

Cambio estructural regional y agua: escasez, dependencia e impactos sobre el tejido económico. El caso de Andalucía*

CARLOS DIONISIO PÉREZ BLANCO y CARLOS MARIO GÓMEZ GÓMEZ

Departamento de Fundamentos de Economía e Historia Económica

RUBÉN GARRIDO YSERTE

Departamento de Economía Aplicada

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, ESPAÑA

e-mail: dionisio.perez@uah.es; mario.gomez@uah.es; ruben.garrido@uah.es

RESUMEN

El agua es un input clave para la producción de numerosos bienes, y su escasez puede ser un factor limitante para el desarrollo regional. La gestión de este recurso en España ha estado caracterizada por medidas de oferta que han descuidado la conservación de los recursos hídricos así como la gestión de la demanda. El artículo utiliza la metodología HEM (Hypothetical Extraction Method) para caracterizar la importancia económica del uso del agua en Andalucía y mostrar la baja productividad en el principal demandante de agua, el regadío (86% de la demanda total). Se presentan alternativas capaces de garantizar un crecimiento sostenible incidiendo en la capacidad de los mercados para incentivar el uso sostenible y, al mismo tiempo, promover el cambio estructural del modelo de crecimiento.

Palabras clave: HEM, economía del agua, cambio estructural, ley de Verdoorn.

Structural Change and Water: Scarcity, Dependence and Impacts on the Economy. The Case of Andalusia

ABSTRACT

Water is a key input in the production of many goods and services, and its scarcity might become a critical limiting factor in regional development. Water management in Spain has historically prioritized supply increases at the expense of further degradations in the resource base and has disregarded the managing of water demand and efficiency. The paper aims at analyzing the economic importance of water use in Andalusia (Spain) and showing the lack of productivity in the main water consumer —irrigation land (86% of total demand) by using the HEM methodology. It also explores the importance of market instruments both to promote sustainability and change the current growth model.

Keywords: HEM, Water Economics, Structural Change, Verdoorn's Law.

Clasificación JEL: Q01, Q25, Q28, Q56, Q57.

Artículo recibido en mayo de 2010 y aceptado en agosto de 2010.

Artículo disponible en versión electrónica en la página www.revista-eea.net, ref. 28214.

* Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación su apoyo en el desarrollo de este artículo en el marco del Proyecto Consolider Tragua (CSD 2006-00044).

1. INTRODUCCIÓN

La Declaración de Dublín establece que el agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debe ser reconocido como un bien económico. El fallo en el pasado de reconocer este valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante para conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos (Declaración de Dublín, 1992).

La provisión de agua para las actividades económicas es en última instancia un servicio de los ecosistemas hídricos. Cualquier gestión sostenible de estos servicios exige mantener la capacidad del recurso para proveer a la sociedad de tales servicios y su gestión se ha de resolver para cada una de las cuencas dentro de un modelo integrado. Al tratarse de servicios del capital natural, estos servicios tienen un valor local fuertemente vinculado al territorio en que se producen y carecen de la movilidad a costes económicamente sostenibles que caracteriza los servicios del capital físico o del capital humano. El valor local del agua se traduce en rentas importantes que, por ejemplo, explican las diferencias en la rentabilidad del secano o el regadío o los diferentes costes de provisión de agua potable en función de la cantidad y calidad de los recursos disponibles en cada punto del territorio. Dadas estas diferencias, existen ganancias potenciales de la reasignación interterritorial del agua, pero las alternativas para conseguir las, tales como trasvases, suponen costes elevados que las hacen económicamente insostenibles tanto por los elevados costes de transporte como desde la perspectiva de la economía institucional (conflictos interregionales, como los experimentados en España en los últimos años). Las fuentes alternativas a las aguas subterráneas o superficiales, tales como las aguas desaladas o regeneradas, aunque con menor coste ambiental o de escasez, no son competitivas con los precios corrientes del agua. Por todo ello el agua sigue siendo básicamente un recurso no móvil cuyo valor sólo es relevante en el territorio en que se produce. La mayor o menor disponibilidad de agua es esencialmente una ventaja o desventaja comparativa que puede explicar diferencias importantes en el desarrollo regional.

Andalucía es la región más árida de España, con sequías recurrentes y una situación estructural de escasez¹. Andalucía acumula el 17.2% del territorio y el 17.8% de

¹ La Junta de Andalucía reconoce la “normalidad” de las sequías (que han de entenderse como “un fenómeno recurrente e impredecible en su intensidad y duración, que se repite periódicamente”), pero advierte que este fenómeno puntual no se puede confundir con la escasez de agua, una situación estructural y permanente, en la que se señala explícitamente como causante al déficit hídrico insostenible generado por el regadío, especialmente en la cuenca del Guadalquivir (Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2003), que abastece el 60% de la demanda en Andalucía. Este mismo documento advierte sobre la incompatibilidad de esta composición sectorial con un desarrollo sostenible en el tiempo, por los importantes efectos sobre el abastecimiento urbano, la calidad am-

la población de España, pero sólo aporta el 13.8% del PIB nacional, con una renta un 22.4% inferior al promedio nacional (INE, 2010) y una tasa de desempleo superior a la media (27.2% en Andalucía por el 20.05% en España (INE, 2010)). Esta estructura económica da lugar a una distribución sectorial en la que la agricultura tiene un peso significativo y superior al promedio español. La agricultura supone el 4.2% del PIB andaluz (2.5% promedio de España) y genera el 7% del empleo (4% en España), pero está perdiendo competitividad con el resto de España (la productividad en Andalucía aumentó un 23% en el período 2000-2008, pero el promedio español lo hizo un 27%) y frenando la convergencia (el diferencial en productividad global entre Andalucía y España apenas se recortó un 1%). Estas bajas productividades son extensivas al agua, como se verá más adelante, recurso que en Andalucía tiene índices de explotación por encima de la media nacional y europea: La demanda de agua en el regadío andaluz está un 20% por encima de la media nacional (INE, 2000), y es una de las regiones con mayor Índice de Explotación del Agua² de Europa, que alcanza el 164% (European Environment Agency, 2009).

En otras palabras, el medio agrario se está empobreciendo en Andalucía frente a España, y a cambio las mejoras comparativas en productividad en el conjunto de la economía son escasas. Como resultado de las reducidas mejoras en la productividad por trabajador y la baja tasa de ocupación andaluza (del 39.7% en 2007, frente al 47.8% nacional), el PIB por habitante de la región permanece estancado frente al promedio nacional en el período analizado. Además, el agua sigue concentrada en la agricultura (entre el 80 y el 86% de la demanda de agua de Andalucía en promedio se destina a regadío (Agencia Andaluza del Agua, 2009)) y persiste la escasez y el deterioro de la calidad del activo, un freno adicional para el crecimiento. Motivado por esta situación estructural, el artículo estudia los flujos intersectoriales de agua en la economía y la evaluación de las productividades en los distintos sectores con el objetivo de determinar si la actual distribución de los usos del agua es un freno potencial al desarrollo y evaluar las ganancias que podrían obtenerse de un cambio estructural en la región.

Para la medición de los flujos intersectoriales en la demanda de agua se utiliza un análisis por agregados sectoriales siguiendo la metodología del *Hypothetical Extraction Method* (Strassert, 1968; y Cella, 1984), partiendo de las tablas input-

biental y el correcto desempeño de actividades económicas clave para el desarrollo (industria, servicios).

