

Documento de trabajo
E2003/15

La Teoría de Grafos aplicada al estudio del consumo sectorial de agua en Andalucía

Esther Velázquez Alonso

La Teoría de Grafos aplicada al estudio del consumo sectorial de agua en Andalucía

Esther Velázquez Alonso(*)

Universidad Pablo de Olavide

Resumen

Nos planteamos como objetivo poner de manifiesto las relaciones que se establecen entre los sectores productivos y el consumo de agua que éstos realizan para generar su producción. Aplicamos el estudio a Andalucía, Comunidad Autónoma del sur de España caracterizada por su escasez de agua, y nos preguntamos si la dependencia excesiva de los recursos hídricos que algunos sectores productivos de dicha Comunidad pueden llegar a tener, podría afectar de forma negativa, no sólo a la conservación y a la calidad del recurso, sino también a la sostenibilidad de la propia economía. Utilizamos una metodología mixta en la que combinamos el análisis Input-Output, con el que definimos un modelo de consumo de agua y a partir de él elaboramos una Matriz de Intercambios de Agua, con la Teoría de Grafos, mediante la cual analizamos las relaciones contenidas en dicha matriz. Concluimos que la especialización económica de Andalucía no sólo no contribuye a la conservación del recurso sino que además podría llegar a poner en peligro la propia sostenibilidad de la economía regional si los dirigentes políticos no asumen estas limitaciones hídricas en la definición de su política económica.

Palabras clave: Consumo sectorial de agua, Input-Output, Teoría de Grafos

Clasificación JEL: Q25, R15

Abstract

The aim of this work is to demonstrate the relationships established between an economy's productive sectors and the water consumption generated during their productive processes. We study de Andalusian reality, region of the South Spain characterized by its scarcity, and we will examine if the excessive dependence on water resources which may occur in some productive sectors might affect not only the conservation and quality of this resource, but also have negative effects upon the stability of the economy itself. A mixed methodology has been used, combining Input-Output analysis with Graphs Theory. We obtain a water Input-Output model and an interrelationship matrix which is analysed by Graphs Theory. The main conclusion is that Andalusian's economic specialisation does not make a positive contribution to water conservation and, moreover, that the regional economy's sustainability might be seriously endangered if the authorities do not take into account water limitations in their economic policy.

Key Words: Water consumption, Input-Output, Graphs Theory

JEL Classification: Q25, R15

(*) La autora agradece los comentarios realizados por un evaluador anónimo que han contribuido a mejorar y a completar el trabajo presentado. No obstante, la autora es la única responsable de las afirmaciones contenidas en este estudio y del desarrollo completo del mismo.

1. Introducción

Este trabajo tiene como objetivo poner de manifiesto las relaciones que se establecen entre los sectores productivos de una economía y el consumo de agua que éstos realizan para generar su producción. La idea que subyace tras este objetivo es la necesidad de aportar los argumentos necesarios para definir una política económica más rigurosa y realista que contemple, no únicamente los aspectos económicos convencionalmente tratados, sino también parte de las relaciones que se establecen con el medio ambiente.

Aplicamos el estudio a Andalucía, Comunidad Autónoma del sur de España caracterizada por su escasez de agua, y nos preguntamos si la dependencia excesiva de los recursos hídricos que algunos sectores productivos de dicha Comunidad pueden llegar a tener, podría afectar de forma negativa, no sólo a la conservación y a la calidad del propio recurso, sino a la solidez de la propia economía. Planteada esta pregunta, intentamos darle respuesta determinando cuáles son los sectores de la economía andaluza que más cantidad de agua consumen, y por lo tanto los que presentan una mayor dependencia de este recurso, y en qué medida este hecho podría limitar el progreso económico regional¹.

En este trabajo utilizamos una metodología mixta, en la que combinamos el análisis Input-Output con la Teoría de Grafos. Partimos de una matriz que denominamos Matriz de Intercambios de Agua, derivada de un modelo input-output de agua (Velázquez Alonso E., 2003), y sobre ella aplicamos los instrumentos derivados de la Teoría de Grafos. Entendemos que esta combinación metodológica de los dos instrumentos de análisis utilizados ayuda a comprender la realidad con mayor facilidad. Por un lado, el modelo Input-Output le otorga precisión y robustez a los resultados cuantitativos obtenidos y, por otro, el análisis mediante grafos, si bien es cierto que no llega a la precisión cuantitativa alcanzada por el modelo, nos permite visualizar los resultados facilitando la interpretación de los mismos.

Esta metodología combinada ha sido poco utilizada para analizar las relaciones existentes entre la Economía y los recursos naturales. No obstante, los dos métodos aquí recogidos sí han sido empleados de forma independiente para estudiar dichas relaciones. Así, el modelo Input-Output, definido por Leontief en 1936, no sería ampliado hasta finales de la década de los sesenta (Isard, 1968) con el objetivo de analizar las relaciones existentes entre la estructura

¹ Utilizamos la Tabla Input-Output de Andalucía de 1990 (TIOA-90), elaborada por el Instituto de Estadística de Andalucía, y la Tabla Medioambiental de Andalucía para este mismo año (TIOMA-90), realizada por la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, actualmente Consejería de Medio Ambiente.

sectorial de una economía y los efectos ambientales de la misma. La mayoría de los trabajos que relacionan las variables medioambientales y las económicas utilizando el análisis Input-Output se hacen ampliando el modelo de Leontief con nuevas filas y/o columnas para dar cabida a nuevos inputs y/o outputs derivados de la producción. En 1972, Leontief junto a Ford analizan la contaminación directa e indirecta derivada de la actividad económica por medio de los coeficientes de arrastre del modelo convencional. En este mismo año, Stone (1972), basándose en el ejemplo numérico propuesto por Leontief, discute las consecuencias de diferentes métodos de eliminar la contaminación. Hudson y Jorgeson (1974) proponen una nueva metodología basada en la integración de un modelo econométrico y el análisis Input-Output para evaluar el impacto de la política económica sobre la demanda y la oferta de energía. Ya en la década de los ochenta, Forsund (1985) realiza un análisis centrado en el estudio de la contaminación atmosférica mediante un modelo Input-Output ampliado. Proops en 1988 elabora a partir del modelo Input-Output ampliado una serie de indicadores sobre consumo directo e indirecto de energía. Años más tarde, en 1993, Proops junto a Faber y Wagenhals realizan un estudio comparado entre Alemania y el Reino Unido en el que analizan estos indicadores aplicados a la contaminación atmosférica. En 1995, Hawdon y Pearson muestran cómo un número complejo de interrelaciones entre energía, medioambiente y economía se pueden analizar mediante un modelo Input-Output.

En España, es Pajuelo el que por primera vez en 1980 utiliza un modelo Input-Output ampliado para estudiar la contaminación atmosférica. Otro estudio interesante es el de Alcántara (1995) en el que analiza también, mediante un modelo Input-Output ampliado, la contaminación atmosférica. Una aportación importante es el trabajo realizado por Alcántara y Roca (1995) en el que estudian las elasticidades de demanda y de valor añadido en relación al CO₂. Con relación a la contaminación atmosférica, hay que destacar también los trabajos realizados por Morillas, Melchor y Castro (1996) en el que llevan a cabo un estudio dinámico sobre la influencia de la estructura de la demanda en el crecimiento y el medio ambiente de Andalucía.

La elaboración de las tablas Input-Output medioambientales llevadas a cabo por la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para 1990 fueron las primeras que se realizaron en España. En éstas se recogían datos, expresados en unidades físicas, tanto de los inputs ambientales utilizados por los sectores productivos como de los contaminantes generados por

los mismos. Unas tablas similares se realizaron en Valencia por Almenar, Bono y García en 1998.

Centrándonos ya en el estudio del agua utilizando el modelo Input-Output, lo primero que hay que señalar es que este recurso ha sido poco estudiado desde el punto de vista económico y, menos aún con el instrumental proporcionado por dicho modelo, aunque los primeros estudios en los que se integran las necesidades de agua con variables económicas son de los años cincuenta. Sin embargo, estos modelos se abandonaron debido a la dificultad para operar con ellos y las dificultades metodológicas para introducir estas variables en un modelo Input-Output. El primer trabajo que consigue vencer estas dificultades fue el Lofting y McGauhey (1968) en el que introducen las necesidades de agua como input en un modelo Input-Output tradicional, actualizan los datos del modelo para California y aplican un programa de optimización lineal para identificar la senda temporal de los precios sombra del agua de 24 sectores productivos. En España, el primer estudio realizado aplicando la metodología Input-Output al agua es el realizado por Sánchez-Chóliz, Bielsa y Arrojo en 1992 en el que calculan los denominados valores agua para Aragón.

Otros trabajos de interés son el realizado por Sáenz de Miera (1998) en el que se plantea el modelo de precios y cantidades del modelo Input-Output convencional para estudiar el consumo de agua en Andalucía. También Bielsa (1998) estudia el consumo de agua mediante el modelo Input-Output y, en la aproximación que hace a la participación del agua en el entramado productivo por medio de las TIO, plantea los valores-agua y los valores-contaminación como una extensión del valor trabajo, o más genéricamente, lo que Manresa, Sancho y Vegara (1998) denominan los *K-valores*. El trabajo de Duarte (1999) analiza la relación entre la contaminación hídrica y la estructura productiva en el Valle del Ebro mediante este modelo.

