidad sobre elementos de la tabla en valores monetarios: el sistema permite establecer intervalos de variabilidad de los elementos de las matrices de la tabla:

$$x_{ij}^- \leq x_{ij}^* \leq x_{ij}^+ \quad (12)$$

$$y_{ik}^- \leq y_{ik}^* \leq y_{ik}^+ \quad (13)$$

$$z_{dj}^- \leq z_{dj}^* \leq z_{dj}^+ \quad (14)$$

- Intervalos de variabilidad sobre los agregados económicos:

$$\left[\sum_k y_{ik}^* \right]^- \leq \sum_k y_{ik}^* \leq \left[\sum_k y_{ik}^* \right]^+ \quad (15)$$

$$\left[\sum_j z_{dj}^* \right]^- \leq \sum_j z_{dj}^* \leq \left[\sum_j z_{dj}^* \right]^+ \quad (16)$$

$$\left[\sum_j w_j^* \right]^- \leq \sum_j w_j^* \leq \left[\sum_j w_j^* \right]^+ \quad (17)$$

- Variabilidad máxima: Estas desigualdades surgen de la resolución del modelo para el primero de los objetivos del programa (6), y pueden ser consideradas restricciones de cierre:

$$r_{ij}^x \leq rmax \quad \forall i, j \quad (18)$$

$$r_{ik}^y \leq rmax \quad \forall i, k \quad (19)$$

$$r_{dj}^z \leq rmax \quad \forall d, j \quad (20)$$

- Por último, los elementos ajustados se encontrarán entre los límites impuestos a los elementos de la tabla en la resolución definitiva del proceso de optimización (optimización del segundo objetivo expuesto en (7)):

$$x_{ij}^0 \cdot (1 - r_{ij}^x) \leq x_{ij}^* \leq x_{ij}^0 \cdot (1 + r_{ij}^x) \quad \forall i, j \quad (21)$$

$$y_{ik}^0 \cdot (1 - r_{ik}^y) \leq y_{ik}^* \leq y_{ik}^0 \cdot (1 + r_{ik}^y) \quad \forall i, k \quad (22)$$

$$z_{dj}^0 \cdot (1 - r_{dj}^z) \leq z_{dj}^* \leq z_{dj}^0 \cdot (1 + r_{dj}^z) \quad \forall d, j \quad (23)$$

Obviamente, a esta especificación básica puede ser añadido todo tipo de información sobre el comportamiento de elementos, en valores monetarios o en coeficientes, y sobre relaciones entre éstos, en forma de restricciones e intervalos de variabilidad.

En el proceso de proyección basado en este modelo matemático se distinguen una serie de etapas metodológicas, que son expuestas en el siguiente apartado.

VI. Etapas Metodológicas

La metodología de ajuste y coherencia aquí formulada se concibe como un procedimiento que permite integrar múltiples informaciones en el marco del ajuste y proyección de la tabla estadística input-output.

La forma operativa de plasmar este mecanismo es mediante la especificación de un modelo de programación matemática en el que existe un objetivo a optimizar que representa el cambio global de los elementos de la tabla ajustada respecto a los elementos de referencia (expresiones (6) y (7)). Este objetivo viene sujeto a las restricciones originadas por las reglas contables de la TIO ((8) a (10)), por sus

condiciones estructurales (11) y por la variabilidad de los elementos de la tabla que surgen de las distintas informaciones obtenidas ((12) a (17)).

Las informaciones a integrar pueden tener diversos orígenes: opiniones de expertos, modelos econométricos o matemáticos conectados, sistemas de Cuentas Económicas (Contabilidad Nacional, Trimestral, etc.), algoritmos estructurales o de las propias condiciones de la investigación (formulación de escenarios y análisis de impactos).

Estas informaciones tienen en común suponer un cambio en las condiciones iniciales de la tabla tomada como referencia, y son integradas en forma de restricciones e intervalos de variabilidad en el modelo, tal y como se especificó en el apartado anterior.

Los orígenes diversos de las informaciones anteriores, junto a su variabilidad asociada a la incertidumbre, hace que el modelo matemático deba modificar su especificación a lo largo de dos grandes etapas metodológicas a fin de reconciliar las informaciones y dotarlas de coherencia (Tarancón Morán, 2002).

A continuación se describe el proceso modelizador distinguiendo cada una de estas etapas:

- a) *Fase de Búsqueda de Coherencia.* La información de partida que entra en la especificación inicial del modelo puede tener, como se acaba de comentar, orígenes diversos. Esto, unido a la incertidumbre asociada a las informaciones procedentes de previsiones, opiniones y avances, provoca que puedan existir incompatibilidades entre las informaciones que hacen que el modelo no tenga solución posible.

Esta fase es otra de las singularidades de esta metodología. Se plasma en un proceso interactivo e iterativo en el que se eliminan las incompatibilidades entre especificaciones del modelo de ajuste de forma controlada por el investigador.

El proceso consiste en añadir variables de holgura en las ecuaciones donde se detecta una incompatibilidad, se resuelve el modelo y se realiza el análisis de sensibilidad. De dicho análisis se obtiene, en cada iteración, un listado con los márgenes de la tabla susceptibles de variación, una propuesta de modificaciones y el porcentaje de reducción de discrepancias al que contribuye cada modificación. Tras seleccionar una modificación, se procede a una nueva iteración y se repite el proceso, hasta que las discrepancias desaparecen.

- b) *Etapas de Ajuste:* Tras la etapa anterior, el modelo ofrece una especificación con solución posible. En este momento se incorpora el multiobjetivo de manera que se alcance una solución óptima que da lugar a una tabla ajustada y coherente con toda la información y criterios incluidos.

Como ejemplo de la aplicación de esta metodología se muestra a continuación la proyección de las TIO españolas agregadas a las 25 ramas de actividad EUROSTAT para el período 1995-1998, tomando como base estadística las tablas homogéneas publicadas en el período 1986-1994.

VII. La Aplicación: Proyección de las Tablas R25 1995-1998

Como aplicación de la metodología anterior se muestran los resultados de la proyección de las TIO españolas publicadas por el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), en su agregación en las 25 ramas de Eurostat.