² El Water Exploitation Index (WEI) se calcula como el cociente entre la extracción media anual de agua dulce y la media en el largo plazo de recurso disponible (precipitaciones medias en el largo plazo menos evapotranspiración media en el largo plazo más flujos medios de agua en el largo plazo de países del entorno) (European Environment Agency), y actúa como indicador de la presión que la extracción de agua ejerce sobre el capital hídrico disponible, permitiendo identificar los países o regiones que tienen mayores posibilidades de sufrir estrés hídrico. Un índice por encima del 20% indicaría presencia de estrés hídrico; sobre el 40%, el WEI indica una fuerte competencia por el agua (algunos expertos piensan que este umbral es exigente en exceso, y que se podría llevar al 60%; otros creen que por encima del 40% los ecosistemas no pueden mantenerse saludables (Alcamo *et al.*, 2000).

output para Andalucía correspondientes al año 2000³ (Instituto de Estadística de Andalucía, 2008), conjuntamente con los datos de las Cuentas Satélite del Agua para el mismo año (últimos datos publicados en el INE). Tales datos permiten observar el flujo del insumo entre los distintos sectores y discernir qué sectores son más o menos eficientes en función del agua consumida directa e indirectamente. Se analiza el impacto que la estructura económica andaluza (con un sector agrario de un peso relativo mayor que la media nacional) tiene sobre el desarrollo regional y el consumo de agua, y se prueba la existencia de una ley de Verdoorn⁴ para el agua en el sector industrial, lo que ilustra la polaridad presente en Andalucía: frente a un sector agrario poco productivo que demanda grandes cantidades de agua por euro de valor añadido generado (medido en metros cúbicos de agua por euro de VAN), hay otros sectores más eficientes en el uso de este recurso cuyo ratio agua-valor añadido es inferior y decreciente en el tiempo.

Los resultados muestran que la agricultura es el sector más ineficiente en el uso del agua atendiendo a la productividad promedio por sectores⁵. El análisis permite observar también los importantes “flujos” de agua existentes entre los distintos sectores de la economía andaluza analizados, lo que implica que cualquier actuación sobre el sector agrario tiene consecuencias sobre el resto de sectores, por lo que es importante conocer previamente cómo estos interactúan intercambiando agua a través de sus productos.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la segunda sección presenta los fundamentos teóricos de macroeconomía regional necesarios para entender los resultados empíricos del artículo en un contexto de crecimiento cuyo motor son las ganancias en la productividad que podrían derivarse de un cambio estructural. El tercer apartado presenta el *Hypothetical Extraction Method* (HEM) (Strassert, 1968; y Cella, 1984), metodología utilizada para cuantificar el consumo sectorial directo e indirecto de agua. El cuarto apartado presenta la aplicación de esta metodología al caso de estudio (Andalucía). Finalmente, el quinto apartado analiza la importancia de la composición sectorial en la eficiencia en el uso del agua, presentando la *ley de Verdoorn* para el agua. El sexto apartado concluye.

³ Los datos empleados proceden de la contabilidad nacional oficial (INE). Esto supone que en la medición del valor añadido se omiten valores como las rentas públicas y las ambientales en los sectores agrícola y forestal, que las cuentas macro de la economía no consideran.

⁴ La ley de Verdoorn se refiere a la relación entre el crecimiento de la producción y el crecimiento de la productividad. De acuerdo a esta ley, un crecimiento más rápido de la producción incrementa la productividad gracias a la existencia de rendimientos crecientes en la economía. El cociente entre la tasa de crecimiento de la productividad y la tasa de crecimiento de la producción se conoce como *coeficiente de Verdoorn* (Verdoorn, 1949; Kaldor, 1966).

⁵ Hay que resaltar que dentro del sector agrícola existe un importante dualismo, que no queda patente en nuestro análisis dado que este actúa al nivel de agregados sectoriales. En efecto, en Andalucía hay comarcas cuyo margen bruto variable se sitúa por debajo de los 2000€/ha (fundamentalmente en Jaén y Córdoba), pero también existen un gran número de comarcas cuyos márgenes son superiores a los 10,000€/ha (destacando especialmente aquí los viveros almerienses) (Universidad de Alcalá de Henares y M° de Medio Ambiente, 2009).

2. DESARROLLO Y CAMBIO ESTRUCTURAL

Si bien la perspectiva neoclásica tradicional ha tendido a ignorar la importancia de la composición sectorial en el crecimiento económico, es innegable el impacto asimétrico que factores como las economías de escala (Rosenstein-Rodan, 1961 y Murphy, Shleifer y Vishny, 1989), las complementaridades, los eslabonamientos entre sectores (Hirschman, 1958), los cambios tecnológicos heterogéneos, etc. tienen sobre la estructura productiva y el crecimiento económico. Tampoco puede ignorarse que, en este contexto, algunas actividades tienen mayor potencial para favorecer el crecimiento económico en mayor medida que otras.

La diversidad sectorial, especialmente en cuanto a sus productividades relativas y su distancia a la frontera de eficiencia, es un factor clave para entender el crecimiento económico a partir de las interacciones entre sectores con dinámicas divergentes (Paci y Pigliaru, 1997). Estos autores encuentran en el dualismo de las economías europeas, entendido como la coexistencia de sectores agrícolas tradicionales con otros sectores modernos más productivos, el motor de la convergencia (motor que opera mediante la transferencia de factores tales como trabajadores —o agua— desde los sectores con menor productividad a los de mayor productividad). De esta manera, la concentración de mano de obra en la agricultura puede ser un indicador del potencial de crecimiento en la productividad regional (Paci y Pigliaru, 1997), y con ello de las posibilidades de convergencia. Este proceso tiene una dinámica variable en función de la región y período temporal considerado, y su efectividad depende en gran medida del rol del sector público y del efecto que sus actuaciones tengan sobre las productividades financieras de los factores (incluidas las subvenciones, entre ellas las agrícolas). Garrido (2002) identifica el cambio estructural como el principal factor explicativo del crecimiento y la convergencia regional también en España. En el mismo sentido, las diferencias regionales de la estructura productiva pueden aportar una explicación de las diferencias entre niveles de desarrollo entre regiones. Desde esta perspectiva Andalucía, con un mayor peso del sector agrícola (4.2% del PIB, frente al 2.5% de España en promedio), un sector servicios dual⁶ y un sector industrial comparativamente menos desarrollado (7.9%, frente al 13.3% en promedio de España (INE, 2009)), parte en una situación de desventaja pero cuenta con la posibilidad de acelerar el proceso de *catching up*.

No obstante, la estructura productiva andaluza depende en gran medida de ayudas y subvenciones públicas (Política Agraria Común⁷, Plan de Empleo Rural⁸ y

⁶ A pesar de que el sector servicios andaluz es similar en tamaño al promedio español (64.1% y 62.6%, respectivamente), su desarrollo ha venido motivado en parte por la ausencia histórica de un sector industrial que pudiera absorber el excedente de mano de obra agrícola, lo que ha propiciado la aparición de determinados servicios de productividad reducida (junto a otros de elevadas productividades) que tienden a reproducir las condiciones de equilibrios de bajo nivel y frenan el crecimiento (Delgado Cabeza, 1981).

⁷ La Política Agraria Común es la principal partida presupuestaria de la Unión Europea, con un gasto total de 43,000 millones de euros en 2009, el 41.3% del presupuesto, a los que hay que añadir otros 13,000 millones en fondos para el desarrollo rural. España es el segundo mayor beneficiario de la

otras ayudas complementarias) que aportan incentivos financieros para el mantenimiento de una estructura económica de baja productividad. En una situación como esta el potencial de convergencia en PIB en forma de empleo agrícola e insumos hídricos acumulados en la agricultura se ve afectado importantemente, lo que incide directamente en la disponibilidad de un recurso como el agua, que sigue concentrado en un sector comparativamente poco productivo.

Andalucía en el período 2000-2008 ha disminuido en un 42% (INE, 2009) el peso del sector agrario-pesquero sobre el PIB total de la región (del 7.2% al 4.2%), mientras que el número de empleados en este sector ha caído un 34% (del 11% al 7%). Para España en el mismo período se observa una caída del peso del sector sobre el PIB total menor, del 36% (del 4% al 2.5%), mientras que el peso del empleo agrario-pesquero en la economía nacional ha disminuido un 32% (del 7% al 4%), porcentaje muy cercano al andaluz. Las diferencias entre ambas tasas (peso relativo del PIB y peso relativo del empleo) entre España y Andalucía no indican que esta región esté aprovechando su potencial de convergencia; de hecho, el PIB per capita en este período se mantiene estable, y el diferencial de productividad apenas se recorta un 1% (INE, 2009).

