

MATRIZ DE RELACIONES INTERSECTORIALES DE AGUA ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA DE GRAFOS

Esther Velázquez Alonso

Universidad Pablo de Olavide

Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en poner de manifiesto las relaciones que se establecen entre los sectores productivos y el consumo de agua. 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 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 relaciones intersectoriales de agua que nos permitirá analizar las relaciones intersectoriales en términos de agua con los instrumentos proporcionados por la Teoría de Grafos.

Una de las principales conclusiones que se pueden obtener afirma 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.

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.

Utilizamos una metodología mixta, en la que combinamos el análisis Input-Output con la Teoría de Grafos. Mediante el análisis Input-Output obtenemos la Matriz de Relaciones Intersectoriales de Agua (MARIA)², y sobre ella aplicamos los instrumentos derivados de dicha Teoría. Esta

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.

² Derivada de un modelo Input-Output de consumo de agua desarrollado en otro trabajo más amplio y del que aquí exponemos únicamente lo indispensable para seguir el desarrollo de la Matriz.

metodología nos permite analizar con detalle el consumo de agua que realiza cada sector productivo, las transacciones de agua que se producen en el sistema y los grafos resultantes nos permiten visualizar el circuito del agua en la economía andaluza.

El modelo Input-Output, definido por Leontief en 1936, no sería ampliado hasta finales de la década de los sesenta (Isard, 1968) con idea de analizar las relaciones existentes entre la estructura sectorial de una economía y los efectos ambientales de la misma. Este modelo ampliado de Leontief se ha utilizado profusamente para el caso de la energía y especialmente para las emisiones contaminantes a la atmósfera³; sin embargo, mucho menor ha sido la utilización del mismo con idea de analizar las relaciones que se establecen entre la estructura productiva y los recursos hídricos, y menor aún ha sido la combinación de éste con la Teoría de Grafos. Merece la pena destacar en este sentido, la aportación de Morillas (1996) en la que 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.

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. Pero no nos quedamos aquí; 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.

En este trabajo se pueden diferenciar cuatro partes. Tras esta primera introducción, en la segunda obtenemos la Matriz de Relaciones Intersectoriales de Agua (MARIA), 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 Relaciones Intersectoriales 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 Relaciones Intersectoriales de Agua (MARIA).

Para llegar a la expresión que define a la MARIA, partimos del modelo Input-Output de consumo de agua⁴, cuyas variables identificamos a continuación:

³ Hawdon, P. y Pearson, P. (1995) analizan en profundidad los diferentes estudios que se han realizado en esta línea utilizando este modelo.

⁴ El lector interesado en conocer el desarrollo y obtención de este modelo puede ponerse en contacto con la autora del mismo en la dirección de correo electrónico: evelalo@dee.upo.es

W : matriz de relaciones intersectoriales en términos de agua, de orden n (MARIA).

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 productos 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 productos 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 $(\cdot)^y$ 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.

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

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 manera⁵:

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

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

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

⁵ Proops (1988) realiza este análisis para el caso del consumo de energía.

Tabla 1. Matriz de Relaciones Intersectoriales 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.

En la tabla 1 podemos apreciar una matriz cuadrada donde se presentan todos los sectores productivos ordenados desde el sector 1 al 25, tanto en filas como en columnas, y en ella se muestran las relaciones intersectoriales de agua que tienen lugar entre todos ellos, expresadas en miles metros cúbicos. En esta matriz se pueden interpretar y analizar las “compras” o “ventas” de agua que un sector realiza a otro. Hablamos de “compra de agua” en el siguiente sentido. Consideremos que un sector i le compra un determinado producto a otro sector j ; la cantidad de agua que i le compra a j es la cantidad de agua que el sector j ha consumido para generar su producto (evidentemente, hablamos de “venta de agua” al hacer el razonamiento inverso). Es importante diferenciar en este sentido los dos tipos de consumos que se pueden realizar, a saber, consumo directo y consumo indirecto; un sector consume agua de forma directa cuando la toma directamente de la red de abastecimiento; por el contrario, hablamos de consumo indirecto en el sentido expuesto anteriormente, es decir, la cantidad de agua consumida de forma indirecta es la “compra” de agua realizada, esto es, la cantidad de agua que ha sido necesaria emplear por un determinado sector para generar un producto o servicio que será comprado por otro sector y empleado como input en el proceso productivo de este último.