Las tablas son, para cada año, ajustadas a los agregados económicos correspondientes. En concreto, se dispone de los siguientes datos conocidos:

- Serie de tablas input-output homogéneas (1986-1994) en base 1986 desagregadas en las 25 ramas de actividad EUROSTAT.
- Series de la Contabilidad Nacional de España en base 1986, hasta el año de avance 1997.
- Series de la Contabilidad Trimestral de España en base 1986, hasta el año de avance 1998 para ciertos agregados económicos.

La aplicación persigue ilustrar los dos principales puntos en los que se basa esta investigación:

- En primer lugar, evidenciar empíricamente el cumplimiento de la hipótesis de evolución estructural estable para el período en el que existen tablas publicadas (1986-1994).
- En segundo lugar, mostrar cómo la metodología presentada permite ajustar cuatro tablas para el período 1995-1998 a los agregados económicos de este período coherentes con las anteriores desde el punto de vista estructural.

Para ambos propósitos se someten, a las tablas publicadas y ajustadas, a una serie de algoritmos que establecen los patrones estructurales básicos de la TIO, y se comprueba si esos patrones se mantienen a lo largo de la serie de tablas.

A continuación se muestra la especificación inicial del modelo, las fases de búsqueda de coherencia y ajuste, y se comentan las pruebas de coherencia estructural de las tablas publicadas y proyectadas.

7.1 Especificación del modelo

El modelo de ajuste se formula como un modelo de optimización multicriterio jerarquizado a dos niveles.

Como restricciones en forma de igualdades se incorporan las identidades propias de la estructura contable de la TIO (ecuaciones (8) a (10)), además de los elementos conocidos que, en concreto, son los valores de los agregados económicos proporcionados por la Contabilidad Nacional (incluyendo la *Producción Imputada de Servicios Bancarios PISB*), además del *Valor Añadido Bruto* detallado por ramas de actividad (expresiones (15) a (17))⁴. El cumplimiento de estas restricciones tiene el máximo nivel de prioridad en el proceso de tratamiento de márgenes.

Por otro lado se establecen márgenes de variabilidad sobre los coeficientes técnicos (elementos de la matriz A), mediante la especificación de las ecuaciones de coherencia estructural (expresión (11)). Estas ecuaciones garantizan la coherencia estructural del ajuste, y su cumplimiento tiene el segundo nivel de prioridad en el proceso de tratamiento de márgenes.

Por último, se incorporan intervalos de variabilidad en torno a las sendas de evolución de los elementos individuales de la TIO (ecuaciones (12) a (14)), bien sean de la matriz de transacciones intermedias X , o bien de las matrices de demanda final Y y matriz de inputs primarios Z . El objetivo del establecimiento de estos márgenes de variabilidad es la consecución de un cierto grado de coherencia cross-temporal a lo largo de la serie de tablas publicadas y ajustadas, dentro de los límites fijados por la coherencia estructural. El cumplimiento de las restricciones originadas por el establecimiento de estos intervalos tiene el último nivel de prioridad en el mecanismo de tratamiento de márgenes, lo que quiere decir que su modificación está supeditada al cumplimiento de la coherencia contable y estructural.

El valor de los márgenes de variabilidad de los elementos de la TIO susceptibles de variación se obtiene, operativamente, por dos vías:

- En el caso de coeficientes (A), los intervalos de variabilidad se calculan mediante la aplicación del algoritmo de Schintke y Stäglin (1988) sobre la tabla publicada/ajustada del año previo, para una variación de la producción sectorial admisible del 1% (valor generalmente aceptado). Estos valores son la base para la especificación de las ecuaciones de coherencia estructural. El proceso se detalla en el apartado 7.1.1.
- En el caso de elementos en términos de valores (X , Y , Z), la determinación de los intervalos de variabilidad parte de la estimación de un sistema de ecuaciones tendenciales denominado PIE (proyección individualizada de elementos). El proceso de construcción de los márgenes de variabilidad se detalla en el apartado 7.1.2.

7.1.1 *Márgenes de variabilidad de coeficientes*

La metodología presentada en este trabajo tiene uno de sus pilares básicos en el planteamiento de la hipótesis de evolución estructural estable, esto es, variación controlada de coeficientes.

La variabilidad de los coeficientes permitirá integrar en el modelo la evolución que experimenta la estructura productiva representada por medio de la TIO. Esta evolución se plasma operativamente en la especificación de las ecuaciones de coherencia estructural.

El carácter dinámico del proceso de especificación de ecuaciones de coherencia estructural (evolución estructural estable) se concreta en el cálculo de los márgenes de Schintke y Stäglin (1988) con base en la TIO del año anterior (bien sea publicada o ajustada). De esta forma, los márgenes ofrecidos variarán de un año a otro conforme evoluciona la estructura de la TIO.

7.1.2 Márgenes de variabilidad de valores

La incorporación de márgenes de variabilidad en torno a los elementos de la TIO en valores monetarios (elementos de las matrices X , Y , Z) se configura como una fuente de información sobre la variabilidad de los elementos de la TIO complementaria a la variabilidad admisible de los coeficientes técnicos.

Para el establecimiento de estos márgenes se ha construido un sistema de ecuaciones de proyección de elementos llamado PIE, compuesto por ecuaciones de determinación de la tendencia de cada elemento en función de la serie de TIO homogéneas.

Concretamente, las ecuaciones PIE tienen como objetivo establecer una variabilidad de los elementos individuales de la TIO que, encajando en los márgenes establecidos por las ecuaciones de coherencia estructural, sea coherente con la evolución histórica del elemento.

El sistema aporta, para cada año del ajuste, un valor proyectado del elemento de la TIO en cuestión. En torno a esta proyección puntual se establece un intervalo de variabilidad cuya amplitud, operativamente, está relacionada con la bondad del ajuste de la ecuación PIE correspondiente, como medida sobre la certidumbre de dicha información.