Esta región está disminuyendo en mayor medida la producción que el empleo rural, lo que significa que la productividad de los factores en el sector ha crecido más lentamente (incluso a tasas negativas) respecto a la media nacional (en el 2000 la productividad del sector agrícola, ganadero y pesquero en Andalucía era un 2% superior a la nacional, mientras que en el 2007 ya era un 2% inferior (INE, 2009)), entre ellos el agua (como se verá más adelante). Esto no se amolda a los preceptos de convergencia anteriores, que subrayan la importancia de una transferencia **relevante** de los factores productivos desde los sectores tradicionales a otros más productivos para lograr convergencia vía mayor productividad.

Andalucía comprende cinco cuencas hidrográficas: Guadalquivir, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Cuencas Atlánticas Andaluzas, Guadiana y Segura, siendo las dos últimas marginales al estar el consumo mayoritariamente concentrado en las del Guadalquivir, Cuencas Atlánticas Andaluzas y las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (conjuntamente suman el 99.71% del consumo, 98.85% de la población y 95.5% del territorio⁹). El uso más importante en esta comunidad es el regadío, que en el 2001 suponía aproximadamente entre el 80% y el 86% de la demanda de servicios de suministro de agua en las principales cuencas (en la cuenca del Segura y la del Guadiana su importancia es aún superior, 87%¹⁰). Por tanto el peso relativo de la agricultura

PAC y percibió 7,432 millones de euros en 2009, de los cuales 1870 millones de euros fueron a parar a Andalucía (Comisión Europea, 2010).

⁸ Actualmente se conoce como Programa de Fomento del Empleo Agrario-Acuerdo para el Empleo y la Protección Social Agrarios (AEPSA). Este fondo supuso unos gastos de 139.2 millones de euros en Andalucía en 2008 (Observatorio Andaluz de Empleo Agrario, 2010).

⁹ Agencia Andaluza del Agua (<http://www.juntadeandalucia.es/agenciadelagua/portalweb>).

¹⁰ Todos estas cifras están extraídas de estadísticas oficiales, y por tanto no tienen en cuenta la explotación ilegal de recursos hídricos, fundamentalmente de acuíferos, que han derivado en una “insu-misión hidrológica” en la que agricultores de zonas áridas y semiáridas de España han perforado

en la demanda de agua dentro de esta región se sitúa por encima de la media nacional, ya de por sí elevada (66%), mereciendo una especial atención su análisis. Más adelante mostraremos la escasa productividad del agua en este sector.

Para la agricultura de regadío el agua es un insumo básico que se demanda en grandes cantidades, tanto en términos absolutos (metros cúbicos totales) como comparativos (en relación a otros sectores de la economía). El agua consumida por el regadío supone en Andalucía más del 86% del suministro total¹¹ (INE, 2008), por lo que constituye la partida sobre la que más se puede incidir si se desea ahorrar agua. Este recurso proviene en un 71.4% de reservas superficiales y en un 27.3% de acuíferos (INE, 2008), lo que ha provocado el gradual agotamiento de estos últimos, así como problemas ambientales derivados de la salinización en determinados territorios costeros¹² (Environmental European Agency, 2009). La cantidad total demandada depende fundamentalmente del ciclo hidrológico, el tipo de cultivo y el valor añadido del mismo (Gómez et. al, 2007), siendo esta última variable clave a la hora de explicar el crecimiento del regadío en determinadas regiones europeas como Andalucía, donde las subvenciones y la intervención pública en el sector (cabe destacar aquí que el 27% de los regadíos andaluces responden a iniciativas públicas) han alterado artificialmente el funcionamiento del mercado.

Por otra parte, las elevadas rentabilidades financieras han propiciado además que se mantenga un elevado porcentaje de sistemas de riego ineficientes, como el riego por gravedad, que se utiliza en más del 40% de la superficie irrigada. A pesar de ello, la mejora de la técnica de riego como método de ahorro de agua es una alternativa arriesgada. La aplicación de estas medidas sin la puesta en marcha de actuaciones complementarias sobre precios y cantidades puede generar efectos rebote que en ocasiones conducen a incrementos en la demanda del activo (paradoja de Jevons o efecto Khazzoom-Brookes (Gómez, 2009)).

Adoptando un enfoque de desarrollo económico vía cambio estructural (Rosenshtein-Rodan, 1961; Murphy, Shleifer y Vishny, 1989; Garrido, 2002), una estrategia de crecimiento sostenible debe tratar de conciliar una política agrícola que persiga

millones de pozos de los que extraen aproximadamente entre 700 y 1,000 km³ al año en todo el país (Ramón Llamas, 2007).

¹¹ Suministro de agua en Andalucía, año 2000 (miles de metros cúbicos). Fuente: INE (www.ine.es)

2000		
Agua de regadío	Agua potable y no potable	TOTAL
4 789 676.00	755 606.00	5 545 282.00

¹² Este fenómeno es consecuencia del descenso gradual del nivel de agua de los acuíferos costeros, que provoca la entrada de agua de mar. Los causantes de la salinización de los acuíferos son la demanda de agua para el regadío y la oferta pública de agua, de especial incidencia en zonas turísticas. El área más afectada en Europa es la costa mediterránea y la costa atlántica andaluza (EEA, 2009).

objetivos vinculados a la renta pública y ambiental¹³ (las subvenciones explican la concentración de la oferta de agua en el sector a pesar de las bajas productividades) con la liberación de recursos hídricos y de otra índole (fundamentalmente, financieros¹⁴) para los sectores más competitivos de la economía, facilitando así el proceso de convergencia. Compatibilizar estos objetivos requiere de indicadores integrados que nos permitan medir ambas rentas, las convencionales capturadas en el PIB y las omitidas.

3. EL AGUA Y LA DINÁMICA DE DESARROLLO REGIONAL. LA METODOLOGÍA HEM

Los desarrollos empíricos de este trabajo se cimentan sobre la metodología input-output. Las Tablas Input Output (TIO) permiten recoger las relaciones entre los distintos sectores de la economía y agregados macroeconómicos como el comercio exterior (entendiendo el concepto *interior* como la región de referencia, que puede ser una nación o una comunidad autónoma, como es el caso), la demanda final o el valor añadido bruto. Esta metodología incide en la localización de sectores clave que puedan actuar como “motores” de la economía, a través de la cuantificación de los eslabonamientos hacia delante y hacia atrás¹⁵ (Hirschman, 1958; Chenery y Watanabe, 1958; y Rasmussen, 1956).

Continuando esta línea de investigación Strassert (1968) y Cella (1984) desarrollan el *Hypothetical Extraction Method* (HEM) a partir de la metodología input-output. El HEM compara la producción total con y sin la presencia de un determinado sector, de manera que se puede obtener la importancia relativa de dicho sector

¹³ Con el término “ambiental” nos referimos a todos los bienes y servicios de no mercado.

¹⁴ La escasez en Andalucía es una problemática que se ha combatido recurriendo a medidas de oferta que suponen importantes desembolsos por parte del erario público. Así, desde 1990 únicamente se ha aprobado un documento que planteara el problema desde la perspectiva de la demanda (*Propuestas sobre la Prevención de Sequías en Andalucía*, Agencia Andaluza del Agua, 2003), mientras que por otro lado se ha invertido para incrementar la capacidad de regulación de los embalses en un 17.9% hasta 2005 (llegando a los 3504 Hm³/año); además se han destinado 203.3 millones de euros a la construcción de plantas desalinizadoras (que suministran 91.1 Hm³/año a un coste tan elevado que únicamente es rentable en época de sequía), 428 millones de euros en la de nuevas estructuras de abastecimiento urbano y mejoras de las ya existentes y 77.6 millones de euros en obras de emergencia ligadas a la escasez en zonas urbanas.