Por lo que respecta a la Teoría de Grafos, pocos han sido los trabajos aplicados a los temas ambientales. Se conocen estudios en los que se emplea esta Teoría pero aplicada a la estructura productiva sin entrar en el análisis de los recursos naturales. Uno de los estudios pioneros en Andalucía fue el de Morillas (1983 b) en el que se analiza la estructura productiva de la región en base a las tablas Input-Output de 1980. Más tarde y comparando las tablas de 1980 con las de 1990, el mismo Morillas (1995) realiza otro estudio para analizar los cambios producidos en las relaciones intersectoriales en Andalucía. El único estudio que conocemos aplicado a los

recursos naturales es el del propio Morillas en el que en 1996 aplica la Teoría de Grafos al modelo Input-Output para estudiar la sensibilidad del sector productivo del agua ante variaciones en la demanda de otros bienes y determinar el circuito del agua. El trabajo que aquí presentamos intenta dar un paso más allá en el estudio de las relaciones de la Economía y la gestión de recursos hídricos. Por un lado, Morillas analiza el agua como “sector productivo” y nosotros estudiamos el agua como “factor productivo”; un factor que es a su vez un recurso natural escaso y que es utilizado por todos los sectores en sus respectivos procesos de producción sin apenas tener en consideración esta limitación. Intentamos, por otro lado, determinar las repercusiones que el consumo del “factor” agua puede tener sobre la conservación del recurso y las consecuencias que se podrían derivar para la propia economía.

Una vez ubicado el tema que nos concierne en el contexto de la literatura que existe al respecto, pasamos a exponer algunos otros aspectos relevantes. Como es bien sabido, el agua no es un recurso homogéneo, pudiéndose distinguir entre el agua destinada al consumo humano y al agua no potable. Es obligatorio resaltar esta diferencia ya que nos enfrenta, entre otros problemas, con la necesidad de diferenciar la calidad del agua utilizada según los usos a los cuales se destine. La contaminación generada sobre los recursos hídricos hace más acuciante si cabe la escasez del recurso, planteándose la necesidad de asignar el agua diferenciando según destinos. Desafortunadamente, las estadísticas al uso no nos permiten incorporar esta distinción en el presente trabajo y nos obligan a utilizar los únicos datos disponibles, generados por la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, siendo imposible determinar si se realiza actualmente algún tipo de discriminación entre los usos y calidades del recurso en la región andaluza.

En este trabajo se pueden diferenciar cuatro partes. Tras esta primera introducción, en la segunda obtenemos la Matriz de Intercambios de Agua, definimos la metodología utilizada para su obtención y explicamos la interpretación que se puede hacer de sus elementos. En la tercera parte, analizamos las relaciones intersectoriales de agua aplicando a dicha matriz los instrumentos derivados de la Teoría de Grafos. Finalizamos el estudio mostrando las conclusiones que extraemos del mismo y las observaciones que se pueden realizar de cara a definir una política económica más ajustada a la realidad que considere en sus planteamientos el consumo de agua en una región donde el recurso es tan escaso como en Andalucía.

2. Matriz de Intercambios de Agua

El primer paso que debemos dar para conseguir el objetivo propuesto es definir y obtener una matriz que presente todas las transacciones que se realizan en la economía entre los diferentes sectores productivos, exigiéndole a esta matriz que sus elementos estén expresados en términos de agua. A esta matriz, de orden n (siendo n el número de sectores productivos considerados), la denominamos Matriz de Intercambios de Agua. Para llegar a la expresión que la define, partimos del modelo Input-Output de consumo de agua, cuyas variables identificamos a continuación:

W : Matriz de Intercambios de Agua, de orden n .

w_t : vector de consumo total de agua, de orden $(n \times 1)$.

w_d : vector de consumo directo de agua, de orden $(n \times 1)$.

w_d^y : vector de consumo directo para satisfacer a la propia demanda, de orden $(n \times 1)$.

w_d^* : Indicador de consumo directo de agua por unidad producida, de orden $(n \times 1)$.

Q : matriz de coeficientes técnicos de agua, de orden n .

q_{ij} : coeficiente técnico de agua, elemento de Q , definido como la cantidad de agua consumida de forma directa por un sector j para generar inputs o productos acabados para otro sector i , con relación al consumo directo total de agua de j .

$(I - Q)^{-1}$: matriz inversa de Leontief, en términos de agua, de orden n .

L : matriz de coeficientes de distribución de agua, de orden n .

l_{ij} : coeficiente de distribución de agua, elemento de L , definido como la cantidad de agua consumida de forma directa de un sector j para generar inputs o productos acabados para otro sector i , en relación al consumo directo total de agua de i .

y : vector de demanda final de orden $(n \times 1)$

La ecuación que define el modelo Input-Output de consumo de agua viene dada por la expresión (1) (donde u es un vector unitario de orden $n \times 1$, (\cdot) significa trasposición y (\cdot) indica la diagonalización del vector) y muestra la cantidad "total" de agua que consume el sistema

productivo para satisfacer su propia demanda. Es decir, esta expresión indica qué cantidad total de agua necesita el sistema económico para satisfacer la demanda de todos y cada uno de los sectores productivos.

$$(1) \quad w'_i = u'(I - Q)^{-1} \hat{w}_d^y$$

Entendemos que es necesario aclarar en este punto, aunque pueda ser ya conocido, la diferencia entre el consumo directo de agua, el consumo indirecto y el consumo total. El primero de ellos es al que normalmente se hace referencia como la cantidad de agua que consume un sector para generar su producción. Por el contrario, el consumo indirecto de agua del sector i es la cantidad de agua que consume de forma directa otro sector j para generar los productos demandados por i . Con otras palabras, el consumo indirecto de i es la cantidad de agua que lleva incorporada los productos que ha comprado el sector i a otro sector j .

Anteriormente, definimos w_d^y como el consumo directo de agua realizado para abastecer a la propia demanda. Por ello, por propia definición, podemos obtener analíticamente este vector de la siguiente manera²:

$$(2) \quad w_d^y = \hat{w}_d^* y$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (1) y diagonalizando el vector (y) tendríamos la matriz de agua que vamos buscando:

$$(3) \quad W = (I - Q)^{-1} \hat{w}_d^* \hat{y}$$

La Matriz de Intercambios de Agua queda recogida en la tabla 1 (ver Anexo); es cuadrada, de orden n , siendo n los 25 sectores productivos que hemos considerado. Es importante resaltar que estamos ante una matriz de intercambios verticalmente integrados de tal manera que cada elemento (ij) muestra el consumo *total* de agua (expresado en unidades físicas) que necesita realizar el sector i para abastecer la demanda del sector j . De esta manera, la suma de todos los elementos de la columna j nos daría el efecto, verticalmente integrado, de las necesidades totales de agua de la economía en su conjunto para cubrir la demanda de productos realizados por cada sector j .

² Proops (1988) realiza este análisis para el caso del consumo de energía.

Una vez obtenida la Matriz de Intercambios de Agua, se pueden obtener dos matrices más, la matriz de coeficientes técnicos de agua (Q) (ver Anexo, tabla 2) y la matriz de coeficientes de distribución de agua (L) (ver Anexo, tabla 3)³. Los coeficientes de la matriz de coeficientes técnicos, (q_{ij}), expresan la cantidad de agua consumida de forma directa por un sector j para generar inputs o productos acabados para otro sector i, con relación al consumo directo total de agua de j. La ecuación que los define sería:

$$(4) \quad q_{ij} = \frac{w_{ij}}{w_{dj}}$$

Estos elementos pueden expresarse en función del indicador de consumo directo y del correspondiente coeficiente técnico de la siguiente manera:

$$(5) \quad q_{ij} = \frac{w_{di}^*}{w_{dj}^*} a_{ij}$$

siendo w_{di}^* el indicador de consumo directo del sector i, w_{dj}^* el consumo directo del sector j, y siendo a_{ij} el coeficiente técnico de los sectores i,j. En efecto, el indicador de consumo directo de un sector i se ha definido como el consumo de agua realizado por el sector i de forma directa por unidad producida que, analíticamente, sería:

$$(6) \quad w_{di}^* = \frac{w_{di}}{x_i}$$

siendo w_{di} el consumo directo del sector i y la variable x_i la producción de dicho sector. Sabemos, según el modelo de Leontief, que el coeficiente técnico a_{ij} se define como la cantidad que el sector j compra al sector i con relación a la producción total de j, siendo su expresión analítica la siguiente:

$$(7) \quad a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$$

³ Hay que aclarar que estos coeficientes no se derivan directamente de la matriz de agua pues ésta está definida para los consumo “totales” de agua (según se ha definido en la expresión (3)) y como se acaba de decir, los coeficientes hacen referencia a los consumos “directos”.

donde χ_{ij} es el intercambio producido entre los dos sectores y x_j es la producción del sector j. Definidas estas variables, podemos sustituir las expresiones (6) y (7) en la ecuación (5).

$$(8) \quad q_{ij} = \frac{w_{di}/x_i}{w_{dj}/x_j} \chi_{ij}$$

Operando y según las definiciones de w_{ij} y de w_{dj} expresadas al definir el coeficiente técnico, nos queda:

$$(9) \quad q_{ij} = \frac{w_{di} \chi_{ij}}{w_{dj} x_i} = \frac{w_{ij}}{w_{dj}}$$

Por otro lado, los elementos de la matriz de distribución, (l_{ij}) , muestran el consumo directo de agua de un sector j para generar inputs o productos acabados para otro sector i, con relación al consumo directo total de agua de i. De una forma análoga a la desarrollada para los coeficientes de distribución y siendo d_{ij} el coeficiente de distribución de los sectores ij, el elemento ij de la matriz se definiría analíticamente de la siguiente manera:

$$(10) \quad l_{ij} = \frac{w_{di}^*}{w_{dj}^*} d_{ij}$$

Definida la Matriz de Intercambios de Agua, las matrices asociadas a ésta y sus elementos correspondientes, pasamos a analizar las transacciones de agua.