Si bien la proyección de elementos por medio de ecuaciones de determinación de la tendencia despierta ciertas cautelas, debe comentarse que estas proyecciones y los correspondientes intervalos constituyen referencias iniciales. La fase de búsqueda de coherencia detecta, por un lado, las proyecciones y márgenes que deben ser revisados por no encajar en la estructura global de la tabla; y por otro lado propone las modificaciones oportunas para contribuir a la consecución del estado de coherencia.

La construcción de márgenes sobre valores monetarios permitirá, a su vez, la búsqueda por parte del sistema de la coherencia contable de la tabla ajustada, ya que las identidades básicas se establecen entre los valores de los agregados económicos.

Las especificaciones básicas planteadas en las ecuaciones PIE han sido de tres tipos: lineal, parabólica y autorregresiva. Además, para cada tipo de especificación existió la posibilidad de incluir, para recoger observaciones erráticas o cambios de comportamiento puntuales en las series históricas de datos, variables ficticias.

En la Tabla 1 se muestran las especificaciones de las ecuaciones PIE para cada uno de los años de ajuste.

Los márgenes de variabilidad de los elementos de las matrices input-output, junto con los márgenes de variabilidad de los coeficientes técnicos especificados en las ecuaciones de coherencia estructural, configuran la especificación inicial del modelo matemático de ajuste para cada año del período de proyección. Este modelo deberá ser sometido al proceso de *búsqueda de coherencia* a fin de reconciliar todos los márgenes y dotarlos de coherencia. Los resultados de este proceso se reúnen a continuación.

TABLA 1
ESPECIFICACION DE LAS ECUACIONES PIE (1995-1998)

	1995		1996		1997		1998	
	Nº ecs.	(%)	Nº ecs.	(%)	Nº ecs.	(%)	Nº ecs.	(%)
Proyección lineal:								
Con variable(s) ficticia(s)	517	71,51	520	69,89	520	69,89	517	69,40
Con esquema autorregresivo en la perturbación	24	3,32	24	3,23	24	3,23	25	3,36
Con variable(s) ficticia(s) y esquema autorregresivo	6	0,83	7	0,94	4	0,54	4	0,54
Resto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	487	67,36	489	65,73	492	66,13	488	65,50
Proyección parabólica:								
Con variable(s) ficticia(s)	174	24,07	192	25,81	190	25,54	197	26,44
Con esquema autorregresivo en la perturbación	54	7,47	54	7,26	53	7,12	55	7,38
Con variable(s) ficticia(s) y esquema autorregresivo	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Resto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	120	16,60	138	18,55	137	18,41	142	19,06
Proyección autorregresiva:								
Con variable(s) ficticia(s)	32	4,43	32	4,30	34	4,57	31	4,16
Con esquema autorregresivo en la perturbación	23	3,18	22	2,96	24	3,23	22	2,95
Con variable(s) ficticia(s) y esquema autorregresivo	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Resto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	9	1,24	10	1,34	10	1,34	9	1,21
Total Proyecciones:	723	100,00	744	100,00	744	100,00	745	100,00

7.2 Búsqueda de coherencia entre especificaciones del modelo

Esta etapa tiene como objetivo adecuar la especificación inicial del modelo de ajuste mediante un proceso controlado de modificación de los márgenes de variabilidad de los elementos y relaciones entre elementos (incluidos coeficientes técnicos) de la TIO, de manera que se obtenga un modelo de optimización con solución posible que se aproxime en un nivel aceptable a las exigencias del investigador /experto. En el caso concreto del ajuste (1995-1998), dichas exigencias se concretan en la coherencia con los agregados económicos, la estructura de la propia tabla, y la información acerca de las sendas evolutivas de los elementos y relaciones que integran la TIO.

Como ya se comentó en el anterior apartado, el proceso de modificación de márgenes se establece de forma iterativa y controlada. El sistema, en base al análisis de sensibilidad, destaca los márgenes de variabilidad que no encajan en el sistema y establece una propuesta de modificación y la reducción de las incompatibilidades a la que contribuye tal modificación. El investigador selecciona una modificación, usualmente de pequeña magnitud en relación al porcentaje de infactibilidad al que contribuye a reducir, y ejecuta de nuevo la resolución del modelo con las variables de holgura necesarias. El proceso termina cuando las infactibilidades, y por tanto las variables de holgura, desaparecen y el modelo alcanza una solución posible.

En la Tabla 2 se muestra el número de modificaciones de márgenes de variabilidad de los elementos de la TIO realizados en el proceso de búsqueda de coherencia:

TABLA 2

MODIFICACION DE MARGENES DE VARIABILIDAD (1995-1998)

Márgenes sobre valores (*)	1995	1996	1997	1998
X	47	40	6	9
CP	20	22	16	2
KF	21	8	17	16
VE	3	0	0	1
EX	18	6	3	2
VA	0	30	18	12
TR	1	0	0	0
IM	54	23	2	2
IT	4	0	0	1
TX	6	9	4	1
Total	174	138	66	46

(*) La matriz Y viene constituida por los vectores CP (Consumo Privado), KF (Formación Bruta de Capital), VE (Variación de Existencias), EX (Exportaciones), TR (Transferencias entre Ramas de Actividad), IM (Importaciones), IT (Impuestos ligados a la Importación), TX (Impuestos Indirectos). La matriz Z viene constituida por el vector VA (Valor Añadido Bruto).

Tras las modificaciones establecidas, se obtiene una especificación del modelo de ajuste ANAIS, con solución posible. En la siguiente etapa se procede a optimizar la función multicriterio para obtener cada una de las tablas ajustadas.

7.3 Ajuste a agregados económicos

Tras el proceso anterior se consigue la especificación de un modelo de optimización con solución posible. Tras determinar el criterio de optimización, se obtienen las tablas ajustadas para cada año.

Cuando se obtiene una tabla ajustada, la nueva TIO pasa a ser utilizada en el ajuste de la siguiente tabla por las siguientes vías:

- Tomándose como TIO de referencia para el nuevo ajuste y para el cálculo de las nuevas ecuaciones de coherencia estructural.
- Incorporando sus elementos y relaciones al banco de datos que sirve de base estadística para la estimación de los modelos de senda de evolución (ecuaciones PIE). Sobre la base de esta nueva información, las ecuaciones son revisadas y reestimadas, así como los intervalos de variabilidad en torno a las proyecciones PIE para el nuevo año a ajustar.