A pesar de estas medidas, el problema de la escasez persiste y se acentúa en determinadas provincias, volviéndose a repetir las mismas actuaciones para tratar de solventarlo (desde 2005 hay en construcción embalses para aumentar la capacidad de regulación en un 14.7%). Este tipo de inversiones se muestran aún menos eficientes si tenemos en cuenta que el producible hidroeléctrico en 1999 se situaba por debajo del de 1920 (Gómez, 2009), lo que implica que el objetivo de estas obras se reduce a la regulación hidrológica y no tiene otra finalidad productiva.

¹⁵ La importancia de la medición de los eslabonamientos dentro de una economía radica, según la teoría del desarrollo, en que el crecimiento económico se alcanza invirtiendo en sectores con un importante efecto enlace (esto es, fuertes eslabonamientos hacia delante y/o hacia atrás) (Hirschman, 1958).

en la economía. La relación de este sector con el resto del tejido productivo se mide a través de los eslabonamientos hacia delante y hacia atrás y los efectos mixtos e internos que obtiene Cella (1984) (el Anexo 1 recoge toda la formulación matemática para llegar a este punto):

$$\text{Efecto interno: } i'(I - A)^{-1}y_s$$

$$\text{Efecto mixto: } i'[\Delta_{s,s} - (I - A_{s,s})^{-1}]y_s$$

$$\text{Eslabonamiento externo o neto hacia atrás: } i\Delta_{-s,s}y_s$$

$$\text{Eslabonamiento externo o neto hacia delante: } i'\Delta_{s,-s}y_{-s}$$

Siendo i un vector unitario, I la matriz identidad, A la matriz de coeficientes técnicos del sector o bloque referido (cociente entre los consumos intermedios y la producción total a precios básicos en cada sector/bloque), y_i el vector de demandas finales y Δ la matriz inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$ (Duarte *et al.*, 2002).

Para insertar la demanda de agua en este mecanismo seguimos los pasos de Duarte *et al.* (2002), que ponderan las matrices en función del consumo de agua relativo efectuado por cada sector (para lo cual sustituimos el vector de precios unitarios, i , por un vector de consumo relativo de agua, c), diferenciando el tipo de demanda a la que nos referamos (distinguiremos entre regadío y agua potable, que concentran el 93% del consumo en Andalucía).

Los datos necesarios para efectuar este paso se obtienen de las Cuentas Satélite del Agua (CSA) para Andalucía en el año 2000, disponibles en el Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es).

Sustituyendo, construimos los coeficientes de consumo de agua que nos interesan, para poder efectuar un análisis por agregados del consumo de agua en Andalucía (Cella, 1984):

$$\text{Efecto interno: } c_s'(I - A)^{-1}y_s$$

$$\text{Efecto mixto: } c_s'[\Delta_{s,s} - (I - A_{s,s})^{-1}]y_s$$

$$\text{Eslabonamiento externo o neto hacia atrás: } c_{-s}\Delta_{-s,s}y_s$$

$$\text{Eslabonamiento externo o neto hacia delante: } c_{-s}'\Delta_{s,-s}y_{-s}$$

donde c es el vector de inputs unitarios de agua empleados por cada bloque.

En nuestro caso, el **efecto interno** mide qué parte del agua demandada es empleada directamente por el bloque para obtener sus inputs; el **mixto** qué parte de este agua es empleada en la producción de inputs incorporados en procesos productivos de otros bloques y posteriormente adquiridos de nuevo; los **eslabonamientos netos hacia atrás** miden la demanda de agua correspondiente a los inputs procedentes de otros sectores ajenos al bloque e incorporados en el proceso productivo; y los **eslabonamientos netos hacia delante** miden la demanda de agua del bloque que pasa como input a otros sectores y no retorna.

Estos efectos se agrupan posteriormente, de manera que obtenemos el *efecto directo* y el *efecto integrado verticalmente*. El consumo directo es la suma de efectos mixtos, internos y eslabonamientos netos hacia delante, es decir, el agua empleada en el bloque para satisfacer su demanda y la utilizada para satisfacer la de otros bloques (en la producción de inputs para estos últimos). Por otro lado, el efecto verticalmente integrado es la suma de efecto interno, mixto y eslabonamientos netos hacia atrás, esto es, el agua asociada con la demanda final de un determinado bloque, ya sea esta directa (empleada dentro del bloque) o indirecta (consumida en otros bloques para satisfacer la demanda de éste).

De esta manera, bloques con un consumo verticalmente integrado superior al directo se caracterizan porque exigen que el resto de la economía consuma agua para ellos, mientras que lo contrario implica que estamos ante sectores que fundamentalmente transfieren agua al resto de la economía (Cella, 1984).

A la hora de evaluar los datos sectoriales de consumo de agua correspondientes a Andalucía, la información de las CSA no aparece desagregada por ramas de actividad a nivel regional, por lo que se requieren una serie de pasos intermedios. Asumiendo que la demanda relativa de agua por sectores para toda España tiene un carácter estructural para una tecnología homogénea dentro del territorio nacional¹⁶, introducimos unos coeficientes de ajuste basados en el uso relativo de agua por sectores a nivel nacional (cociente entre el agua empleada en el bloque s y el agua empleada para el total de usos intermedios); el resultado es posteriormente ponderado atendiendo al peso relativo del bloque a nivel autonómico en relación al peso relativo a nivel nacional (cociente entre el porcentaje del peso del bloque en la región y el porcentaje del bloque a nivel nacional). El valor resultante es multiplicado por el total de agua empleada en usos intermedios en Andalucía y posteriormente dividido por la producción a precios básicos del sector correspondiente, obteniéndose los coeficientes c , un vector de inputs unitarios de agua. Este se utiliza para desagregar el consumo absoluto de agua en Andalucía por bloques, de manera que podamos trabajar con la metodología anteriormente enunciada.

Este proceso es empleado únicamente para el caso del agua potable, ya que el agua de regadío tiene la ventaja de concentrarse en un único sector (agrícola), por lo que no es necesario imputarle ningún coeficiente de ajuste.

4. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN ANDALUCÍA Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS Y ESLABONAMIENTOS INTERSECTORIALES

En lo que sigue desarrollamos la aplicación para Andalucía de la metodología del *Hypothetical Extraction Method* introducida en el apartado anterior. Los datos para

¹⁶ Asunción coherente tanto empíricamente como con nuestro modelo teórico, en el que consideramos que las brechas tecnológicas son de carácter intersectorial y no intrasectorial.

la obtención de los coeficientes de la matriz de Leontief proceden de la Tabla Input Output de Andalucía correspondiente al año 2000 (Instituto Nacional de Estadística, 2000), mientras que el vector de consumos de agua sectorial, c , se ha construido a partir de estos mismos datos y de los valores de consumo absoluto de agua extraídos de la Cuenta Satélite del Agua (Instituto Nacional de Estadística, 2000), de la manera descrita en el apartado anterior.

Siguiendo a Duarte et al. (2002), agrupamos la matriz input output en los siguientes bloques:

- Bloque 1 (B1): Agricultura, ganadería y caza, selvicultura y pesca.
- Bloque 2 (B2): Extracción y refino de minerales, extracción de otros productos minerales, extracción de combustibles, captación, depuración y distribución de agua, producción y distribución de agua, gas y energía.
- Bloque 3 (B3): Alimentos, bebida y tabaco.
- Bloque 4 (B4): Textil, cuero y calzado, madera y corcho, papel y artes gráficas, otros productos minerales no metálicos.
- Bloque 5 (B5): Industria química, del caucho y materias plásticas, metalurgia y manufactura de productos metálicos, maquinaria y equipo mecánico, equipo eléctrico y electrónico, material de transporte y otras industrias manufactureras.
- Bloque 6 (B6): Construcción.
- Bloque 7 (B7): Otros servicios.