Una vez obtenida la matriz de agua, se pueden obtener dos matrices más, la matriz de coeficientes técnicos de agua (Q) (tabla 2) y la matriz de coeficientes de distribución de agua (L) (tabla 3)⁶. La primera de ellas, leída por columnas, indica la cantidad de agua que cada sector i le compra al sector j ; la matriz de coeficientes de distribución, leída por filas, da una referencia sobre la cantidad de agua vendida por el sector i al resto de sectores.

⁶ Los elementos de estas dos matrices se pueden obtener a través de los vectores de consumo directo, definidos anteriormente, y de los correspondientes elementos de la matriz de coeficientes técnicos y de la matriz de coeficientes de distribución. El lector interesado puede ponerse en contacto con la autora de este trabajo.

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																									
2 Hortalizas y frutas	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
3 Agrios	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
4 Cultivos industriales	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
5 Olivar	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
6 Otras producciones agrarias	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
7 Industria extractiva	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
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	0,000	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
10 Materiales construcción	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
11 Industria química, plásticos	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
12 Maquinaria	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
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	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000
14 Industria agroalimentaria	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
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	0,001	0,001	0,055	0,030	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
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	0,018	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	0,002	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
18 Papel, artes gráficas y edición	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
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	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20 Construcción	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	0,001	0,002	0,003	0,003	0,000	0,002	0,002	0,007	0,001	0,006	0,006	0,005
21 Comercio	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
22 Restauración y hostelería	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
23 Transporte y comunicaciones	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
24 Servicios destinados a venta	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
25 Servicios no 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
	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	0,000	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	0,000	0,000	0,000	0,003	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	0,000	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
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	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21 Comercio	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
22 Restauración y hostelería	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
23 Transporte y comunicaciones	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
24 Servicios destinados a venta	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
25 Servicios no 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
	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.

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 es más objetivo realizar el estudio sobre el grafo de influencia relativa⁷ que sobre el grafo de influencia absoluta, y se puede demostrar que dicho grafo está basado en la matriz de coeficientes de distribución⁸.

El análisis de las transacciones de agua se podría realizar desde tres perspectivas diferentes: un primer estudio en el que se estudiarían las relaciones intersectoriales de agua que se realizan de forma directa; otro en el que se estudiarían las relaciones indirectas y finalmente un tercer análisis jerárquico. En aras de la brevedad vamos a limitar nuestro estudio a este tercer caso, entendiendo que de él se pueden derivar los dos anteriores.

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 representan. 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%

Esta diferenciación dará lugar a cuatro grafos distintos. El grafo G recogerá todas las transacciones de agua. El grafo G1 recoge todas las relaciones menos las más débiles, es decir, se deduce cuando consideramos los coeficientes de distribución superiores a 1%. El grafo G5 representa las relaciones medias y fuertes; se tomarán pues los coeficientes superiores al 5%. Finalmente, el grafo G10 representaría únicamente las relaciones más fuertes dadas por los coeficientes superiores al 10%.

⁷ 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.

⁸ Entendemos que entre los diversos argumentos que se podrían dar para justificar la elección del grafo de influencia relativa, el razonamiento más claro 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. Se puede también argumentar esta justificación analíticamente. El lector interesado se puede poner en contacto con la autora de este trabajo.

El análisis jerárquico consiste en 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 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 (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 caminos⁹ 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 (N_1) estará formado por aquellos sectores *aislados* o *fuentes*¹⁰ del grafo resultante, una vez determinada la CFC. El nivel 2 (N_2) está compuesto por los sectores aislados o fuentes 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, de todos los grafos posibles, representamos únicamente el grafo jerárquico G_5 por ser el de mayor interés analítico

⁹ Esta matriz se obtiene para estudiar las relaciones indirectas y pone de manifiesto si existe, al menos, un camino entre los sectores i , j y sus elementos son k_{ij} .