Tras el ajuste de la tabla de cada uno de los años del período de proyección 1995-1998, se obtiene una serie de tablas que son coherentes desde las siguientes perspectivas: *contable*, pues cumplen con las identidades que definen la tabla input-output; *estructural*, pues sus coeficientes técnicos evolucionan sin salirse de los patrones estructurales básicos de la tabla; y *cross-temporal*, pues los elementos siguen los patrones de evolución histórica definidos por sus tendencias temporales.

7.4 Evaluación de la coherencia de las tablas ajustadas

El objetivo de la aplicación es proyectar las tablas input-output españolas en condiciones de coherencia estructural. Por tanto, las tablas obtenidas 1995-1998 deben mantener los patrones estructurales básicos detectados en la serie de tablas publicadas 1986-1994. Para ello se ha sometido a todas las tablas, publicadas y proyectadas, a la identificación de sus características estructurales básicas mediante la aplicación de ciertas técnicas.

En concreto, se pretende abordar dos cuestiones complementarias:

- Las tablas publicadas 1986-1994 mantienen la hipótesis de evolución estructural estable (mantenimiento de los patrones estructurales básicos).
- Las tablas proyectadas 1995-1998 mantienen, en un alto grado, los patrones estructurales mostrados por las tablas anteriores.

Los estudios de este tipo tienen la dificultad de manejar grandes masas de información, lo que dificulta la posibilidad de mostrar resultados muy detallados en un reducido espacio de texto. Por tanto, se mostrarán aquí los principales resultados de la aplicación, dejando el detalle a la consulta del trabajo original (Tarancón Morán, 2002).

El proceso seguido para evidenciar las cuestiones anteriores ha sido el siguiente:

- Seleccionar un grupo de coeficientes para estudiar su evolución. Para ello, se ha recurrido a identificar los coeficientes más importantes mediante el algoritmo de Schintke y Stäglin (1988), ya que estos coeficientes absorben la mayor parte de las relaciones productivas puestas en juego en la TIO. Además, el hecho de mostrar cómo el número y distribución dentro de la TIO para cada año de análisis permanecen estables es de por sí un indicador de la condición de estabilidad de los patrones estructurales básicos de las tablas.
- Se muestra la evolución de estos coeficientes mediante un análisis de regresión, con lo cual se evidencia que la estructura productiva de la TIO evoluciona siguiendo en la mayoría de los coeficientes una tendencia definida, sin cambios de comportamiento bruscos (frente a la hipótesis extendida de considerar la estructura productiva fija).
- Con estos coeficientes se establece la identificación de las principales rutas productivas de cada TIO del análisis mediante la técnica de Aroche Reyes (1996) basada en el análisis input-output cualitativo de Schnabl (1994). De aquí se deducirá cómo, a pesar de que los coeficientes evolucionan a lo largo del tiempo, las principales conexiones entre ramas productivas permanecen invariables, lo que contribuye a que esta característica estructural básica permanece estable dentro de la evolución trazada por los coeficientes.

Estos tres puntos se desarrollan en los siguientes subapartados:

7.4.1 *Identificación y selección de coeficientes importantes*

El algoritmo de Schintke y Stäglin (1988) es el utilizado para identificar los coeficientes técnicos más importantes de cada tabla de la serie analizada. La evaluación consiste en constatar la estabilidad en el número y distribución de coeficientes identificados como importantes.

Se ha considerado coeficiente importante aquel cuyo margen de variabilidad admisible, r_{ij} , según se calcula en las expresiones (4) y (5) es inferior al 5%. Los resultados, para cada una de las TIO publicadas y proyectadas, se detallan en la Tabla 3.

TABLA 3
NUMERO DE COEFICIENTES IMPORTANTES EN TABLAS PUBLICADAS
Y AJUSTADAS (1990-1998)

	Coeficientes No-Nulos		Coeficientes Importantes		Resto Coeficientes No-Nulos	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
1986	560	100,00	48	8,57	512	91,43
1987	560	100,00	47	8,39	513	91,61
1988	560	100,00	44	7,86	516	92,14
1989	560	100,00	47	8,39	513	91,61
1990	560	100,00	49	8,75	511	91,25
1991	560	100,00	50	8,93	510	91,07
1992	560	100,00	52	9,29	508	90,71
1993	560	100,00	54	9,64	506	90,36
1994	560	100,00	53	9,46	507	90,54
1995	560	100,00	52	9,29	508	90,71
1996	560	100,00	51	9,11	509	90,89
1997	560	100,00	51	9,11	509	90,89
1998	560	100,00	52	9,29	508	90,71

Del análisis de la tabla anterior se deduce cómo, en el período en el que existen tablas publicadas (1986-1994), hay una relativa estabilidad en el número de coeficientes importantes, quizá con una ligera tendencia a aumentar, aunque variando en todo caso en torno al 1% del total de coeficientes no nulos. Esta es una característica estructural de la economía estudiada. Por otro lado, puede comprobarse cómo la serie de tablas proyectadas (1995-1998) mantiene ese patrón, girando en torno a los 51-52 coeficientes importantes, en coherencia con las últimas tablas publicadas.

Este patrón estructural se distingue de una forma más nítida si se observa la distribución de los coeficientes importantes dentro de la matriz *A* de coeficientes técnicos. Esta distribución se muestra en la Tabla 4.