A continuación mostramos los resultados más relevantes obtenidos para el caso de Andalucía:

TABLA 1
Efectos y eslabonamientos por bloques de actividad económica para el agua de regadío (miles de metros cúbicos).

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Total
Efecto interno	2 855 697	0	0	0	0	0	0	2 855 697
Efecto mixto	85 059	0	0	0	0	0	0	85 059
Eslabonamientos netos hacia atrás	0	27 180	3 445 710	119 722	146 363	150 536	1 161 720	5 051 231
Eslabonamientos netos hacia delante	5 051 231	0	0	0	0	0	0	5 051 231
Efecto integrado verticalmente (Consumo verticalmente integrado)	2 940 756	27 180	3 445 710	119 722	146 363	150 536	1 161 720	7 991 987
Efecto directo (Consumo directo)	7 991 987	0	0	0	0	0	0	7 991 987

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2
Efectos y eslabonamientos por bloques de actividad económica para el agua potable
(miles de metros cúbicos).

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Total
Efecto interno	29 128	26 587	17 272	8 365	58 560	7 068	103 546	250 526
Efecto mixto	868	1 229	592	227	3 743	74	5 062	11 795
Eslabonamientos netos hacia atrás	7 502	6 125	52 001	10 297	31 618	39 569	59 203	206 315
Eslabonamientos netos hacia delante	51 522	61 024	5 538	17 714	45 046	1 349	24 121	206 315
Efecto integrado verticalmente (Consumo verticalmente integrado)	37 498	33 941	69 865	18 889	93 921	46 711	167 811	468 636
Efecto directo (Consumo directo)	81 518	88 840	23 402	26 306	107 349	8 491	132 729	468 636

Fuente: Elaboración propia.

Coefficientes absolutos

El **agua de regadío** (Tabla 1) supone **más del 86% del consumo de agua** en Andalucía, por lo que la agricultura de regadío es un bloque clave de cara al desarrollo de políticas de ahorro del recurso.

En la Tabla 1 destaca la relevancia del consumo directo de agua del primer bloque (que en este caso equivale al sector agrícola para el regadío), que es hasta 2.7 veces superior al consumo verticalmente integrado, lo que evidencia el papel de la agricultura como suministrador de agua para el resto de la economía. Ningún otro bloque tiene un consumo directo positivo, estando su demanda de agua compuesta únicamente por eslabonamientos netos hacia atrás, “importaciones” de agua del sector agrícola a través de bienes que incorporan en sus procesos productivos; destaca aquí el bloque que comprende a la industria alimentaria, principal demandante de inputs de la agricultura. Esta situación es un caso extremo en el que el 100% del efecto enlace (eslabonamientos) está concentrado en un único sector (agricultura), y en concreto en un único tipo de aprovechamiento dentro de este sector (agricultura de regadío). Para el agua potable todos los sectores tienen un consumo directo y un consumo verticalmente integrado positivos, cuyo saldo nos indica si estos sectores son oferentes o demandantes netos de agua.

Si bien para satisfacer la demanda directa sobre el sector agrícola no hay prácticamente intercambios de agua con el resto de la economía (dentro del consumo verticalmente integrado el 97% proviene del efecto interno, mientras que los eslabonamientos netos hacia atrás son nulos y el peso de los efectos mixtos es marginal), se observa una gran dependencia del resto de bloques de las “exportaciones” de agua desde la agricultura; en efecto, si analizamos los eslabonamientos netos hacia delante, observamos que estos representan el 62.9% del consumo directo y el

62.3% del consumo de agua total dentro del bloque. *El bloque 1 asume el rol de abastecer de agua indirectamente al resto de los sectores; esto implica que políticas que actúen sobre la demanda de agua del sector agrícola afectarán al coste relativo de los factores del resto de la economía a través de los importantes eslabonamientos hacia delante desde el sector agrícola.*

La tabla 2 recoge los resultados correspondientes al consumo de **agua potable** para los distintos bloques en los que hemos dividido la economía. El primero, segundo, cuarto y quinto bloques son oferentes netos de agua, mientras que el resto de bloques en los que hemos catalogado la economía serían demandantes netos de agua (con un consumo verticalmente integrado superior al consumo directo).

El primer bloque y el segundo tienen una estructura muy similar, caracterizada por un importante efecto de los eslabonamientos netos hacia atrás (que suponen el 63% y 69% del consumo directo total respectivamente). En el tercer bloque destacan los eslabonamientos netos hacia atrás, que suponen el 74% del consumo verticalmente integrado, una situación bastante similar a la de la construcción. Esto se explica porque ambos sectores adquieren gran cantidad de su agua potable a través de los inputs adquiridos a otros sectores de la economía. En el caso del bloque correspondiente a otros servicios (Bloque 7), aunque el peso del consumo verticalmente integrado es igualmente importante, éste depende en mayor medida del efecto interno, lo que indica que la mayor parte del consumo de agua se efectúa dentro del propio bloque. El cuarto bloque tiene un peso muy reducido en el consumo de agua, tanto en el directo como en el integrado verticalmente. Los efectos internos y mixtos son despreciables, y priman fundamentalmente los eslabonamientos hacia delante y hacia atrás. El quinto bloque es el que presenta un mayor equilibrio entre consumo directo e integrado verticalmente, si bien predomina el primero. Se trata de un sector intermedio importante tanto en la “importación” como en la “exportación” de agua desde y hacia otros bloques, así como en el consumo interno. No obstante, la relevancia del efecto mixto es muy reducida.

Atendiendo a las cifras totales, la cantidad más significativa de agua potable es obtenida desde dentro del propio bloque (efecto interno), seguido por los eslabonamientos hacia delante y hacia atrás, mientras que la relevancia del efecto mixto es muy reducida.

El análisis anterior permite identificar la cantidad de agua consumida por cada sector y cómo se produce dicho consumo. Para un análisis comparativo es más útil obtener valores relativos como los que arroja la tabla 3:

TABLA 3
Valores relativos de los efectos.

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Media
Agua de regadío	Efecto interno	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	Efecto mixto	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	Eslabonamientos netos hacia atrás	0.00	0.04	4.78	0.17	0.20	0.21	1.61	1.00
	Eslabonamientos netos hacia delante	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	Efecto integrado verticalmente (Consumo verticalmente integrado)	2.58	0.02	3.02	0.10	0.13	0.13	1.02	1.00
	Efecto directo (Consumo directo)	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Agua potable	Efecto interno	0.81	0.74	0.48	0.23	1.64	0.20	2.89	1.00
	Efecto mixto	0.51	0.73	0.35	0.13	2.22	0.04	3.00	1.00
	Eslabonamientos netos hacia atrás	0.25	0.21	1.76	0.35	1.07	1.34	2.01	1.00
	Eslabonamientos netos hacia delante	1.75	2.07	0.19	0.60	1.53	0.05	0.82	1.00
	Efecto integrado verticalmente (Consumo verticalmente integrado)	0.56	0.51	1.04	0.28	1.40	0.70	2.51	1.00
	Efecto directo (Consumo directo)	1.22	1.33	0.35	0.39	1.60	0.13	1.98	1.00

Fuente: Elaboración Propia.

Coefficientes relativos

Los coeficientes relativos nos permiten evaluar los impactos que las transferencias de agua dentro de la economía tienen en el consumo total de agua efectuado. Los indicadores de referencia que aparecen desplegados en la tabla 3 se han construido como el cociente entre el valor absoluto de cada efecto y la media aritmética, de manera que un valor superior a 1 indica que este bloque destaca dentro del efecto considerado en comparación al resto de la economía. En el caso del **agua de regadío**, únicamente la agricultura tiene un indicador positivo para el efecto interno, mixto y los eslabonamientos netos hacia delante. Por otro lado, la ordenación del indicador correspondiente a los eslabonamientos netos hacia atrás nos permite identificar los sectores que “importan” agua en gran medida desde la agricultura, que son fundamentalmente alimentos, bebidas y tabaco (Bloque 3) y otros servicios (Bloque 7).