3. Análisis de las transacciones de agua

A partir de cualquiera de estas dos matrices podemos analizar el consumo de agua que realizan los diferentes sectores productivos de Andalucía utilizando la Teoría de Grafos. En nuestro estudio hemos elegido la matriz de distribución como base del análisis, y no la de coeficientes técnicos, porque entendemos que una posible forma de estudiar la dependencia sectorial es utilizando el *grafo de influencia relativa*⁴, basado en la matriz de distribución, y no el grafo de influencia absoluta, basado en la matriz de coeficientes técnicos. Entendemos que esta decisión no excluye la consideración de un estudio basado en esta última matriz; es más, creemos que

⁴ Entendiendo por influencia relativa entre dos sectores la relación que existe entre las variaciones relativas en la producción de un sector y la variación relativa en la demanda del otro sector.

podría ser de interés una futura investigación que utilizara la matriz de coeficientes técnicos y analizar así las posibles similitudes y/o diferencias que pudieran resultar. A continuación tratamos de justificar, en primer lugar, la elección del grafo de influencia relativa; y, posteriormente, explicamos por qué el grafo de influencia relativa está basado en la matriz de coeficientes de distribución.

Entendemos que entre los diversos argumentos que se podrían dar para justificar la elección del grafo de influencia relativa, un razonamiento que lo avalara es el que se expone a continuación. Siguiendo a Morillas (1983, 160 y siguientes), el grafo de influencia relativa pondera la intensidad de la relación entre dos sectores por la relación que existe entre sus producciones, mientras que el grafo de influencia absoluta únicamente tiene en cuenta la relación entre dos sectores sin ningún tipo de ponderación. El hecho de ponderar permite analizar la influencia de un sector sobre otro ante intensidades iguales en el grafo de influencia absoluta. Es decir, en el caso que tengamos que un sector i influye sobre otro j con la misma intensidad que lo hace este sector j sobre aquel i , podremos profundizar en el análisis considerando las relaciones entre las producciones de ambos sectores de tal manera que un sector i influirá directamente sobre otro sector j más que éste j sobre el sector i siempre que la producción de i tenga un mayor peso específico en la economía estudiada que la producción del sector j .

Tras este razonamiento, planteamos el argumento que nos lleva a afirmar que el grafo de influencia relativa está basado en la matriz de coeficientes de distribución. La idea que nos lleva a realizar esta elección se basa en que podríamos considerar que un sector i influye tanto más sobre otro sector j cuanto mayores son las compras que el sector i realiza al sector j en relación a la producción total de este sector j (coeficientes de distribución) y no en función de la producción del propio sector i (coeficiente técnico)⁵.

⁵ También podemos justificar esta elección analíticamente. Según el modelo de cantidades de Leontief, las relaciones intersectoriales pueden definirse, en términos matriciales, según la expresión siguiente:

(a) $x = Ax + y$, donde x es el vector de producción de orden n , A es la matriz de coeficientes técnicos, cuadrada y de orden n ; e y es el vector de demanda final, también de orden n . Una variación de la demanda final implica una variación del mismo signo y de la misma cantidad en la producción. Si queremos conocer las variaciones relativas, podemos hacerlo mediante la expresión:

(b) $\Delta x = A\Delta x + \Delta y$. Premultiplicando ambos términos de la ecuación por \hat{x}^{-1} quedaría:

Tras realizar la necesaria justificación en la que se razona el motivo por el que elegimos el grafo de influencia relativa y cómo éste está basado en la matriz de coeficientes de distribución, a continuación estudiamos las transacciones de agua, que es el punto que nos ocupa, desde tres perspectivas diferentes. Para ello, determinamos en primer lugar las relaciones directas que existen mediante el análisis de causalidad directa. En segundo lugar, profundizamos en el análisis con el estudio de causalidad indirecta que pondrá de manifiesto las relaciones indirectas en términos de agua. Por último, en tercer lugar, procedemos a definir una jerarquía sectorial para definir la dependencia del recurso que se establece entre los diferentes sectores.

La enorme multitud de relaciones que existen entre sectores hace prácticamente inviable un análisis operativo de todos ellos. Por esta razón hemos optado por clasificar los coeficientes de distribución atendiendo a la intensidad de la relación que representan⁶.

Con esta idea hemos diferenciado cuatro situaciones según la intensidad de las relaciones, que acabamos de mencionar:

- a) Intensidad de las relaciones muy débiles: coeficientes inferiores o iguales al 1%
- b) Intensidad de las relaciones débiles: coeficientes entre el 1 y el 5% (incluido)
- c) Intensidad de las relaciones medias: coeficientes entre el 5 y el 10% (incluido)
- d) Intensidad de las relaciones fuertes: coeficientes superiores al 10%

(c) $\hat{x}^{-1}\Delta x = \hat{x}^{-1}A(\hat{x}\hat{x}^{-1})\Delta x + \hat{x}^{-1}\Delta y$. El elemento ij de la matriz $(\hat{x}^{-1}A\hat{x})$ se deriva del siguiente desarrollo:

(d) $\frac{x_j}{x_i}a_{ij} = \frac{x_j}{x_i} \frac{x_{ij}}{x_j} = \frac{x_{ij}}{x_i} = d_{ij}$, donde d_{ij} es el coeficiente de distribución de los sectores ij. Por lo tanto,

generalizando para todos los sectores, la matriz D responde a la expresión matricial anterior, tal que:

(e) $D = \hat{x}^{-1}A\hat{x}$. Sustituyendo esta igualdad en la ecuación (c), tenemos:

(f) $\hat{x}^{-1}\Delta x = D\hat{x}^{-1}\Delta x + \hat{x}^{-1}\Delta y$, de donde:

(g) $(I - D)\hat{x}^{-1}\Delta x = \hat{x}^{-1}\Delta y$, quedando finalmente:

(h) $\hat{x}^{-1}\Delta x = (I - D)^{-1}\hat{x}^{-1}\Delta y$. Pudiendo deducirse de esta expresión que las variaciones relativas de las producciones sectoriales debidas a las variaciones relativas de la demanda final (definido como grafo de influencia relativa, según la nota a pie de página número 5) están en función de la matriz de distribución (D).

⁶ La intensidad de la relación entre dos sectores ij, dada por el coeficiente de distribución (d_{ij}), indica el porcentaje de agua que el sector i compra al sector j, con relación al consumo directo de agua que realiza el sector j. Con otras palabras, si d_{ij} fuera un 4%, este valor indicaría que de cada 100 unidades de agua que el sector j consume de forma directa, el sector i le compra 4 unidades de agua a dicho sector j.

3.1. Análisis de causalidad directa

El estudio de causalidad directa determina si existe una relación *directa* entre dos sectores i, j y si dicha relación es o no simétrica. Esto es, si i le compra (o le vende) agua directamente a j . Estas relaciones directas quedan recogidas en la matriz de incidencias (P), y sus elementos p_{ij} son de la forma:

- Si un sector i le vende directamente a otro j , el elemento p_{ij} de la matriz de incidencias será 1.
- Si no existiese tal relación directa, p_{ij} será cero.

La matriz de incidencias permite determinar la integración de los sectores por las “ventas” y “compras” de agua, y la dependencia o influencia directa que ejerce cada sector sobre el resto de la economía. Estas relaciones se pueden determinar calculando los semigrados de los sectores del grafo. El semigrado exterior⁷ del sector i ($s_i(+)$) expresa el número de sectores a los que i vende directamente, dando una medida de la integración a través de las ventas⁸ y es el resultado de la suma por filas de los elementos de la matriz de incidencias para cada sector.

$$(11) \quad s_i(+) = \sum_{j=1}^n p_{ij}$$

Por otro lado, el semigrado interior⁹ del sector i ($s_i(-)$) indica el número de sectores a los que i compra de forma directa, representando una medida de la integración por las compras y es el resultado de la suma por columnas de los elementos de la matriz de incidencias para cada sector.

$$(12) \quad s_i(-) = \sum_{i=1}^n p_{ij}$$

Definidos así los semigrados, interesa hacer la siguiente interpretación de los mismos. Cuanto mayor sea el semigrado exterior del sector i , a mayor número de sectores le “vende agua”

⁷ En Teoría de Grafos se define como el número de aristas dirigidas (flechas) que salen del vértice i .

⁸ Para algunos autores (véase Morillas, 1983) el semigrado exterior es un indicador de la integración por compras y el semigrado interior de la integración por ventas. Esto se debe a que utilizan la matriz traspuesta de los coeficientes de distribución. En este trabajo se ha optado por no trasponerla sin que ello altere los resultados. Únicamente, el semigrado exterior calculado de esta manera indicará la integración por ventas y el semigrado interior la integración por compras.

⁹ En Teoría de Grafos se define como el número de aristas dirigidas que llegan al vértice i .

dicho sector. Por el contrario, cuanto mayor sea el semigrado interior, a más sectores le “compra” productos intensivos en agua¹⁰. Nos interesa por tanto, determinar cuáles son los sectores que presentan mayores semigrados, fundamentalmente el semigrado interior, para realizar una primera aproximación a los sectores más dependientes del recurso.

A partir de los semigrados se puede obtener el Índice de Dependencia Neta (IDN) que se define como el cociente entre el semigrado interior y el exterior y da una medida sobre la *dependencia* del sector, así como de la *influencia directa* que tiene sobre el resto de la economía. Cuanto mayor sea este índice, mayores son las compras que realiza el sector en cuestión con relación a las ventas y, por lo tanto, mayor es la dependencia del recurso que presenta.