¹⁰ Un sector es *fente*, según la terminología de la Teoría de Grafos, cuando son transmisores de influencia (en este estudio influencia mediante compras) pero ellos no reciben ninguna.

ya que la estructura está perfectamente jerarquizada sin existir ninguna componente fuertemente conexa. Este tipo de grafo hay que interpretarlo 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. Estos sectores son los que realizan el mayor consumo directo de agua y en el resto de sectores predomina el consumo indirecto.

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

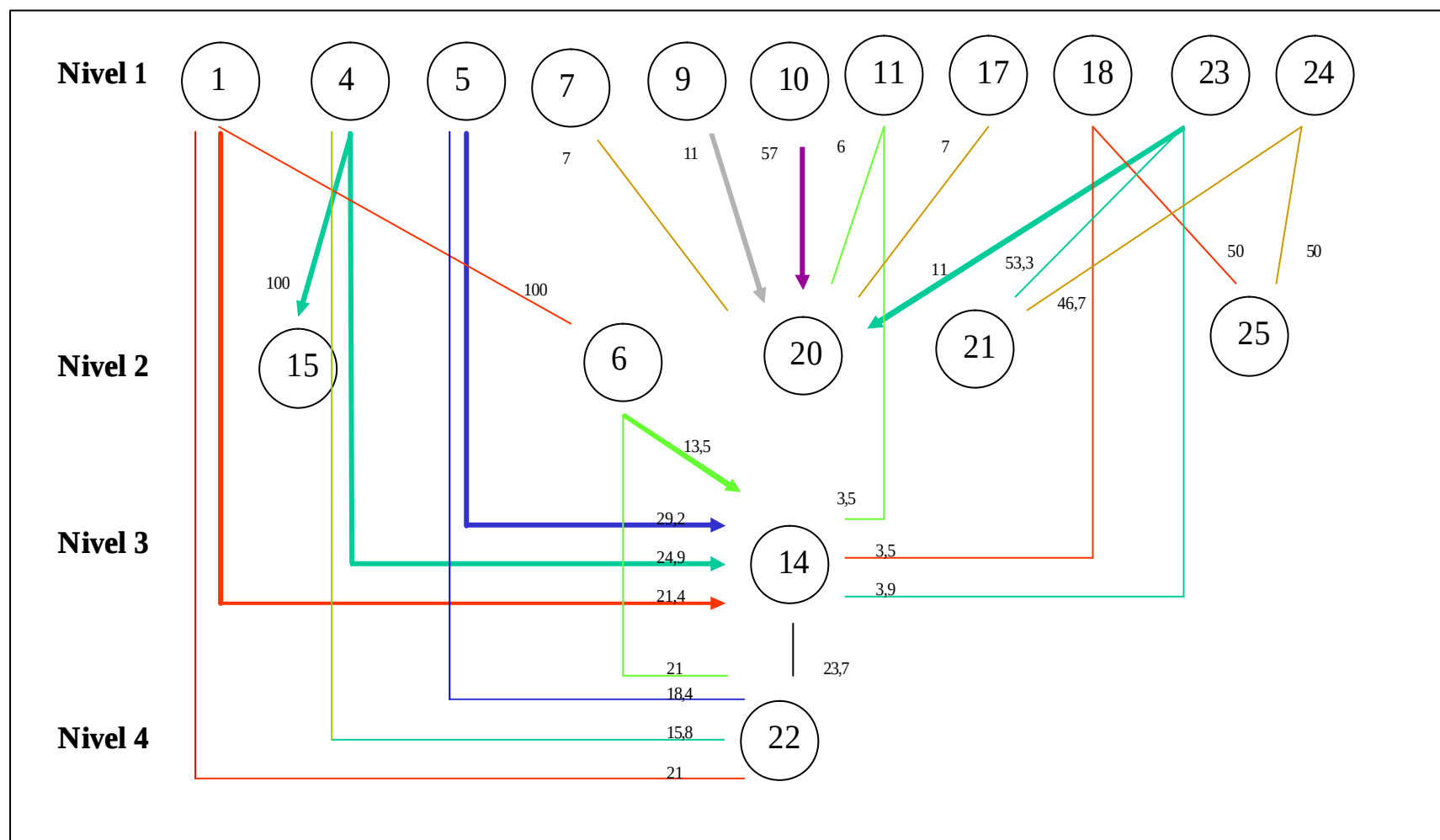
Es importante destacar, pues, que la industria agroalimentaria (14), la restauración y hostelería (22), la construcción (20) y, en menor medida, el textil y confección (15), si bien son fundamentales para la economía andaluza en términos de producción y empleo, son los sectores más consuntivos en términos de agua¹¹. 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. 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 derivan de cara a la política económica. En primer lugar, hay que reafirmar la adecuación de la metodología utilizada al fin propuesto. Entendemos que esta metodología mixta, combinando el modelo Input-Output ampliado con la Teoría de Grafos, resulta adecuada para analizar las relaciones que se establecen entre la estructura productiva y el consumo de recursos naturales; permite, así mismo, definir una jerarquía sectorial y por medio de ésta determinar la dependencia que tienen los diferentes sectores del agua; y muestra, finalmente, el circuito que sigue el recurso a través del sistema productivo andaluz.