De la tabla anterior se pueden desprender las siguientes conclusiones:

- Siempre que en todas las tablas publicadas ha aparecido un mismo coeficiente identificado como importante (9 veces), éste ha sido también proyectado como importante en las 4 tablas ajustadas (4 veces), con una única excepción: el coeficiente $a_{1,15}$, que sólo apareció identificado en una tabla ajustada.
- Existen ciertos coeficientes que fueron identificados como importantes en algunas tablas publicadas, y que no han sido proyectados como tales en las tablas ajustadas. Estos coeficientes se concentran, por filas (ventas) en las ramas industriales extractivas (2 y 3), pesadas (6) y de alimentación (11). Es conveniente decir que estos coeficientes fueron identificados como importantes en las tablas más antiguas, quedando después descartados, lo que puede entenderse como una consecuencia de la evolución estructural estable hacia el sector servicios en detrimento del sector industrial. Este es un síntoma común en las economías en vías de alcanzar un alto nivel de desarrollo⁵.
- Por el contrario, existen algunos coeficientes identificados como importantes en todas las tablas proyectadas, cuando aparecen identificados como tales en sólo algunas tablas publicadas. Esto puede deberse al motivo señalado en el punto anterior: las tablas publicadas donde se identificaron como importantes fueron las más recientes, y se concentraron en el sector servicios (ramas 17, 21, 23 y 24). Esto contribuye a pensar que las tablas proyectadas reflejan esa tendencia estructural a incrementar el peso de las ramas productivas integradas en el sector terciario.

En definitiva, del estudio de la identificación de coeficientes importantes se evidencia que hay un patrón estructural básico que se mantiene a lo largo de las tablas publicadas (1986-1994), que es el porcentaje de coeficientes importantes en torno al 8%-9%, con una leve tendencia ascendente, y que existe una evolución a concentrar estos coeficientes en el sector servicios. Esta evolución es recogida en las tablas proyectadas (1995-1998). Esta evolución puede observarse sometiendo a los coeficientes técnicos a un análisis de regresión, como se desarrolla a continuación.

7.4.2 Evolución temporal de los coeficientes técnicos

Para evidenciar la evolución temporal de los coeficientes se ha procedido a estimar 39 regresiones lineales de los coeficientes en función de una variable tendencial:

$$a_{ij} = \alpha + \beta \cdot t + u_t \quad (24)$$

con :

t variable tendencial

u_t error de la ecuación

Del resultado de las estimaciones pueden extraerse dos conclusiones:

- Aplicados sobre los parámetros estimados los correspondientes contrastes de significación estadística⁶ (contraste *t-Student*), se establecerá que existe evolución temporal si es significativo el parámetro β , lo que indica que el coeficiente en cuestión no permanece estacionario a lo largo del tiempo.
- Por otro lado, se someten las estimaciones al contraste de estabilidad estructural de G. Chow. Si el resultado de este contraste es que se acepta la hipótesis de estabilidad estructural, podrá inferirse que la evolución (o estacionariedad, en su caso) de los coeficientes no alberga cambios de tendencia bruscos (cambio estructural de tipo discreto)⁷.

Centrando el estudio en los coeficientes identificados como importantes en todas las TIO, publicadas y proyectadas, se observan los siguientes resultados respecto a las regresiones estimadas:

TABLA 5
EVOLUCION DE LOS COEFICIENTES MAS IMPORTANTES

	Parámetro α		Parámetro β	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Significativos	39	100,00	34	87,18
No significativos	0	0,00	5	12,82
Total	39	100,00	39	100,00

Nota: Los contrastes de significación estadística *t* se realizaron a un nivel de confianza del 95%.

En cuanto al contraste de estabilidad estructural, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 6
EVOLUCION DE LOS COEFICIENTES MAS IMPORTANTES

	Coefficientes estacionarios	Coefficientes con tendencia	Total
Estabilidad estructural	3 (7,71%)	24 (61,53%)	27 (69,24%)
Cambio estructural	2 (5,12%)	10 (25,64%)	12 (30,76%)
Total	5 (12,83%)	34 (87,17%)	39 (100,00%)

Nota: El contraste de estabilidad estructural de Chow se realizó a un nivel de confianza del 95%.

De las tablas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- De los 39 coeficientes más importantes seleccionados y analizados mediante la estimación de una regresión lineal, el 87% muestra una pendiente significativa (parámetro β), de donde se deducen que siguen una evolución en su comportamiento. Sólo el 13% puede considerarse que muestra un comportamiento estacionario (hipótesis de coeficientes fijos).
- En cuanto al análisis de estabilidad estructural de las regresiones efectuadas, cerca del 70% superan el test, lo que significa que el comportamiento general puede ser recogido con la correspondiente regresión. Esto a su vez implica, en el caso de los coeficientes no estacionarios (61,5% del total), que la evolución no presenta cambios de comportamiento bruscos, sino que presenta un comportamiento estable recogido por la regresión efectuada.
- En cuanto al 30,7% de regresiones que no superan el test de estabilidad estructural, esto puede ser debido a que existe una forma funcional no lineal en su comportamiento, o bien que efectivamente no existe una evolución estable en el comportamiento del coeficiente. En este sentido, analizando los resultados del *test Ramsey* referente a la forma funcional, efectuado al 95% de confianza, puede concluirse que 9 de los 12 casos de cambio estructural podrían atribuirse a una incorrecta forma funcional de la regresión, y sólo en 3 casos el cambio estructural es atribuible al comportamiento histórico del coeficiente.

Por lo tanto, del estudio de regresión de los coeficientes anteriores puede concluirse que, salvando las limitaciones derivadas de considerar como hipótesis de trabajo la de evolución lineal, el 87% de los coeficientes presenta alguna tendencia en su comportamiento, y al menos el 70% de los coeficientes presenta un comportamiento de estabilidad.

A pesar de que la mayoría de los coeficientes presenta una evolución en su comportamiento, esta evolución encaja dentro de unos patrones básicos que, a su vez, cambian de forma lenta. Uno de estos patrones, como ya se ha visto, es el número y distribución de coeficientes importantes. Otro de los patrones es el número y distribución de rutas productivas establecidas en cada una de las TIO publicadas y proyectadas. Este patrón estructural se expone a continuación.

7.4.3 Identificación de rutas productivas

La identificación de rutas productivas trata de determinar las principales conexiones entre ramas impactantes, por el lado de la demanda, y ramas impactadas en términos de producción. Para ello, se recurre a la metodología recogida por Aroche Reyes (1996), basada en el análisis input-output cualitativo de Schnabl (1994), utilizando un filtro que se basa en la identificación de coeficientes importantes de Schintke y Stäglin (1988). La matriz inversa cualitativa calculada según esta metodología determinará las principales conexiones demanda final-producción, que son una característica básica de un sistema productivo (Antille *et al.*, 2000, pp. 8-11).