Según la clasificación de los sectores por la intensidad de sus relaciones realizada anteriormente, elaboramos cuatro matrices de incidencias (P, P1, P5, P10) correspondiendo cada una de ellas con los diferentes niveles de intensidad de las relaciones, y sus correspondientes grafos asociados (G, G1, G5, G10):

- a) P y G: matriz de incidencia y grafo que recogen todas las relaciones en términos de agua.
- b) P1 y G1: matriz de incidencia y grafo que representan todas las relaciones, menos las más débiles. Esto es, se tomarán aquellos coeficientes de distribución superiores al 1%.
- c) P5 y G5: matriz de incidencia y grafo que representan las relaciones medias y fuertes. Se tomarán, pues, los coeficientes superiores al 5%.
- d) P10 y G10: matriz de incidencia y grafo que representan sólo las relaciones fuertes, tomando los coeficientes superiores al 10%.

El resumen de semigrados y del IDN para los cuatro grafos anteriores queda recogido en la tabla 4. Lo primero que llama poderosamente la atención es que, considerando el grafo más reducido de los estudiados (G10) y comparándolo con el grafo inicial (G), observamos que desaparecen el 93% de las relaciones, quedando recogidas en el G10 exclusivamente las 33 relaciones más fuertes. Es decir, a pesar que podría parecer que existe un alto número de relaciones en términos de agua, pues en el grafo (G) se registran 537 relaciones de compras (y otras 537 de ventas, evidentemente), el análisis pone de manifiesto que la mayor parte de ellas son prácticamente despreciables ya que en el grafo (G10) quedan únicamente 33; es decir

¹⁰ Hay que tener presente que esto no es equivalente a afirmar que mayor consumo indirecto realizan pues no estamos considerando aún la *cantidad* de agua que compran o venden, sino únicamente el número de sectores con los que se relaciona un sector.

solamente el 6% de todas las relaciones en términos de agua son relaciones que merezcan realmente la pena considerar en función de la intensidad de las mismas. Se detecta así el elevado grado de concentración de las relaciones sectoriales en términos de agua que existe en la economía andaluza, destacando los sectores agrarios como los que mantienen las relaciones de venta más fuertes.

Sin embargo, más interesante son las conclusiones que se derivan al realizar el análisis vía compras. Destacan la industria agroalimentaria (14), la construcción (20) y el textil y confección (15) como los sectores que mantienen las relaciones de compras más fuertes, y en menor medida la restauración y la hostelería (22). Esto es, son aquellos que compran agua a una mayor cantidad de sectores y dicha relación de compra es muy fuerte. Por lo tanto, son sectores cuya demanda influye decisivamente sobre el consumo de agua de aquellos otros sectores que le proporcionan los productos que necesitan. Son estos tres mismos sectores los más dependientes en términos de agua ya que presentan los mayores índices de dependencia neta.

Tabla 4. Semigrados e Índice de Dependencia Neta (IDN) de los grafos G, G1, G5 y G10.

	G			G1			G5			G10						
	S(+)	s(-)	s	IDN	s(+)	s(-)	s	IDN	s(+)	s(-)	s	IDN	s(+)	s(-)	s	IDN
1 Cereales y leguminosas	23	20	43	0,9	4	1	5	0,3	4	1	5	0,3	2	1	3	0,5
2 Hortalizas y frutas	21	24	45	1,1	3	3	6	1,0	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
3 Agrios	22	19	41	0,9	3	1	4	0,3	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
4 Cultivos industriales	24	18	42	0,8	5	1	6	0,2	4	1	5	0,3	3	1	4	0,3
5 Olivar	23	20	43	0,9	4	1	5	0,3	3	1	4	0,3	2	1	3	0,5
6 Otras producciones agrarias	24	24	48	1,0	7	7	14	1,0	3	2	5	0,7	2	1	3	0,5
7 Industria extractiva	24	24	48	1,0	11	5	16	0,5	2	1	3	0,5	1	1	2	1,0
9 Metalurgia	24	23	47	1,0	4	4	8	1,0	2	1	3	0,5	2	1	3	0,5
10 Materiales construcción	24	23	47	1,0	4	3	7	0,8	2	1	3	0,5	2	1	3	0,5
11 Industria química, plásticos	24	23	47	1,0	8	3	11	0,4	3	1	4	0,3	1	1	2	1,0
12 Maquinaria	24	23	47	1,0	7	2	9	0,3	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
13 Material de transporte	19	23	42	1,2	2	5	7	2,5	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
14 Industria agroalimentaria	24	24	48	1,0	3	18	21	6,0	2	9	11	4,5	1	6	7	6,0
15 Textil y confección	24	23	47	1,0	1	2	3	2,0	1	2	3	2,0	1	2	3	2,0
16 Cuero y calzado	20	17	37	0,9	2	1	3	0,5	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
17 Industria de la madera	24	23	47	1,0	4	1	5	0,3	2	1	3	0,5	1	1	2	1,0
18 Papel, artes gráficas y edición	24	23	47	1,0	8	2	10	0,3	3	1	4	0,3	1	1	2	1,0
19 Otras manufacturas	19	23	42	1,2	1	2	3	2,0	1	1	2	1,0	1	1	2	1,0
20 Construcción	24	23	47	1,0	1	13	14	13,0	1	8	9	8,0	1	4	5	4,0
21 Comercio	24	23	47	1,0	4	8	12	2,0	1	3	4	3,0	1	1	2	1,0
22 Restauración y hostelería	24	24	48	1,0	7	15	22	2,1	1	6	7	6,0	1	1	2	1,0
23 Transporte y comunicaciones	24	23	47	1,0	14	3	17	0,2	4	1	5	0,3	2	1	3	0,5
24 Servicios destinados a venta	24	23	47	1,0	9	9	18	1,0	5	1	6	0,2	2	1	3	0,5
25 Servicios no destinados a venta	6	24	30	4,0	1	7	8	7,0	1	3	4	3,0	1	1	2	1,0
Suma	537	537	1074	26,9	117	117	234	44,8	50	50	100	37,1	33	33	66	28,8
Media	21	21	42	1	5	5	9	1,8	2	2	4	1,5	1	1	3	1,2

Fuente elaboración propia.

s: semigrado total del sector, que se obtiene como la suma de los dos anteriores

3.2. Análisis de causalidad indirecta

Mediante la matriz de incidencias y de los semigrados asociados solamente se recogen las relaciones directas entre sectores; sin embargo interesa dar un paso más y analizar también las relaciones *indirectas* para determinar la jerarquía sectorial en relación al consumo de agua en la actividad productiva andaluza. Esto se puede analizar mediante la *matriz de caminos* (K) y la *matriz de distancias* (F).

La matriz de caminos (K) pone de manifiesto si existe, al menos, un camino¹¹ entre i y j , es decir, si desde el sector i se puede acceder a j . La matriz es cuadrada de orden n , y compuesta de ceros y unos, de tal manera que:

- $k_{ij} = 0$, si no existe acceso a j a través de i .
- $k_{ij} = 1$, si existe acceso a j a través de i , ya sea acceso directo o indirecto.
- La diagonal principal es 1 porque cada sector está relacionado consigo mismo.

La matriz de distancias (F) especifica la distancia mínima que separa a dos sectores y se obtiene a través de la matriz de caminos; es cuadrada de orden n , y sus elementos f_{ij} recogen la distancia mínima entre dos sectores, i y j , desde la perspectiva de las ventas.

- Por definición, $f_{ii} = 0$; esto es, la distancia entre un vértice y él mismo es cero y por tanto la diagonal principal de la matriz es cero.
- Si no existe relación entre dos vértices ni directa ni indirecta (y por tanto $k_{ij} = 0$), entonces la distancia entre ellos se considera infinita, $f_{ij} = \infty$.

El concepto de distancia es importante para determinar la centralidad o la situación periférica de un sector. A partir de esta matriz se pueden realizar análisis de gran interés en estructuras completamente interdependientes que identifican los sectores que están en mejor posición dentro de la estructura para influir y/o ser influidos.

Comenzando el análisis por el grafo G , se puede observar que todos los elementos de su correspondiente matriz de caminos, K , son 1 (ver Anexo, tabla 5). Esto indica una total interdependencia entre todos los sectores productivos, en relación a las transacciones de agua. Sin embargo, es más significativo el análisis de los grafos en los que se tienen en cuenta los coeficientes de distribución. En efecto, al eliminar las relaciones más débiles, en la matriz de caminos $K1$ se observa la existencia de sectores que se quedan desconectados por las ventas; esto es, no tienen relaciones de venta con ningún otro sector, salvo las que realizan al sector de hortalizas y frutas (2) (textil y confección -14-, otras manufacturas -19-, construcción -20-, servicios no destinados a la venta -25-). Y otros sectores se quedan desconectados por las compras, como son los agrarios menos las hortalizas y frutas (2), cuero y calzado (16) e

¹¹ Es decir, si existe una sucesión finita de sectores de modo que siempre exista una flecha de un sector al siguiente.

industria de la madera (17). De esta manera, la interdependencia que se observaba anteriormente desaparece, pudiéndose afirmar que dicha interdependencia total estaba basada en relaciones muy débiles y poco significativas.

Llama también la atención, observando la matriz de distancias asociada a K1, F1 (ver Anexo, tabla 6), que la industria agroalimentaria (14) mantiene relaciones directas de compra con casi todos los sectores¹², mientras que sólo les vende a otras producciones agrarias (6) y al sector de la restauración y hostelería (22)¹³. También hay que destacar la posición de centralidad de los sectores de la construcción (20) y de la restauración y hostelería (22), desde la perspectiva de las compras. Estas observaciones son tanto más interesantes al compararlas con las matrices de distancia F5 y F10. En éstas se puede observar que desaparecen la mayoría de las relaciones y las que se mantienen son las de estos sectores, destacando la intensidad de las mismas en los dos primeros (agroalimentaria -14- y construcción -20-). De esta manera, se reafirma la centralidad de estos sectores y las conclusiones derivadas del análisis de la matriz de incidencias.