¹¹ 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. El lector interesado puede contactar con la autora del mismo).

Gráfico 1. 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.

Como segunda conclusión, podemos definir el circuito del agua en la economía regional. El agua circula en la economía andaluza desde los sectores agrarios, pasando por sectores como la construcción y la industria textil, entre otros, hasta llegar a la industria agroalimentaria y a los servicios de restauración y hostelería.

Como tercera conclusión, podemos afirmar que existen sectores altamente consumidores de agua y que rara vez son considerados como tales. Nos estamos refiriendo nuevamente a la industria agroalimentaria, la construcción, textil y restauración y hostelería. 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. Es importante que los responsables políticos tengan en cuenta la existencia del alto consumo indirecto realizado por estos sectores y centren su atención también en ellos, y no únicamente en los sectores agrarios, como fuertes consumidores de agua.

Finalmente, podemos añadir una cuarta conclusión como respuesta a las preguntas que nos planteábamos al iniciar este estudio. Allí nos preguntábamos si el consumo de agua realizado por los sectores productivos de Andalucía podría llegar a influir de forma negativa en la conservación del recurso y en la propia economía. Al finalizar este análisis estamos en condiciones de responder afirmativamente a estas cuestiones. La estructura económica de Andalucía está basada fundamentalmente en los sectores de restauración y hostelería y en la industria agroalimentaria, con una fuerte incidencia también de los sectores agrarios así como una importancia coyuntural del sector de la construcción. Como se deriva de los resultados obtenidos en este estudio, son precisamente los sectores mencionados los que un mayor consumo de agua realizan, presentando en algunos casos un alto consumo directo (fundamentalmente agrarios) e indirectos en otros (agroalimentaria, construcción y restauración y hostelería). Este hecho es de especial relevancia pues coinciden los sectores denominados “motores” de la economía andaluza con los que realizan el mayor consumo de los recursos hídricos, hecho que perjudica la conservación de éstos, pudiendo incluso poner en peligro la propia sostenibilidad de la economía regional. Con estas conclusiones tratamos de hacer una llamada de atención sobre la importancia y la necesidad de considerar el consumo de recursos hídricos en la planificación económica regional. Es preciso considerar los aspectos medioambientales en toda política económica, en este caso el consumo de agua, no únicamente por los efectos que esto pueda tener sobre la conservación de los recursos, suficientemente importante ya de por sí, sino también por la propia sostenibilidad del sistema económico. El hecho de no asumir esta perspectiva hace que una región como Andalucía, donde el agua es escasa por múltiples y variados motivos, tenga una economía basada en sectores altamente dependientes de este recurso, siendo este hecho uno más de los factores que contribuyen a aumentar, si cabe, la escasez del mismo.

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.

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.

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, en 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.

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.

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.