Para el **agua potable**, se observa la presencia de dos sectores clave, con unos efectos directos e indirectos (verticalmente integrados) superiores a la media: el Bloque 2 (metalurgia, maquinaria, electrónica, manufacturas) y el Bloque 7 (otros servicios). Ambos tienen unos efectos internos y mixtos superiores a la media, pero mientras en el caso del primero priman los eslabonamientos hacia delante (“exportador” de agua a otros bloques) sobre los eslabonamientos hacia atrás (1.53 y 1.07, respectivamente), en el segundo bloque los eslabonamientos hacia delante no son relevantes con respecto a la media, mientras que los eslabonamientos hacia atrás (2.01) juegan un papel clave (“importador” de agua desde otros bloques). Por tanto, el agua empleada por el primer bloque sirve para proveer en gran medida de inputs al resto de la economía, mientras que el segundo se abastece de este activo a partir de la adquisición de inputs de otros sectores. Otros bloques que asumen un rol de “importadores” de agua desde otros sectores son la construcción (Bloque 6) y los alimentos, bebidas y tabaco (Bloque 3), con unos eslabonamientos netos hacia atrás superiores a la media. Opuestos a estos dos bloques se sitúan el Bloque 1 (Agricultura, ganadería y caza, selvicultura y pesca) y el 2 (Extracción y refinado de minerales, extracción de otros productos minerales, extracción de combustibles, captación, depuración y distribución de agua, producción y distribución de agua, gas y energía), que destacan en su papel de “exportadores” netos de agua al resto de la economía. El Bloque 4 no asume un papel destacable dentro de ninguno de los efectos que estamos analizando.

5. COMPOSICIÓN SECTORIAL Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA

La eficiencia en el uso del agua se debe evaluar tomando como referencia indicadores cualitativos y cuantitativos (WATECO, 2002). En el segundo grupo incluimos los indicadores de productividad, que revelan la cantidad de euros de valor añadido generados con un metro cúbico de agua en cada sector.

Para medir la productividad en primer lugar se obtiene el cociente entre el efecto verticalmente integrado (cantidad de agua necesaria para obtener la demanda final) y la demanda final (renta generada por el proceso productivo correspondiente). El primer dato se obtiene a partir de los cálculos anteriores, mientras que el segundo viene recogido en las tablas input-output para Andalucía (Instituto de Estadística de Andalucía, 2008), y su cociente arroja la intensidad en el uso de agua de cada uno de los bloques considerados (Tabla 4). Calculando la inversa de este cociente obtenemos una primera medida de la productividad con la cual cada uno de estos bloques genera rentas dentro de la economía (Tabla 5):

TABLA 4

Vínculo entre uso de agua y generación de rentas (metros cúbicos por cada euro).

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Agua de regadío	0.571	0.006	0.364	0.030	0.009	0.010	0.018
Agua potable	0.007	0.007	0.007	0.005	0.006	0.003	0.003

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 5

Productividad del agua (euros por metro cúbico).

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Agua de regadío	1.75	175.57	2.75	33.44	108.83	97.15	54.85
Agua potable	137.43	140.60	135.54	211.97	169.60	313.07	379.74

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del **agua de regadío**, observamos que la productividad es en promedio muy inferior a la del agua potable. La agricultura tiene una productividad muy reducida en el uso del agua, sostenida a través de subvenciones públicas (Gómez, 2007). Además, los sectores más estrechamente vinculados a la agricultura (fundamentalmente el Bloque 3) son los que tienen unos indicadores de productividad más pobres (o unos cocientes más elevados en la primera tabla), mientras que aquellos con menor relación con el primer bloque obtienen los mejores resultados. La excepción es el bloque conformado por Otros Servicios (Bloque 7), que a pesar de tener importantes vínculos con la agricultura obtiene unos indicadores de productividad notablemente superiores a los del primer y tercer bloques, e incluso a los del cuarto.

Para el **agua potable** se aprecian por lo general unas productividades muy superiores (unas menores necesidades de agua por euro de demanda final) a las del regadío, destacando en este caso los servicios y la construcción. Esta brecha entre agua potable y regadío se explica por la baja productividad del sector agrícola, que concentra el consumo directo de agua de regadío y mantiene márgenes artificialmente altos gracias a las subvenciones que percibe (PAC, precios del agua).

5.1. Eficiencia en el uso del agua en el sector agrario: equidad y productividad

Los peores indicadores se concentran en la agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca (Bloque 1) y en la industria alimentaria, de las bebidas y del tabaco (Bloque 3), este último como consecuencia de los vínculos que mantiene con el Bloque 1. Sin embargo, la demanda de agua para el regadío, que representa más del 86% de la demanda total, ha experimentado el mayor crecimiento jamás registrado en la región entre 1995 y 2003, donde se aumentó la superficie irrigada en un 21.4%. La tendencia se espera que siga al alza al menos hasta el 2015 (Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2004). Paralelamente a la demanda agraria de

agua, el desarrollo del sector turístico (que supone el 10.5% del abastecimiento de agua para consumo humano en 2006) ejerce una presión adicional sobre los activos hídricos, que se prevé crezca en los próximos años y sea cada vez más intensivo en el uso de agua debido al crecimiento del turismo hotelero¹⁷.

Un precio del agua elevado limitaría notablemente las rentas que se derivan de la actividad agrícola. Con una productividad promedio como la que hemos obtenido aquí (1.75€/m³), una reducción del margen de los agricultores vía precios desplazaría a gran cantidad de agricultores fuera del mercado, si bien este ahorro de agua también ha de ser evaluado en términos de equidad (pérdida de puestos de trabajo, redistribución de la renta). Además, el problema de los desequilibrios en el uso del agua no puede solventarse a costa de una sustitución de la producción agrícola regional (y nacional, ya que a nivel agregado la coyuntura es muy similar) por importaciones sin generar una serie de impactos en la economía, como desequilibrios en la balanza comercial y dependencia del exterior (si, como sería lógico, se importa desde el extranjero —importando del resto del país el problema aparecería en otra comunidad, ya que las cuentas del agua en España presentan problemas de escasez muy similares).

El sector público en numerosos casos ha buscado una solución intermedia para mejorar la productividad promedio sin penalizar al sector agrícola, a través de mejoras en la eficiencia en la aplicación del agua¹⁸. El principal problema de estas actuaciones es que se basan en subvenciones, que no necesariamente conducen a una reducción de las extracciones y menos aún a una mejora del estado de conservación del medio hídrico. De hecho, pueden conducir al resultado contrario: aumento del uso del agua y deterioro aun mayor del estado ambiental de las masas de agua. La posibilidad de que la mayor eficiencia técnica en la utilización de los recursos naturales no conduzca a la reducción esperada de su uso se conoce en la literatura como la paradoja de Jevons, efecto rebote o efecto Khazzoom-Brookes¹⁹ (Gómez, 2010).

Las soluciones más efectivas para lograr una mejora de la productividad y un ahorro de agua pasan por tanto por medidas de mercado que eliminen las penalizaciones (escalonamiento de precios por sectores, limitaciones en el abastecimiento) a los sectores que más productividad incorporan a la economía (Tirado *et al.*,

¹⁷ Atendiendo al cambio de modelo del sector y a la tendencia de crecimiento observada, se espera un aumento del consumo por pernocta de agua de un 3% anual para el período 2006-2015, pasando este de 0.297 a 0.527 m³/pernocta (Universidad de Alcalá de Henares y Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino: El agua en la economía española: situación y perspectivas (2009, Borrador)).