De este análisis podemos resaltar que los sectores que más influyen con su demanda en el consumo de agua en la economía andaluza son la industria agroalimentaria (14), la construcción (20) y la restauración y hostelería (22), en este orden. Es importante destacar este resultado ya que aunque estos sectores no consuman de forma directa grandes cantidades de agua, la necesitan los productos que incorporan en su proceso productivo; de esta forma, la consumen de forma indirecta y muestran un alto grado de dependencia del recurso. Como sabemos, son precisamente estos tres sectores los llamados “motores” de la economía andaluza, coincidiendo por tanto los sectores más relevantes en producción y empleo con los mayores consumidores de agua.

3.3. Análisis jerárquico

Es interesante tratar de establecer una jerarquía entre los sectores según la influencia que ejercen en el consumo de agua del resto de la economía. Para que exista tal jerarquización ha de darse una relación de causalidad estricta entre ellos, esto es, una relación que no sea recíproca, entendiendo por tal aquella relación que se establece entre dos sectores, donde el sector *i* ejerce algún tipo de influencia sobre otro *j* y éste, a su vez, ejerce también influencia

¹² La mayor parte de los elementos de la columna 14 son unos.

¹³ Son los únicos sectores en los que en la fila 14 aparecen unos.

sobre i . Aquellos sectores que presentan dicha relación recíproca se dice que pertenecen a la misma Componente Fuertemente Conexa (CFC). Para determinar la jerarquía habrá que detectar en primer lugar las CFC que existen en la estructura andaluza y, posteriormente, establecer la jerarquía entre aquellos sectores que no pertenecen a la misma.

Los pasos que se siguen para establecer una jerarquía entre sectores son los siguientes:

1. El primer paso es obtener la matriz de conectividad (\mathbf{N}). Esta matriz muestra el tipo de conexión que existe entre los sectores y es, lógicamente, simétrica. Se obtiene a partir de la matriz de caminos de la siguiente manera:

a) Si dos sectores i y j están relacionados, al menos, en un sentido, esto es, i se relaciona con j y/o j se relaciona con i , entonces se dice que están *1-ligados* y el elemento ij de la matriz de conectividad será $n_{ij} = k_{ij} + k_{ji} + 1$, siendo k_{ij} elementos de la matriz de caminos.

En este caso se pueden presentar dos situaciones:

a.1) Si $k_{ij} = k_{ji} = 1$, quiere decir que el sector i está relacionado con j y j , a su vez, está también relacionado con i . En este caso i y j se dice que son *3-conexos* y $n_{ij} = 3$.

a.2) Si $k_{ij} + k_{ji} = 1$, entonces los sectores i y j están relacionados sólo en un sentido, siendo *2-conexos* y $n_{ij} = 2$.

b) Si $k_{ij} + k_{ji} = 0$, entonces los sectores i y j no están relacionados en ningún sentido, siendo *0-conexos* y $n_{ij} = 1$.

c) En otro caso: $n_{ij} = 0$.

2. En segundo lugar, y una vez obtenida la matriz de conectividad, hay que detectar la CFC. Dos sectores i y j pertenecen a la misma CFC cuando i está relacionado con j y j con i , esto es, cuando mantiene una relación recíproca y el elemento de la matriz de conectividad es $n_{ij} = 3$.

3. Por último, hay que determinar los niveles de la jerarquía. El nivel 1 ($\mathbf{N1}$) estará formado por aquellos sectores *aislados* o *fuentes*¹⁴ del grafo resultante, una vez determinada la CFC. El nivel 2 ($\mathbf{N2}$) está compuesto por los sectores aislados o fuentes

¹⁴ Un sector es *fuentes*, según la terminología de la Teoría de Grafos, cuando son transmisores de influencia (en este estudio influencia mediante compras) pero ellos no reciben ninguna.

del grafo que resulta cuando se eliminan los sectores que pertenecen al nivel 1. Esto es, son aquellos sectores que están influidos solamente por los sectores del nivel 1.

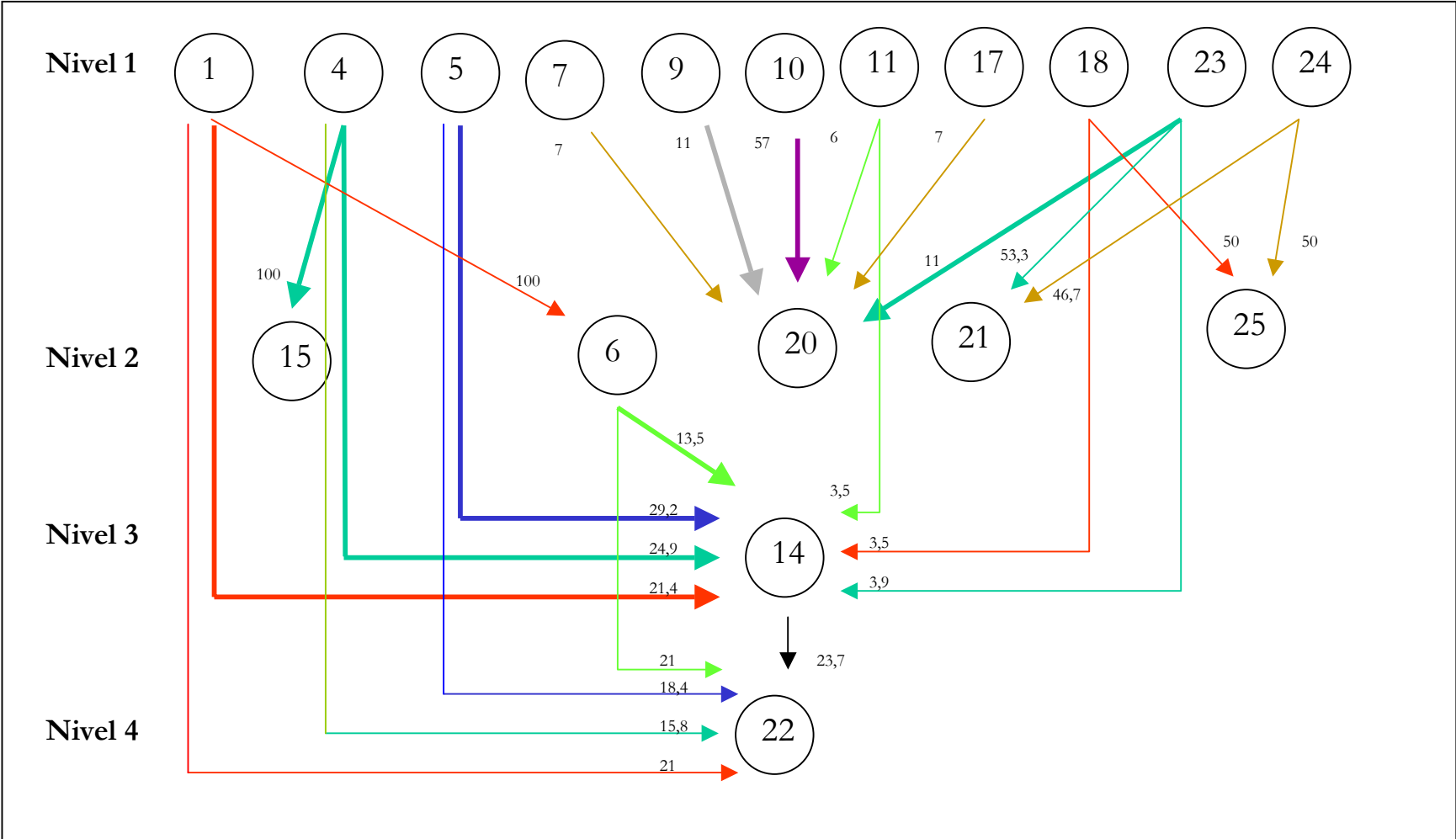
Siguiendo la clasificación de los coeficientes realizada anteriormente, diferenciamos dos jerarquías distintas, correspondientes a los grafos G5 y G10¹⁵ (ver páginas siguientes). Los grafos jerárquicos hay que interpretarlos de la siguiente manera. Los sectores que están en la base de la pirámide son los que están en mejores condiciones para influir en el consumo de agua del resto de sectores, ya que repercuten en los mismos a través de su demanda.

La estructura jerárquica G5 es la que muestra la jerarquía más ilustrativa del consumo de agua en los sectores productivos de la economía andaluza ya que la estructura está perfectamente jerarquizada sin existir ninguna componente fuertemente conexa. Destacan los sectores de la industria agroalimentaria (14) y el de hostelería y restauración (22) en la base de la pirámide, siendo los sectores que más compras de agua realizan.

Hay que destacar que la industria agroalimentaria (14) adquiere la mayor parte de sus compras (89%) a los sectores agrarios. De igual forma, las compras del sector de la restauración y hostelería (22) se reparten entre los sectores agrarios (76%) y la industria agroalimentaria (24%). Podemos afirmar pues, que los tres sectores aquí mencionados -agrarios, agroalimentario y restauración y hostelería- son los que establecen más relaciones en términos de consumo de agua; predominando el consumo directo en los sectores agrarios, y el indirecto en los otros dos.