Schnabl (1994) propone someter la matriz de transacciones intermedias X a un "filtro", tal que se genera una matriz W cuyos elementos sean 1 ó 0 según se supere o no un filtro preestablecido.

Aroche Reyes (1996) propone la utilización del enfoque de los límites tolerables de Schintke y Stäglin (1988), de manera que, para una variación admisible en la producción sectorial del 1% y un límite tolerable en la variación de los coeficientes del 5%, los elementos de la matriz W asociados a "coeficientes importantes" (es decir, de sensibilidad menor al 5%) toman el valor 1, siendo 0 el resto de elementos. Las ventajas de la utilización de este filtro se centran en que es graduable y en que, de partida, tiene en cuenta el conjunto de relaciones directas e indirectas inherentes a la matriz de coeficientes técnicos A , con lo que se evitan problemas asociados a la transitividad (de Mesnard, 1995).

Los elementos unitarios de la matriz W indican que el coeficiente asociado a ese elemento es importante. Queda por determinar la forma en que la transacción entre las ramas i y j inherente al coeficiente importante a_{ij} transmite su "poder de variación de la producción del sistema" a lo largo del tejido de relaciones intersectoriales. Para ello puede procederse a calcular las transacciones que originan los coeficientes importantes en las sucesivas etapas del proceso productivo.

Con este objetivo se calculan las matrices binarias que muestran las relaciones productivas originadas por los coeficientes que han superado el filtro:

$$W^k = W \times W^{k-1} \quad (25)$$

con $W^1=W$, y de manera que, en cada etapa, si el elemento $(i-j)$ de $W \times W^{k-1}$ es mayor que 0, $w^k_{ij} = 1$.

Así, el total de transacciones originadas por los coeficientes técnicos vendrá recogida por la matriz inversa:

$$(I-W)^{-1} = W^1 + W^2 + \dots + W^k + \dots \quad (26)$$

con la transformación en valor 1 de todo elemento de la matriz inversa distinto de 0.

A nivel práctico, se omiten los inconvenientes derivados del cálculo de la matriz inversa mediante la suma de sólo las k primeras matrices, con k aumentando hasta que el número de relaciones originadas (número de elementos unitarios de W^k) permanece constante.

A partir de la matriz anterior se desarrolla el modelo de demanda cualitativo, instrumento para determinar las principales conexiones de ramas de actividad:

$$w(bin) = (I-W)^{-1} y(bin) \quad (27)$$

donde $y(bin)$ es un vector columna binario que indica la existencia o no de variaciones en la demanda final de las ramas del sistema (ramas impactantes); y $w(bin)$ es un vector columna que muestra las ramas de actividad que varían de forma significativa su producción efectiva, ante las variaciones de demanda anteriores (ramas impactadas).

TABLA 7
IDENTIFICACION DE RUTAS PRODUCTIVAS. (1986-1998)

Impacto	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	1	1	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24
4	2	2	2	2	2	2, 24	2, 17, 24	2, 17, 24	2, 17, 24	2, 17, 24	2, 17, 24	2, 17, 24	2, 17, 24
5	2, 5	2, 5	2, 5	2, 5	2, 5, 24	2, 5, 24	2, 5, 24	2, 5, 24	2, 5, 24	2, 5, 24	2, 24	2, 24	2, 24
6	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24
7	2, 3, 6, 17, 24	2, 3, 6, 17, 24	2, 3, 6, 17, 24	2, 3, 6, 17, 24	2, 3, 6, 17, 24	2, 3, 17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	2, 17, 24
8	2, 3, 8, 9, 17, 24	2, 3, 8, 9, 17, 24	2, 3, 8, 9, 17, 24	2, 3, 8, 9, 17, 24	2, 3, 8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24	8, 9, 17, 24
9	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	2, 3, 17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24	17, 24
10	10	10	10	10	10	10	10, 24	10, 24	10, 24	10, 24	10, 24	10, 24	10, 24
11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11
12	12	12	12	12	12	12	12, 24	12, 17, 24	12, 17, 24	12, 17, 24	12, 17, 24	12, 17, 24	12, 17, 24
13	2, 13, 17	2, 13, 17	13, 17	13, 17	13, 17	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24	13, 17, 24
14	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 23, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 24	2, 5, 17, 23, 24	2, 5, 17, 23, 24	2, 5, 17, 23, 24
15	1, 11, 15, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	1, 11, 15, 17, 24	15, 17, 24	15, 17, 24	15, 17, 24
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11
19	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17	2, 17
20	1, 2, 10, 11, 18, 24	1, 2, 10, 11, 18, 24	1, 2, 10, 11, 18, 24	1, 2, 10, 11, 18, 24	1, 2, 10, 11, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 11, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24	2, 10, 16, 17, 18, 21, 24
21	2, 16, 17, 24	2, 16, 17, 24	16, 17, 24	2, 16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24	16, 17, 24
22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de rutas	56	58	57	58	60	59	57	59	58	58	56	56	57

Para detectar las rutas productivas importantes originadas por cada rama de actividad se activa el elemento correspondiente de $y(bin)$ mediante el valor 1. El modelo responderá activando con valor 1 los elementos principalmente afectados del vector $w(bin)$.

En la Tabla 7 se muestra el resultado de la aplicación de este método de identificación de rutas para las TIO publicadas y ajustadas, tomando como coeficientes importantes los identificados en el apartado 7.4.1. Por filas se muestran las ramas de actividad impactantes ($y(bin)$ en (27)), y en cada celda se identifican las principales ramas de actividad impactadas ($w(bin)$ en (27)).

De la tabla mencionada se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El número de rutas productivas identificadas, entendidas como conexiones entre ramas impactantes por el lado de la demanda y ramas impactadas por el lado de la producción efectiva, oscila entre las 56 y 60 rutas, tanto en las tablas publicadas como en las proyectadas.
- Se muestra una tendencia a sustituir las conexiones con las ramas impactadas pertenecientes a sectores primarios e industriales básicos (concretamente las ramas 1, 2 y 3) por ramas impactadas pertenecientes al sector servicios, especialmente la rama 24.