¹⁸ Además de la eficiencia técnica en la aplicación, es de suma importancia tomar en consideración los coeficientes de retorno, que en España son cuatro veces superiores en el caso de la industria y los servicios que en la agricultura: 0.8, 0.8 y 0.2, respectivamente. Esto implica que, por cada 100 litros empleados, la industria y los servicios retornan 80, y la agricultura 20, lo que supone que, si bien el uso del agua en la agricultura ya es de por sí notoriamente más elevado que el del resto de sectores, el consumo final es aún mayor comparativamente (Bielsa y Duarte, 2000).

¹⁹ Para que esta situación se produzca únicamente es necesaria una productividad marginal decreciente, supuesto perfectamente asumible en numerosos tramos de la función de producción agrícola.

2006). Estas medidas limitarían necesariamente el margen de explotación de la actividad agrícola, que podrían compensarse vía subvenciones con fines públicos y ambientales (e.g., pago por lucro cesante por la prestación de servicios ambientales) menos distorsionantes.

5.2. Eficiencia en el uso del agua en el sector industrial: La ley de Verdoorn para el agua

Existen por otro lado sectores más productivos cuya eficiencia en el empleo del agua es superior y, además, creciente con la producción. Independientemente de cuál sea el motor que impulse la convergencia de Andalucía, hay que asegurar que éste disponga de los factores productivos necesarios (mano de obra, agua) y que la escasez no ponga en riesgo el crecimiento económico. Ya vimos para el caso del agua en la industria que existen unas necesidades hídricas reducidas en comparación con la agricultura, siendo el primer sector más eficiente en el empleo del insumo. Utilizando el promedio de las distintas previsiones de crecimiento para la economía española en los próximos años, asumiendo un cambio estructural que recoge la tendencia de la anterior década y ajustando los parámetros para Andalucía, se simula un escenario para el consumo de agua en la industria andaluza (Universidad de Alcalá de Henares y Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino: El agua en la economía española: situación y perspectivas, 2009, Borrador). La siguiente tabla recoge los resultados:

TABLA 6
Consumo de agua en el sector industrial en Andalucía.

	Total Sector Industrial ²⁰ Andalucía			
	2005	2015	2021	2027
Consumo de agua m ³ /año/1000€	10.68	10.26	8.66	7.16

Fuente: Universidad de Alcalá de Henares y Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino: El agua en la economía española: situación y perspectivas (2009, Borrador).

Se observa un progresivo decrecimiento del consumo de agua, que pasa de un valor de 10.68 m³/año/1000€ a 7.16 en poco más de dos décadas. Este efecto tiene su origen en dos hechos: por un lado, hay una reducción en el consumo de agua en términos absolutos (numerador), cayendo éste en más de 10 millones de metros cúbicos anuales (casi un 11%); y por otro hay un incremento del Valor Añadido

²⁰ La industria se compone de los sectores de: Alimentación bebidas y tabaco; Textil, confección, cuero y calzado; Madera y corcho; Papel; edición y artes gráficas; Industria química; Caucho y plástico; Otros productos minerales no metálicos; Otros productos minerales no metálicos; Metalurgia y productos metálicos; Maquinaria y equipo mecánico; Equipo eléctrico, electrónico y óptico; Fabricación de material de transporte; e industrias manufactureras diversas.

Bruto industrial (denominador) en casi 3,000 millones de euros (33%). Si bien podría considerarse una revisión a la baja de la oscilación del VAB industrial en el período 2005-2015 atendiendo a la coyuntura económica internacional vigente, la industria seguiría presentando una intensidad decreciente en el empleo del insumo hídrico, y una situación favorable en comparación con sectores como el agrario.

Este resultado confirma la existencia de una *ley de Verdoorn para el agua* (Verdoorn, 1949; y Kaldor, 1966); en efecto, si calculamos de nuevo la inversa de la intensidad en el empleo del agua para la industria andaluza, obtenemos una aproximación de la productividad del sector para cada uno de los intervalos temporales considerados. Este valor es creciente a lo largo del período estudiado, aumentando a medida que el Valor Añadido Bruto (VAB) industrial crece con un coeficiente de correlación de 0.997:

TABLA 7
Ley de Verdoorn para el agua.

	Total Andalucía			
	2005	2015	2021	2027
Productividad del agua (€/m ³)	93.62	97.50	115.41	139.74
VAB industrial (miles de euros)	8 785 972	8 956 830	9 961 040	11 705 275

Fuente: Universidad de Alcalá de Henares y Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino: El agua en la economía española: situación y perspectivas (2009, Borrador).

Por otra parte, esta mejora en la productividad viene acompañada por importantes reducciones en términos relativos de los vertidos generados por la industria, que permiten que las emisiones de contaminantes al medio hídrico también se vean recortadas en términos absolutos: 3.35% para los vertidos, 48.63% en la DBO, 48% en la DQO, 38.4% en los sólidos en suspensión, 35.08% en el nitrógeno, 47.11% en el fósforo y 32.17% en los metales pesados (**eficiencia cualitativa**).

La clave del crecimiento vía cambio sectorial radica en la capacidad de la economía de incrementar la productividad de los factores. La productividad de los distintos factores productivos (trabajo, agua) es superior en aquellas regiones que mantienen una alta participación de la industria en la producción (Verdoorn, 1949), habiéndose encontrado también evidencia de alta productividad para los sectores de la construcción y determinados servicios (Kaldor, 1970). También Kaldor subrayó el escaso potencial de crecimiento de la productividad en los sectores dependientes del uso y explotación de la tierra, caso de la agricultura. Se obtiene por tanto una transición a una economía industrial en la que la presión sobre los recursos naturales es decreciente, con una forma funcional similar a la curva de Kuznets ambiental (Grossman y Krueger, 1993).

6. CONCLUSIONES

Las regiones con un peso excesivo del sector agrícola tradicional en la distribución sectorial de la economía tienen efectos negativos sobre la productividad de los factores y sobre la renta. En concreto, este sector tiene especial incidencia en la productividad del agua, lo que es especialmente grave en regiones con situaciones estructurales de escasez y sequías recurrentes como Andalucía. En estas regiones la elevada competencia por el abastecimiento de agua y las subvenciones públicas (concentradas en los sectores agrícolas) son un freno para lograr las mejoras de productividad en el uso del agua necesarias para garantizar su provisión futura (ley de Verdoorn en la industria) y tasas más altas de crecimiento.

Se demuestra que las bajas productividades del agua se concentran en la agricultura y los bloques vinculados a esta (industria alimentaria), si bien hay otros que a pesar de importar gran cantidad de agua de la agricultura mantienen productividades comparativamente altas (hostelería). Los sectores con mayor productividad son aquellos desvinculados del sector agrario (industria).

Andalucía es un ejemplo de dualismo en la economía, con un sector tradicional comparativamente más desarrollado con relación a su entorno (europeo y nacional). Esta composición estructural es favorable para un traslado de factores productivos a otros sectores con mayor productividad que propicie una dinámica convergente (Paci y Pigliaru, 1997; Garrido, 2002) y alivie la presión sobre activos como el agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA (2009): *Base de Datos estadísticos*. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.637844561ad6506130a7fa105510e1ca/?vgnnextoid=5f2b20f923db4210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=3259b19c7acf2010VgnVCM1000001625e50aRCRD&lr=lang_es.
- ALCAMO, J.; HENRICH, T.; RÖSCH, T. (2000): *World Water in 2025 –Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century*, Report A0002, Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Germany.
- BIELSA, J. y DUARTE, R. (2000): “La eficiencia técnica de riego: Análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones”. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 189, pp. 103-118.
- CELLA, G. (1984): “The input-output measurement of interindustry linkages”. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 46, n.º 1, pp. 73-84.
- CHENERY, H. y WATANABE, T. (1958): “International comparisons of the structure of production”. *Econometrica*, n.º 4, vol. 26.
- COMISIÓN EUROPEA (2010): *General Budget of the European Union for the Financial Year 2009. The figures*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE ANDALUCÍA (2003): *Propuestas sobre la prevención de sequías en Andalucía*.

- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE ANDALUCÍA (2004): *El agua en la agricultura. Jornada de la FNCA, Nuevas Perspectivas en la Gestión del Agua*. Valencia.
- DELGADO CABEZA, M. (1981): *Dependencia y marginación de la economía andaluza*. Córdoba: Publicaciones del Monte de Piedad, Caja de Ahorros.
- DUARTE, R.; SÁNCHEZ CHÓLIZ, J. y BIELSA, J. (2002): "Water use in the Spanish economy: an input-output approach". *Ecological Economics*, v. 43, pp. 71-85.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2009): *Water resources across Europe –confronting water scarcity and drought*. EEA Report nº 2/2009.
- GARRIDO YSERTE, R. (2002): *Cambio Estructural y Desarrollo Regional en España*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- GÓMEZ, C.M. (2009): "La eficiencia en la asignación del agua: Principios básicos y hechos estilizados en España". *Información Comercial Española*, nº 847, pp. 23-39.
- GÓMEZ, C.M. (2010): "Water Efficiency and Prices in Spain: Another case of the Jevons' Paradox" (En revisión).
- GÓMEZ, C.M.; TIRADO, D. y REY MAQUEIRA, J. (2004): "Water exchanges versus water Works: Insights from a computable general equilibrium modelo for de Balearic Islands". *Water Resources Research*, 42, W10502, 10.1029/2004WR003235.
- GÓMEZ, C.M.; TIRADO, D. y LOZANO, J. (2006): "Un modelo de equilibrio general aplicado a Baleares: análisis económico de la reasignación intrasectorial del agua para uso agrícola". *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, v. 209, pp. 75-109.
- GÓMEZ, C.M.; MAESTU, J.; GUTIÉRREZ, C.; MARTÍNEZ VALDERRAMA, J.; SÁNCHEZ TAMARIT, M.T.; CALVO, I. (2007): *El agua en la economía española: situación y perspectivas*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- GROSSMAN, G.M. y KRUEGER, A.B. (1991): "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement". *NBER Working Paper No. 3914*.
- HIRSCHMAN, A.O. (1958): *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2000): *Cuenta Satélite del Agua*. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t26/p067/p02/agua00-06&file=pcaxis>.
- KALDOR, N. (1966): *Causes of the low rate of economic growth of the UK, An Inaugural Lecture*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KALDOR, N. (1970): "The Case for Regional Policies". *Scottish Journal of Political Economy*, v. 17, 3, pp. 337-348.
- KRUGMAN, P. (1993): "Toward a Counter Counterrevolution in Development Theory". *Proceedings of the World Bank*. World Bank.
- LEÓN-LEDESMA, M.A. (1999): "Verdoorn's law and increasing returns: an empirical analysis of the Spanish regions". *Applied Economic Letters*, v. 6, pp. 373-376.
- MURPHY, K.M.; SHLEIFER, A. y VISHNY, R.W. (1989): "Industrialization and the Big Push". *Journal of political economy*, vol. 97, 5, pp. 1003-26.
- OBSERVATORIO ANDALUZ DE EMPLEO AGRARIO (2010): *Programa de Fomento de Empleo Agrario*. <http://www.prodetur.es/Observatorio/index.asp>.
- PACI, R. y PIGLIARU, F. (1997): "European Regional Growth: Do Sectors Matter?". Centre for North South Economic Research, University of Cagliari and Sassari, Sardinia. *Working Paper CRENoS*, nº 1997/3.
- PACI, R. y PIGLIARU, F. (1997): "Is Dualism still a source of convergence in Europe?". Centre for North South Economic Research, University of Cagliari and Sassari, Sardinia. *Working Paper CRENoS*, nº 1997/05.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2001): *Plan Hidrológico Nacional*. <http://chsegura.es/chs/planificacionydma/planhidrologiconacional/phn/index.html>.
- RASMUSSEN, P.N. (1956): *Studies in Intersectoral Relation*. Amsterdam: North Holland.

- ROSENSTEIN-RODAN, P. (1961): "Notes on the Theory of the Big Push", en Ellis, ed., *Economic Development for Latin America*. New York: St. Martin's Press.
- SALETH, M. y DINAR, A. (1999): "Water Challenge and Institutional Response: A Cross Country Perspective". The World Bank Development Research Group. Rural Development Department. Policy Research: *Working Paper 2045*.
- STRASSERT, G. (1968): "Zur Bestimmung strategischer Sektoren mit Hilfe von Input-Output-Modellen". *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 182 (3), pp. 211-215.
- TIRADO, D.; GÓMEZ, C.M. y LOZANO, J. (2006): "Efficiency improvements and water policy in the Balearic Islands: A General Equilibrium Approach". *Investigaciones Económicas*, v. 30, pp. 441-463.
- UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES y MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO (2009): *El agua en la economía española: situación y perspectivas* (Borrador).
- VERDOORN, P.J. (1949): "Fattori che regolano lo sviluppo della produttività del lavoro". *L'industria*, vol. 1, pp. 3-10.
- WATECO (2002): *Economics and the environment*. The implementation challenge of the Water Framework Directive (WFD). A guidance document. Bruxelles.
- WINPENNY, J.T. (1994): *Managing Water as an Economic Resource*. Londres: Editorial Routledge.

ANEXO 1

FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE LA METODOLOGÍA HEM

Se parte de una economía con n sectores:

$$x = Ax + y \quad (\text{A1.1})$$

x_i es el vector de producción, y_i el vector de demandas finales y A es la matriz de coeficientes técnicos (cociente entre consumos intermedios y producción total a precios básicos).

Transformando la ecuación en función de la matriz inversa de Leontief, $(I - A)^{-1}$:

$$x = (I - A)^{-1} y \quad (\text{A1.2})$$

El HEM (Strassert, 1968; Cella, 1984) compara la producción final (vector x) con y sin la presencia de un determinado sector. Parte de una matriz TIO por sectores o grupos de sectores:

$$\begin{pmatrix} x_s \\ x_{-s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{s,s} & A_{s,-s} \\ A_{-s,s} & A_{-s,-s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s \\ x_{-s} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_s \\ x_{-s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_{s,s} & \Delta_{s,-s} \\ \Delta_{-s,s} & \Delta_{-s,-s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} \quad (\text{A1.3})$$

Donde:

$$(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} \Delta_{s,s} & \Delta_{s,-s} \\ \Delta_{-s,s} & \Delta_{-s,-s} \end{pmatrix}$$

Partiendo de la ecuación (A1.2) extraemos el bloque/sector s :

$$\begin{pmatrix} x_s^* \\ x_{-s}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{s,s} & 0 \\ 0 & A_{-s,-s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s^* \\ x_{-s}^* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_s^* \\ x_{-s}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (I - A_{s,s})^{-1} & 0 \\ 0 & (I - A_{-s,-s})^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} \quad (\text{A1.4})$$

Y partiendo de las dos igualdades anteriores podemos obtener el cambio en la producción consecuencia de la extracción del bloque s :

$$\begin{pmatrix} x_s - x_s^* \\ x_{-s} - x_{-s}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_{s,s} - (I - A_{s,s})^{-1} & \Delta_{s,-s} \\ \Delta_{-s,s} & \Delta_{-s,-s} - (I - A_{-s,-s})^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{s,s} & C_{s,-s} \\ C_{-s,s} & C_{-s,-s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_s \\ y_{-s} \end{pmatrix} \quad (\text{A1.5})$$

Los eslabonamientos hacia delante y hacia atrás y los efectos mixtos e internos se definen como sigue (Duarte et al., 2002):

Efecto interno: $i'(I - A)^{-1}y_s$

Efecto mixto: $i'[\Delta_{s,s} - (I - A_{s,s})^{-1}]y_s$

Eslabonamiento externo o neto hacia atrás: $i\Delta_{-s,s}y_s$

Eslabonamiento externo o neto hacia delante: $i'\Delta_{s,-s}y_{-s}$