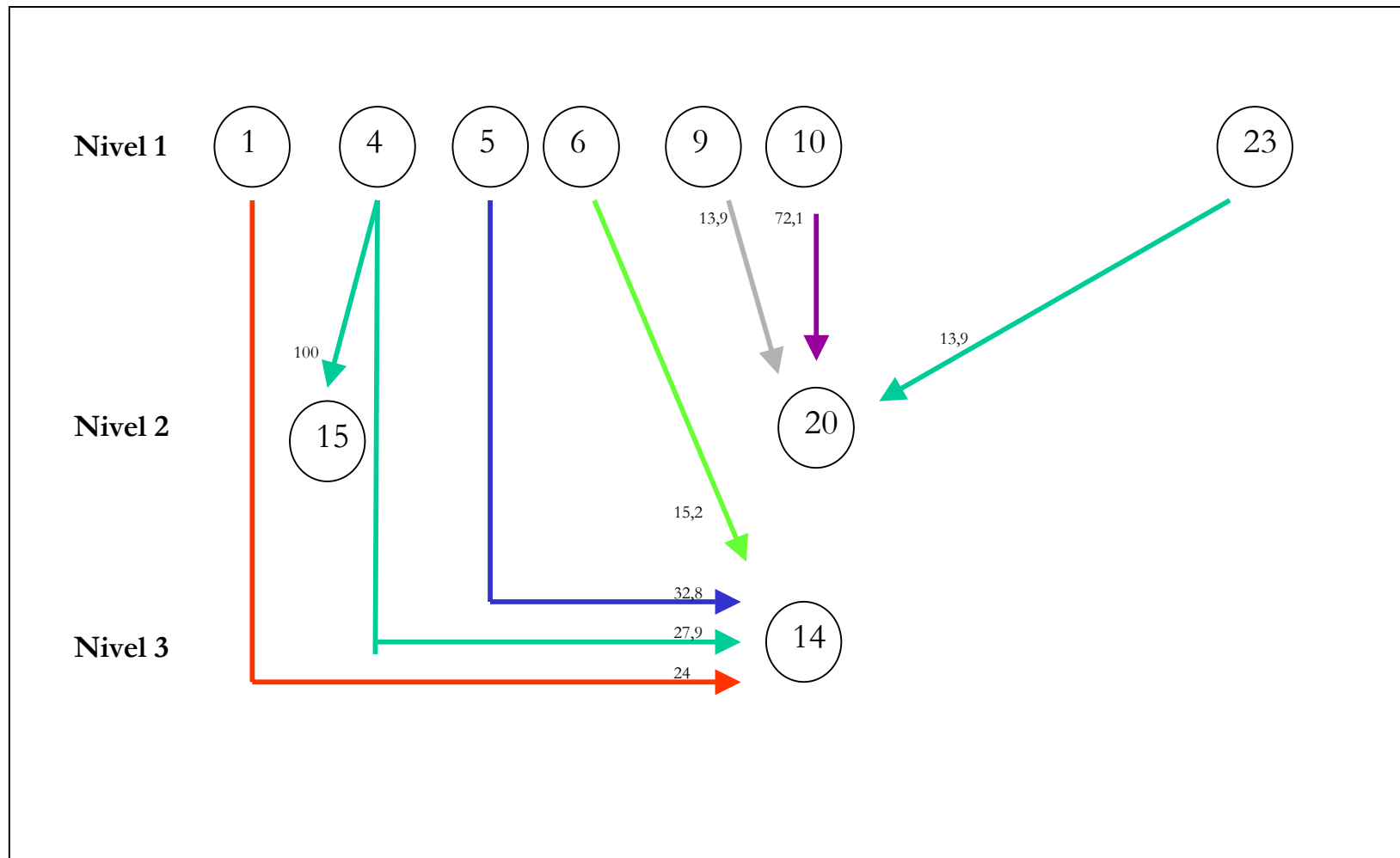
¹⁵ No determinamos una jerarquía para los grafos G y G1 por carecer de interés analítico ya casi todos los sectores pertenecen a la misma CFC.

GRAFO JERÁRQUICO J5, DERIVADO DEL GRAFO G5



Fuente: Elaboración propia
 No se han incluido los sectores aislados del nivel 1 por simplificar el grafo. Estos sectores son: 2, 3, 12, 13, 16, 19
 Las cifras representan lo que cada sector compra en relación a sus compras totales.

GRAFO JERÁRQUICO J10, DERIVADO DEL GRAFO G10



Fuente: Elaboración propia

No se han incluido los sectores aislados del nivel 1 por simplificar el grafo. Estos sectores son: 2, 3, 7, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 25.

Las cifras representan lo que cada sector compra en relación a sus compras totales.

Hay que resaltar también la posición del sector de la construcción (20) que en el grafo jerárquico G5 aparece en el nivel 2 con una posición relevante y que, a pesar de no estar en la base del mismo debido a que la cantidad de agua que compra del resto de la economía es menor que la que compran otros sectores, se mantiene en el grafo jerárquico G10 indicando una influencia mediante compras considerable. Es importante destacar este hecho ya que el sector de la construcción es uno de los más dinámicos en la economía andaluza. Aunque si bien es cierto que lo es desde una perspectiva coyuntural, y no estructural, afecta igualmente al consumo de agua, pudiendo esto llegar a frenar en algún momento su capacidad de arrastre.

De la misma forma, destaca también el consumo indirecto realizado por el sector textil y confección (15), ocupando el nivel 2 tanto el grafo jerárquico G5 como en el G10, concentrando toda su demanda sobre el sector de cultivos industriales (4).

Es importante destacar, pues, que la industria agroalimentaria (14), la restauración y hostelería (22), la construcción (20) y, en menor medida, el textil y confección (15), si bien son fundamentales para la economía andaluza en términos de producción y empleo, son los sectores más consuntivos en términos de agua¹⁶. Por ello, una política económica que adopte medidas para fomentar la producción de estos sectores, si bien puede ser una buena medida considerando únicamente variables económicas, puede no serlo tanto desde la perspectiva ambiental ya que se estará fomentando al mismo tiempo el consumo de un recurso tan escaso en la región.

4. Conclusiones e implicaciones para la política económica

Se pueden extraer algunas conclusiones de este estudio. Como idea general, entendemos que lo más provechoso del mismo es, por un lado, la utilización de la metodología mixta aplicada al caso de Andalucía y, por otro, las enseñanzas que se podrían derivar de la misma de cara a introducir medidas de política económica. En primer lugar y con relación a la metodología empleada, podríamos reafirmar la adecuación de la misma al fin propuesto. Entendemos que esta metodología mixta, combinando el modelo Input-Output ampliado con la Teoría de Grafos, resulta apropiada para analizar las relaciones que se establecen entre la estructura

¹⁶ Esta afirmación no se deriva únicamente del número de relaciones de los sectores mencionados, ya que un mayor número de transacciones no tiene porque derivar en un mayor consumo. No obstante, se puede demostrar que dichos sectores, si bien no realizan grandes consumos “directos” de agua, sí son los sectores que presentan los mayores niveles de consumo “indirecto” del recurso, situándolos en una posición altamente consumidora. (Esta afirmación se desprende del modelo Input-Output de consumo de agua, base de este análisis).

productiva y el consumo de recursos naturales ya que permite definir una jerarquía sectorial basada en el consumo total de agua realizado por cada sector; por medio de ésta se puede determinar la dependencia del recurso natural y todo ello podría servir como base para definir las medidas de política económica que introdujeran aspectos ambientales como éste.

En segundo lugar, y tratando de extraer algunas enseñanzas del estudio realizado, podríamos concluir lo siguiente. Podríamos afirmar, como primera enseñanza, que existen sectores altamente consumidores de agua y que rara vez son considerados como tales. Nos estamos refiriendo a la industria agroalimentaria y a la restauración y hostelería, principalmente. Estos sectores, si bien es cierto que no destacan por el consumo directo que realizan del recurso, si llevan a cabo un alto consumo indirecto, contribuyendo con su demanda a la escasez del agua en la región y creando una situación de dependencia del recurso que tal vez pudiera llegar a hacer peligrar la estabilidad de la propia economía. Independientemente de los sectores concretos afectados, es importante destacar la necesidad de realizar estudios que consideren el consumo *total*, y no únicamente el consumo directo de recursos, para así poder determinar con mayor rigurosidad los verdaderos consumidores del mismo.

La segunda enseñanza que se podría derivar del estudio mantiene que, a pesar de las múltiples relaciones que se establecen en el circuito sectorial del agua, podemos afirmar que la gran mayoría de ellas son despreciables, concentrándose las verdaderamente importantes por su intensidad en muy pocos sectores, entre los que destacan los anteriormente citados. Finalmente, y como respuesta a las preguntas que nos planteábamos al iniciar este estudio, podríamos concluir que el elevado nivel de consumo de agua realizado por el entramado productivo andaluz, concentrado en pocos sectores, precisamente en aquellos denominados “motores” de la economía andaluza por su capacidad para influir en la producción de los demás, podría condicionar la conservación de los recursos hídricos de la región y la propia sostenibilidad de la economía andaluza.

Con estas enseñanzas como base, podríamos atrevernos a plantear algunas consideraciones que pudieran servir a las autoridades competentes en estas materias para introducir nuevas medidas de política económica. Las líneas que exponemos a continuación no tratan de ser, en ningún momento, la solución a los problemas aquí planteados; más bien, podrían entenderse como ideas lanzadas con el objetivo de contribuir a los nuevos planteamientos que comienzan a

integrar las variables ambientales en la planificación económica. Estas ideas son expuestas con la reserva de quien conoce la polémica y controversia que suscitan estas cuestiones.