De la observación de las principales rutas productivas se concluye, en definitiva, como se dijo en el subapartado (7.4.1), que se mantienen las relaciones productivas básicas, con esa evolución propia de la terciarización económica.

VIII. Conclusiones

Como conclusiones finales, pueden enumerarse las siguientes:

- La metodología de Ajuste y Coherencia propuesta es un método de proyección de tablas input-output apropiado en el caso de aplicaciones en el que existe una gran masa de información que incide sobre la tabla tomada como referencia.
- La metodología se articula en torno a un modelo de programación matemática que integra en forma de restricciones y márgenes de variabilidad la información que incide en la TIO.
- Esta metodología supone una evolución estructural estable, entendida como el hecho de que la estructura productiva de la TIO cambia a lo largo del tiempo de forma estable, es decir, sin cambios bruscos. Esta hipótesis se plasma en coeficientes estructurales de variabilidad controlada.
- Los márgenes de variabilidad sobre los coeficientes técnicos de la TIO se establecen mediante algoritmos estructurales. En concreto, en este trabajo se han construido a partir del algoritmo de Schintke y Stäglin (1988), basado en el análisis de sensibilidad.
- La metodología proporciona, además, un mecanismo de coherencia y compatibilización de la información que incide sobre la tabla input-output. Esta bús-

queda de coherencia se desarrolla de forma iterativa y controlada, modificando los márgenes de variabilidad que contribuyen a una mayor reducción de las incompatibilidades.

- Como principales inconvenientes de la metodología destacan, por un lado, el elevado número de cálculos derivados del proceso de ajuste, y por otro la necesidad de información cualificada a lo largo del proceso interactivo de márgenes, frente a los procesos de ajuste automáticos no interactivos.
- En el ejemplo de aplicación se obtiene una serie de tablas 1995-1998 coherentes con su propia estructura interna, como se deriva de los algoritmos de identificación de características estructurales aplicados. Mediante un análisis de regresión se comprueba cómo los coeficientes técnicos más importantes de la TIO tienen, casi en su totalidad, una evolución que se plasma en la significación estadística del parámetro de la pendiente de la recta de regresión. Pero, tanto la distribución de estos coeficientes en la tabla como las rutas productivas que originan para cada TIO, demuestran que esta evolución respeta los patrones estructurales básicos, con una lenta tendencia al aumento de importancia del sector terciario. Esta evolución se mantiene tanto en las tablas publicadas del período 1986-1994, como en las tablas proyectadas con la metodología propuesta del período 1995-1998.

Notas

- ¹ Como señala Cañada Martínez (1995), las unidades de análisis funcional que utilizan las tablas input-output se denominan Unidades de Producción Homogénea (UPH), que por agregación originan las *ramas de actividad*. Una UPH queda definida por unos inputs, un proceso de producción determinado y unos outputs, si bien, dada la dificultad para encontrar UPH “puras”, se recurre a diversos convenios y artificios contables para constituir las ramas de actividad, tales como las transferencias entre ramas de las producciones secundarias.
- ² Método de Análisis Recursivo e Iterativo de Balances Económicos Lineales. Véase Martínez Aguado y Vázquez Muñiz (1983).
- ³ Un porcentaje comúnmente aceptado en la literatura es el del 1% de la variación de la producción.
- ⁴ Se incluye el artificio contable *Transferencias entre Ramas de Actividad*. Se trata de un agregado que recoge las producciones secundarias de las distintas ramas de actividad y se reasignan a las ramas correspondientes. Por definición, la suma de los elementos de este vector de la TIO es 0.
- ⁵ El tema de la “terciarización” de la economía es un hecho interesante consecuencia de la evolución de un sistema económico en desarrollo. Un estudio empírico aplicado al caso español, basado en el análisis input-output, puede consultarse en Cañada Martínez (1994). Más recientemente, Rodríguez-González y Cañada-Viciny (2000) han establecido un estudio sobre el cambio estructural en la economía española en el período 1980-1994, llegando a similares conclusiones a las presentadas en este artículo: incremento del sector terciario en detrimento de la industria básica.
- ⁶ El desarrollo formal y pormenorizado de estos contrastes estadísticos puede consultarse en Green (1999).
- ⁷ En el caso de que el resultado de contraste no ratifique la estabilidad estructural, no quiere decir necesariamente que exista un comportamiento del coeficiente técnico analizado que no siga una tendencia clara. Puede deberse a un error de especificación, ya que se ha supuesto en el análisis de regresión que los coeficientes, de evolucionar, lo hacen siguiendo una trayectoria lineal, aspecto que puede suponer una simplificación excesiva del análisis. De hecho, es común encontrar otro tipo de tendencias como las de corte parabólico o en forma de curva logística, que es la propuesta de Fontela y Pulido (1991).