Podríamos hablar de tres grandes líneas. Una primera, más radical pero que entendemos viable, pensada desde la óptica estructural; la segunda línea apuntaría a algunos aspectos institucionales a tener en consideración; y en tercer lugar, podríamos mencionar cambios técnicos a incorporar. Evidentemente, estas ideas no son excluyentes entre sí sino más bien están llamadas a complementarse.

Comenzando con la primera idea apuntada, y si consideramos que el problema planteado surge en parte de la especialización productiva de la región, podríamos pensar en un cambio estructural a largo plazo que nos llevara a una especialización productiva diferente, menos consumidora de agua. En esta línea, una posibilidad podría ser la importación de aquellos productos agrarios que fueran intensivos en agua de otros países donde el problema hídrico fuera menos acuciante, e incorporarlos a los procesos de la industria agroalimentaria y de la restauración y hostelería. De esta forma, se reduciría el alto consumo indirecto de agua de estos dos sectores. Estaríamos hablando pues de un proceso de “importación” de agua, no exento de problemas sociales y económicos que se derivarían de la medida tomada; no obstante, sin perder de vista todos estos problemas, la medida a largo plazo ayudaría a paliar el problema de la escasez, sin menos cabo del nivel de bienestar de la sociedad.

Algunos de los aspectos institucionales a tener en cuenta pasan por el estudio de la demanda de agua y la sustitución parcial de la llamada gestión de la oferta por la nueva gestión de la demanda. Con este planteamiento, podríamos sugerir la necesidad de estudiar la demanda de agua según los usos con idea de implantar políticas de precios ajustados a los diversos condicionantes que definan la situación estudiada. Entendemos que éste es un aspecto crucial, que definiéndose como un instrumento adecuado para la gestión del agua, abre un amplio campo de análisis muy necesario en nuestra región.

La tercera de las ideas apuntadas, plantea la necesidad de incorporar procesos tecnológicos a la cadena productiva de los sectores “motores” de la economía andaluza, tales como técnicas de reciclaje de agua y, más importante aún, la diferenciación del agua utilizada en función de los usos para los que se requiera. Esta última medida nos llevaría a utilizar diferentes niveles de calidad en función del uso que se le vaya a dar al recurso, potenciando el uso de agua no

potable para aquellos usos que no requieran la potabilización de la misma. Esta medida, ya puesta en práctica en algunas actividades, debería generalizarse, siendo conscientes del fuerte gasto que esto supondría en infraestructuras que permitieran este cambio y la necesaria mentalización de la población.

Con las líneas aquí expuestas únicamente hemos tratado de esbozar algunas ideas generales, ninguna de ellas nuevas, que sirvan para alentar nuevos estudios que a su vez nos lleven a consolidar esta nueva etapa de la gestión del agua centrada en la gestión de la demanda.

ANEXO

Tabla 1. Matriz de Intercambios de Agua de Andalucía (W) (miles de metros cúbicos).

SECTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Suma por filas
1 Cereales y leguminosa	291.287	2.297	150	289	180	72.166	1.006	0	359	246	723	504	703	450.624	918	44	759	1.860	201	5.683	2.457	71.142	692	3.355	4.259	911.900
2 Hortalizas y frutas	64	834.403	39	36	50	3.701	545	0	186	116	322	269	375	16.453	311	21	199	192	79	2.164	1.298	40.069	364	1.361	3.537	906.155
3 Agrios	25	190	294.140	15	24	682	205	0	74	42	1.106	95	136	6.400	114	8	72	63	29	811	453	13.502	134	552	2.288	321.162
4 Cultivos industriales	22	112	9	15.562	12	1.829	94	0	41	28	161	49	81	58.062	17.935	49	72	330	100	437	271	6.508	91	273	459	102.589
5 Olivar	170	860	70	89	170.502	15.669	807	0	280	198	558	400	557	537.551	535	33	356	677	128	3.511	1.928	58.962	542	2.051	3.415	799.845
6 Otras producciones agrarias	1.102	3.685	202	519	231	147.956	404	0	167	116	253	214	302	86.913	954	24	1.018	3.183	175	5.262	1.113	23.179	314	3.176	1.768	282.231
7 Industria extractiva	31	120	14	16	35	116	10.288	0	178	255	749	42	103	759	107	4	69	65	19	1.121	585	407	557	262	388	16.289
8 Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Metalurgia	61	123	11	23	47	98	63	0	19.491	43	60	240	793	848	106	8	80	6	94	2.740	38	131	34	59	91	25.289
10 Materiales construcción	1	5	0	0	1	10	24	0	29	1.877	9	21	12	231	4	0	9	8	2	3.278	28	85	9	31	36	5.713
11 Industria química, plásticos	214	1.754	86	133	212	465	539	0	293	88	27.806	128	233	3.147	337	20	219	275	80	2.587	251	998	287	613	333	41.100
12 Maquinaria	1	2	1	0	1	2	1	0	7	2	2	613	10	17	3	0	1	1	0	32	7	3	2	4	20	733
13 Material de transporte	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	1	2.436	5	1	0	0	0	0	5	5	3	8	36	4	2.512
14 Industria agroalimentaria	9	44	4	4	4	795	41	0	14	10	28	20	28	27.283	27	2	18	34	7	178	98	2.993	28	104	173	31.947
15 Textil y confección	1	3	0	0	0	34	1	0	2	1	3	1	5	44	4.416	8	3	2	1	9	14	38	7	9	18	4.621
16 Cuero y calzado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	255	0	0	0	0	6	0	0	1	1	266
17 Industria de la madera	1	8	1	1	1	17	6	0	3	4	5	5	29	67	2	0	2.456	4	2	212	20	13	5	40	12	2.913
18 Papel, artes gráficas y edición	7	37	3	3	5	185	60	0	158	163	102	134	97	1.801	125	43	44	16.614	250	802	492	383	213	800	1.186	23.708
19 Otras manufacturas	0	0	0	0	0	4	1	0	0	1	0	0	5	9	3	0	1	0	1.088	4	2	2	1	2	9	1.133
20 Construcción	3	21	2	1	3	17	63	0	15	10	20	52	21	86	16	1	10	4	3	16.461	126	105	39	135	138	17.353
21 Comercio	11	58	5	5	11	145	130	0	112	36	39	48	107	606	67	4	79	34	11	684	14.270	339	46	133	94	17.073
22 Restauración y hostelería	55	467	48	34	62	458	746	0	254	157	440	369	512	2.494	404	29	245	161	105	2.857	1.761	55.794	495	1.499	1.181	70.626
23 Transporte y comunicaciones	24	93	10	10	23	214	254	0	136	117	174	103	160	1.070	158	10	86	80	36	1.298	982	415	5.199	481	438	11.571
24 Servicios destinados a venta	25	150	13	11	26	215	612	0	252	121	239	209	505	1.333	232	16	208	124	50	1.778	2.298	1.237	518	20.926	1.639	32.739
25 Servicios no destinados a venta	1	4	0	0	1	3	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	23.323	23.349
Suma por columnas	293.044	844.090	294.780	16.754	171.430	244.786	15.897	0	22.052	3.630	32.804	3.515	7.212	1.195.809	26.774	580	6.003	23.717	2.463	51.915	28.506	276.309	9.585	35.901	44.809	3.652.816

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de coeficientes técnicos de agua de Andalucía (Q).

SECTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1 Cereales y leguminosa	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,474	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,683	0,000	0,011	0,111
2 Hortalizas y frutas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,229	0,000	0,008	0,084
3 Agrios	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	2,118	4,043	0,046	0,008	0,015	0,072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4 Cultivos industriales	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	19,702	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5 Olivar	0,003	0,004	0,001	0,030	0,001	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,791	0,032	0,000	0,329	0,169	0,063	0,203	0,000	0,222	0,000	0,102	0,020
6 Otras producciones agrarias	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,131	0,000	0,006	0,109	0,023	0,024	0,022	0,009	0,012	0,005	0,016	0,002	0,008	0,023	0,027	0,004	0,090	0,007	0,011
7 Industria extractiva	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8 Agua	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,083	0,019	0,002	0,343	0,294	0,015	0,015	0,027	0,028	0,000	0,078	0,146	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002
9 Metalurgia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,049	0,000	0,015	0,002	0,007	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,189	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
10 Materiales construcción	0,001	0,002	0,000	0,007	0,001	0,002	0,043	0,000	0,012	0,029	0,099	0,143	0,067	0,042	0,032	0,061	0,072	0,014	0,056	0,120	0,004	0,007	0,040	0,022	0,007
11 Industria química, plásticos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,030	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
12 Maquinaria	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000
13 Material de transporte	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,004
14 Industria agroalimentaria	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,055	0,030	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
15 Textil y confección	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16 Cuero y calzado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005	0,011	0,002	0,000	0,001	0,051	0,000	0,002	0,012	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000
17 Industria de la madera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,007	0,077	0,003	0,178	0,022	0,055	0,022	0,155	0,010	0,047	0,214	0,020	0,024	0,002	0,034	0,035	0,044
18 Papel, artes gráficas y edición	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19 Otras manufacturas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,003	0,000	0,079	0,005	0,001	0,002	0,003	0,003	0,000	0,002	0,002	0,007	0,001	0,006	0,006	0,005
20 Construcción	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,011	0,000	0,005	0,016	0,001	0,064	0,037	0,015	0,012	0,014	0,029	0,002	0,008	0,033	0,008	0,004	0,006	0,005	0,003
21 Comercio	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,063	0,000	0,010	0,060	0,013	0,527	0,173	0,058	0,071	0,098	0,082	0,007	0,084	0,132	0,101	0,003	0,077	0,065	0,040
22 Restauración y hostelería	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,021	0,000	0,006	0,054	0,005	0,137	0,051	0,026	0,029	0,032	0,027	0,004	0,028	0,056	0,061	0,004	0,026	0,020	0,015
23 Transporte y comunicaciones	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,049	0,000	0,010	0,042	0,006	0,266	0,170	0,028	0,038	0,046	0,067	0,006	0,033	0,069	0,139	0,016	0,083	0,064	0,060
24 Servicios destinados a venta	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25 Servicios no destinados a venta	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,474	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,683	0,000	0,011	0,111

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Matriz de coeficientes de distribución de agua de Andalucía (L).

SECTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1 Cereales y leguminosa	0,319	0,003	0,000	0,000	0,000	0,079	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,494	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,006	0,003	0,078	0,001	0,004	0,005
2 Hortalizas y frutas	0,000	0,915	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,044	0,000	0,001	0,004
3 Agrios	0,000	0,000	0,323	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,015	0,000	0,001	0,003
4 Cultivos industriales	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001
5 Olivar	0,000	0,001	0,000	0,000	0,187	0,017	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,589	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,002	0,065	0,001	0,002	0,004
6 Otras producciones agrarias	0,004	0,004	0,000	0,001	0,000	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,095	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,006	0,001	0,025	0,000	0,003	0,002
7 Industria extractiva	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
8 Agua	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9 Metalurgia	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10 Materiales construcción	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11 Industria química, plásticos	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
12 Maquinaria	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13 Material de transporte	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14 Industria agroalimentaria	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
15 Textil y confección	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16 Cuero y calzado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17 Industria de la madera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18 Papel, artes gráficas y edición	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
19 Otras manufacturas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20 Construcción	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21 Comercio	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000
22 Restauración y hostelería	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,061	0,001	0,002	0,001
23 Transporte y comunicaciones	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,006	0,001	0,000
24 Servicios destinados a venta	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,023	0,002
25 Servicios no destinados a venta	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Matrices de caminos.

K	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

K1	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
4	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
6	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0
10	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1
11	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
12	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
13	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
14	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
17	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
18	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
22	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
23	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
24	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

K5	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

K10	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0</																	

Tabla 6. Matrices de distancias.

F

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
19	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
25	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	0

F1

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	0	2	∞	∞	∞	∞	1	2	3	3	3	4	3	1	∞	∞	∞	2	3	2	2	1	3	2	2
2	∞	0	∞	∞	∞	∞	2	3	4	4	4	4	3	1	∞	∞	∞	3	4	2	2	1	3	2	2
3	∞	∞	0	∞	∞	∞	2	2	3	3	3	4	3	1	∞	∞	∞	3	4	2	2	1	3	2	2
4	∞	∞	∞	0	∞	∞	1	2	3	3	3	4	3	1	1	∞	∞	2	3	2	2	1	3	2	2
5	∞	∞	∞	∞	0	∞	1	2	3	3	3	4	3	1	∞	∞	∞	2	3	2	2	1	3	2	2
6	∞	∞	∞	∞	∞	0	2	3	3	3	3	3	2	1	∞	∞	∞	1	2	1	2	1	2	1	2
7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	0	1	1	1	2	2	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	3	0	∞	∞	∞	∞	1	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
10	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	2	3	0	3	∞	∞	3	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
11	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	1	2	2	0	3	2	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
12	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	3	1	4	4	0	1	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
13	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	2	3	3	3	3	0	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	2	3	3	3	4	3	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
16	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	3	4	4	4	5	4	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
17	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	2	3	3	3	3	2	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
18	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	2	3	3	3	3	2	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
21	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	2	3	3	3	4	3	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
22	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	1	2	2	2	3	2	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
23	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	1	1	1	1	1	1	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
24	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	1	2	2	2	2	1	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
25	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

F5

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
3	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
6	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
10	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
11	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
12	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
13	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
16	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
17	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
18	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
21	∞	∞	∞																						

Bibliografía

- Alcántara, V. (1995). *Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis Input-Output*. Universidad de Barcelona.
- Alcántara, V.; Roca, J. (1995). Energy and CO₂ emissions in Spain. *Energy Economics* **17**(3): 221-230.
- Almenar, R.; Bono, E.; García, E. (directores) (1998). *La sostenibilidad del desarrollo: el caso valenciano*. Ed. Fundación Bancaixa.
- Bielsa, J. (1998). *Modelización de la gestión integrada del agua en el territorio: magnitudes asociadas desde una perspectiva económica* (Tesis Doctoral). Universidad de Zaragoza.
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (1996). La tabla Input-Output medioambiental de Andalucía 1990. Aproximación a la integración de las variables medioambientales en el modelo Input-Output. *Monografías de economía y medio ambiente* **7**.
- Duarte, R. (1999). *Estructura productiva y contaminación hídrica en el valle del Ebro. Un análisis Input-Output* (Tesis Doctoral). Universidad de Zaragoza.
- Forsund, F.R. (1985). "Input-output models, national economic models, and the environment". En Kneese, A.V.; Sweeney, J.L. (1985).
- Hawdon y Pearson (1995). Input-Output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. *Energy Economics* **17**(1): 73-86.
- Hudson, E.A.; Jorgenson, D.W. (1974). U.S. energy policy and economic growth, 1975-2000. *Bell Journal of Economics and Management Science* **5** (2): 461-514. En Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998), **II**: 52-105.
- Instituto de Estadística de Andalucía, Junta de Andalucía (1995a). *Contabilidad regional y tabla Input-Output de Andalucía, 1990. Presentación de resultados*. Instituto Estadístico de Andalucía.
- Instituto de Estadística de Andalucía, Junta de Andalucía (1995b). *Contabilidad regional y tablas Input-Output de Andalucía, 1990. Análisis de resultados*. Volumen 1. Instituto Estadístico de Andalucía.
- Isard, W. y otros (1968). On the linkage of socio-economic and ecologic systems. *Papers of the Regional Science Association* **XXI**: 79-99. Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998) **II**: 3-23.
- Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998). *Input-Output analysis*. Vol. I, II, III. Ed. Kurz, Dietzenbacher, Lager.
- Leontief, W. (1936). Quantitative Input-Output relations in the economic system of the United States, *Review of Economics and Statistics* **XVIII**. En Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998), **I**: 104-132.
- Leontief, W. (1970). Environmental repercussions and the economic structure: an Input-Output approach. *Review of Economics and Statistics* **52**: 262-271. En Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998), **II**: 24-33.

- Leontief, W.; Ford, D. (1972). Air pollution and the economic structure: empirical results of input-output computations. *Input-output Techniques*. Eds. Brody, A.; Cater, A.P. North-Holland Publishing Company.
- Lofting; MCGauhey (1968). Economic valuation of water. An Input-Output analysis of California water requirements. *Contribution* **116**. Water Resources Center.
- Manresa, A.; Sancho, F. (1997). *El análisis medioambiental y la tabla Input-Output. Cálculos energéticos y emisiones de CO₂*. (Mimeo).
- Manresa, A.; Sancho, F.; Vegara, J.M. (1998). Measuring commodities' commodity content. *Economic Systems Research* **10** (4).
- Morillas, A. (1983 a). *La Teoría de Grafos en el análisis Input-Output. La estructura productiva andaluza*. Universidad de Málaga.
- Morillas, A. (1983 b). Indicadores topológicos de las características estructurales de una tabla input-output. Aplicación a la economía andaluza. *Investigaciones Económicas* **20**:103-118.
- Morillas, 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*. Instituto de Estadística de Andalucía, Junta de Andalucía, (1995).
- Morillas, A. (1996). La Teoría de Grafos en el análisis económico regional. El agua como factor productivo en Andalucía. *Boletín Económico de Andalucía* **21**: 125- 138.
- Morillas, A.; Melchor, E.; Castro, M. (1996). Análisis dinámico de los efectos de la estructura de demanda sobre el crecimiento y medio ambiente en Andalucía. *Comunicación presentada a la XXII Reunión de Estudios Regionales*.
- Pajuelo, A. (1980). Equilibrio general versus análisis parcial en el análisis input-output económico ambiental: una aplicación al análisis de la contaminación atmosférica en España, *Revista del Instituto de Estudios Económicos* **3**.
- Proops, J.L.R. (1988). Energy intensities, Input-Output analysis and economic development. En Ciaschini, M. (1988): 201-215.
- Proops, J.L.R.; Faber, M.; Wagenhals, G. (1993). *Reducing CO₂ emissions. A comparative Input-Output study for Germany and the U.K.* Springer-Verlag.
- Saénz de Miera, G. (1998). *Modelo Input-Output para el análisis de las relaciones entre la economía y el agua. Aplicación al caso de Andalucía*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Sánchez-Chóliz, J.; Bielsa, J.; Arrojo, P. (1992). Water values for Aragon. *Environmental and Land Issues*. Wissenschaftsverlag vank Kiel KG. Ed. Albisu, L.M. and Romero, C. EAAE, CIHEAM.
- Stone, R. (1972). "The evaluation of pollution: balancing gains and losses". *Minerva*, **X (3)**: 412-25. En Kurz, H.D.; Dietzenbacher, E.; Lager, C. (1998), **III**. pp. 38-51.
- Velázquez Alonso, E. (2001): *El consumo de agua y la contaminación hídrica en Andalucía. Un análisis desde el modelo Input-Output y la Teoría de Grafos*. (Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide).

Velázquez Alonso, E. (2003): “Modelo Input-Output de Agua. Análisis de las relaciones intersectoriales de agua en Andalucía”. *Documento de Trabajo E2003/01*. Fundación Centro de Estudios Andaluces (centrA).