Referencias

- ANTILLE, G.; E. FONTELA y S. GUILLET, S. (2000). "Changes in Technical Coefficients: The Experience With Swiss I/O Tables", *XIII International Conference on Input-Output Techniques*. Maccerrata.
- ANTONELLI, C. (1999): *The Economics of Localised Technological Change and Industrial Dynamics*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- AROCHE REYES, F. (1996). "Important Coefficients and Structural Change: A Multi-layer Approach", *Economic Systems Research*, 8 (3), pp. 235-246.
- AZID, T. (2002). "Layers of Techniques, Marginal Input-Output Coefficients and Phillips Curve: A Case of US Chemical Industry", *XIV International Conference on Input-Output Techniques*. Montreal.
- CAÑADA MARTINEZ, A. (1994). "Las Tablas Input-Output Como Sistema de Información de la Actividad Industrial: Una Caracterización General", *Economía Industrial* 299, septiembre-octubre, pp. 15-33.
- CAÑADA MARTINEZ, A. (1995). "Las Tablas Input-Output del INE: Aspectos Metodológicos y Repercusiones en el Análisis Económico", *ICE*, Nº 737, enero.
- DE MESNARD, L. (1995). "A Note on Qualitative Input-Output Analysis", *Economic Systems Research*, 7 (4), pp. 439-445.
- DOSI, G. (2000). *Innovation, Organization and Economic Dynamics: Selected Essays*, Elgar. Edward, Cheltenham. Londres.
- FONTELA, E; A. PULIDO (1991). "Input-Output, Technical Change, and Long Waves". En: W. Peterson (Ed.). *Advances in Input-Output Analysis*. Oxford University Press, pp. 137-148.
- GREEN, W. H. (1999). *Análisis Econométrico*, 3ª edición. Prentice Hall, Madrid.
- HARRIGAN, F. J. (1983). "A Quadratic Programming Approach to Data Reconciliation: Contrast with RAS". En: A. Grassini y M. Smyshlyayev (eds.). *Input-Output Modeling. Proceedings of the 3th IIASA Task Force Meeting*, IIASA, Luxemburgo, pp. 547-554.
- MAAS, C. (1994). "Bounds for Unknown Elements of Input-Output Matrices", *Economic Systems Research*, 6 (1), pp. 69-76.
- MARTINEZ AGUADO, T.; A.M. VAZQUEZ MUÑIZ, M.A. TARANCON MORAN, M.J. CALDERON MILAN y J. VERA GRIJALBA (1998). "D9: Evaluación de los Impactos de la Actividad del Transporte Sobre las Economías: Fundamentación Científica", *Proyecto ECONOMETRIST*, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.
- MATUSZEWSKI, T.I.; P.R. PITTS y J.A. SAWYER (1964). "Linear Programming Estimates of Changes in Input Coefficients", *Canadian Journal of Economics and Political Science*, 30 (2), pp. 203-210.
- OKUYAMA, Y.; G. HEWINGS, M. SONIS y P. ISRAILEVICH (2000). "An Econometric Analysis of Biproportional Properties in an Econometric Input-Output Modeling System", *R.E.A.L. Project. Workpaper* 98-T-12. Universidad de Illinois y Banco de la Reserva Federal de Chicago, pp. 13-15.
- PULIDO, A. (1986). "Crecimiento Económico y Esfuerzo Tecnológico. Un Enfoque Integrado, Modelo Econométrico-Modelo Input-Output con Coeficientes Variables", *Instituto L. R. Klein*. Documento 86/1. Universidad Autónoma de Madrid.
- PULIDO, A. y E. FONTELA (1993). *Análisis Input-Output: Modelos, Datos y Aplicaciones*. Pirámide. Madrid.
- RODRIGUEZ-GONZALEZ, A. y J. CAÑADA-VICINAY (2000). "Structural Change in Spain 1980-1994. An Approach to the Effect of Spain's Adhesion to the EU in 1986", *XIII International Conference on Input-Output Techniques*. Maccerrata.
- RODRIGUEZ ALCAIDE, J.; M. LOPEZ CEREZUELA, T. MARTINEZ AGUADO y A. VAZQUEZ MUÑIZ (1988). "Evaluación del Impacto de las Obras Cíviles de Carácter Público a Realizar con Motivo de la Exposición Universal Sevilla-92", *XIV Reunión de Estudios Regionales de la AECR*, Torremolinos.
- SCHINTKE, J. y R. STÄGLIN (1988). "Important Input Coefficients in Market Transactions Tables and Production Flow Tables". En: M. Ciaschini (ed.). *Input-Output Analysis. Current Developments*, Chapman and Hall. Londres, Nueva York, pp. 45-60.
- SCHERER, F. M. (1982) "Interindustry Technology Flows and Productivity Growth", *The Review of Economics and Statistics* 64, septiembre, pp. 627-634.

- SCHNABL, H. (1994). "The Evolution of the Production Structures, Analysed by a Multi-layer Procedure", *Economic Systems Research*, 6 (1), pp. 51-68.
- SZYRMER, J.M. (1985). "Measuring Connectedness of Input-Output Models: 1. Survey of the Measures", *Environment and Planning A*, 17, pp. 1591-1612.
- TARANCON MORAN, M. A. (2002). "Metodología de Ajuste y Coherencia de Tablas Input-Output. Aplicación a la Evaluación del Impacto Económico de la Inversión en Infraestructuras del Transporte". *Tesis Doctoral*. Universidad de Castilla-La Mancha publicada en *Pro-Quest Information and Learning*, Ann Arbor, Michigan.
- VACCARA, B. (1970). "Changes Over Time in Input-Output Coefficients for the United States". En: A.P. Carter y A. Brody (eds.). *Applications of Input-Output Analysis. Proceedings of Fourth International Conference on Input-Output Techniques*, North Holland, pp. 238-260.
- VAZQUEZ MUÑIZ, A. y M.A. TARANCON MORAN (1999). "ANAIS: Una Metodología para la Estimación y Ajuste de Tablas Input-Output". *Documento de Trabajo*. Marzo-99. Seminario de Economía Cuantitativa. Universidad de Castilla-La Mancha.

ANEXO

DESAGREGACION R-25 EUROSTAT

Prod. Agricultura, Silvicultura y Pesca	01
Fuel y Productos energéticos	02
Metales y minerales férricos y no-férricos	03
Prod. Minerales no-metálicos	04
Prod. Químicos	05
Prod. Metálicos	06
Máquinas agrícolas e Industriales	07
Máquinas de oficina, etc.	08
Material eléctrico	09
Material de transporte	10
Alimentación, bebidas y tabaco	11
Textiles y prendas de vestir, cuero, calzado	12
Papel y artículos de impresión	13
Productos de caucho y plástico	14
Otros prods. manufacturados	15
Edificios y obras de ingeniería	16
Serv. de recup. y rep.; comercio al por menor	17
Alojamiento y restauración	18
Servicios de transporte terrestre	19
Servicios de transporte marítimo y por avión	20
Servicios de transporte auxiliares	21
Comunicaciones	22
Créditos y seguros	23
Otros servicios de mercado	24
Otros servicios no de mercado	25