

Indicadores de agua incorporada y actividad económica desde la perspectiva de la producción y el consumo: un análisis temporal para la economía española*

Embodied Water Indicators and Economic Activity from the Perspective of Production and Consumption: A Temporal Analysis for the Spanish Economy

Rosa Duarte
Vicente Pinilla
Ana Serrano

Universidad de Zaragoza
Instituto Agroalimentario de Aragón

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar un conjunto de indicadores económico-ambientales que den cuenta del impacto que las relaciones de producción, consumo y comercio de la economía española ejercen sobre el medioambiente y, en particular, sobre los recursos hídricos. Con este objetivo, se utiliza la modelización input-output multirregional extendida ambientalmente, y se presentan indicadores de agua incorporada en la producción y la demanda de la economía. Posteriormente, y tomando como referencia el horizonte 1995-2016, se evalúa el consumo de agua en España asociado a la estructura productiva y sectorial del país, y a sus vínculos internacionales a través de las cadenas de producción mundial.

Palabras clave: consumo de agua, input-output, economía española, estructura productiva, economía ambiental.

Clasificación JEL: C67, F64, N54, Q25, Q27.

Abstract

The aim of this paper is to present a set of economic-environmental indicators that account for the impact that the production, consumption and trade relations of the Spanish economy have on the environment and, in particular, on water resources. With this objective, the study uses environmentally extended multiregional input-output modeling and presents indicators of water incorporated in the production and demand of the economy. Subsequently, and taking as a reference the 1995-2016 horizon, the paper analyses the Spanish water consumption associated with the productive and sectorial structure of the country, and its international links through the global production chains.

Keywords: water consumption, input-output, Spanish economy, production structure, environmental economics.

* Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, a través de los proyectos PGC2018-095529-B-I00 y PID2019-106822RB-I00, y del Departamento de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de Aragón, a través de los grupos S40_R20 y S55_20R.

1. Introducción

No cabe duda de que el agua es un elemento fundamental para el desarrollo económico, la sostenibilidad de los ecosistemas y la propia vida humana. El imparable cambio climático y el continuo crecimiento en las demandas de agua han llevado a situar la «crisis del agua» como uno de los principales retos que debe abordar la humanidad para su supervivencia y bienestar futuro (ONU, 2018). El uso de agua en el mundo se ha multiplicado por seis en el último siglo y, desde la década de los años ochenta, sigue creciendo a un ritmo anual del 1 % (UNESCO, 2020). Se espera que la demanda global de agua siga aumentando a una tasa similar hasta 2050, lo que supondrá un incremento de casi el 30 % sobre el consumo.

El impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua ha sido ampliamente documentado en la literatura (Rockström *et al.*, 2009; Taylor *et al.*, 2013; Vörösmarty *et al.*, 2000), siendo los recursos hídricos de las regiones áridas y semiáridas especialmente sensibles al mismo. En el último siglo, el cambio climático ha supuesto un incremento de la temperatura y una distribución más errática de las precipitaciones, lo que imprime una importante irregularidad a la oferta de agua. Por su parte, el crecimiento demográfico, la expansión agraria, el cambio en los patrones de consumo y, más recientemente, el crecimiento en la demanda en los sectores industriales y hogares, ligados a los procesos de concentración urbana, han incrementado la presión por la parte de la demanda (Duarte *et al.*, 2021), generando una creciente competencia entre usuarios y conduciendo a unos claros desequilibrios hídricos y al deterioro del medio natural.

En este contexto, el estudio de los procesos de transformación económica y sus impactos sobre el agua, y el desarrollo de instrumentos informativos que integren las relaciones entre la economía y el medioambiente aparecen como un elemento fundamental para la formulación de políticas sostenibles de gestión del agua. Así, tanto la literatura académica como distintos organismos internacionales, destacan cada vez más la necesidad de considerar la doble dimensión «local-global» y de «oferta-demanda» que caracteriza el problema hídrico en la construcción de dichos instrumentos. En economías altamente globalizadas como las actuales, las presiones hídricas sobre un territorio no pueden considerarse ajenas a las tendencias de producción y consumo en el mercado mundial.

La creciente globalización ha incrementado la interconexión de las personas y la producción a nivel mundial; el consumo local se satisface crecientemente mediante cadenas de suministro globales a través del comercio internacional que, a menudo, implican grandes distancias geográficas y generan impactos a veces muy lejos de donde se consume (Hubacek *et al.*, 2014). En este contexto, el objetivo de este trabajo es revisar un conjunto de indicadores económico-ambientales que permitan evaluar el impacto de la actividad productiva, su especialización y su integración en las cadenas globales de producción sobre los recursos hídricos, identificando el agua incorporada en las distintas etapas de la actividad productiva. Estos indicado-

res permiten vincular la evolución de las principales variables macroeconómicas y sectoriales, con los impactos locales y globales en términos de agua consumida, ofreciendo una información significativa sobre la implicación ambiental subyacente a los procesos de cambio tecnológico y estructural.

El resto del trabajo se articula de la siguiente forma. La sección 2 presenta los principales indicadores sobre el consumo de agua incorporado en la actividad productiva, discutiendo las principales aproximaciones y justificando su desarrollo desde esa doble perspectiva «local-global» y de «oferta-demanda». Se plantea también la relevancia de estos indicadores en el contexto español. Posteriormente, en la sección 3, el trabajo se centra en lo que llamaremos enfoque *top-down* (frente al enfoque *bottom-up*). En dicha sección se muestra la potencialidad de los modelos *input-output* multirregionales para la definición de indicadores económico-ambientales que permitan explicar la evolución de los flujos de agua asociados a la producción y consumo de bienes de un país. Para ello se presta atención a las principales relaciones intersectoriales y a la composición internacional de las cadenas productivas. El análisis *input-output* nos permitirá obtener simultáneamente indicadores del agua incorporada desde la perspectiva de la producción y del consumo, los cuales resultarán fundamentales para la discusión de las responsabilidades directas e indirectas de los agentes en relación a las presiones hídricas. Se realiza una interpretación de los mismos en el marco multirregional y se presentan las fuentes de datos utilizadas. La sección 4 expone y discute los principales resultados del trabajo en una aplicación para la economía española. Finalmente, la sección 5 cierra el trabajo con una revisión de las principales conclusiones.

2. Indicadores de consumo de agua incorporada en la actividad económica

Desde la década de los noventa se han realizado estimaciones de las posibles trayectorias de consumo de agua en el mundo, constatando su incremento continuado en el tiempo, así como, en términos generales, el predominio del uso agrario (Shiklomanov, 2000). Se reconoce que esta evolución ha sido impulsada por el crecimiento poblacional (Gleick, 2000), y de forma significativa, por el aumento de la renta per cápita ligado a los procesos de crecimiento económico (Duarte *et al.*, 2013, 2014a). Junto a estos factores, la expansión del comercio internacional ha sido un elemento clave tanto para la transformación de las economías, como para el crecimiento acelerado de los impactos sobre el agua. Las globalizaciones de los dos últimos siglos, caracterizadas por una creciente integración de los mercados, han representado el mayor movimiento en la historia de bienes y factores de producción, con su consecuente afección a los recursos naturales y, en particular, a las demandas de agua (Duarte *et al.*, 2021).

En el contexto actual de hiperglobalización, el concepto de «agua virtual», acuñado en la década de los noventa (Allan, 1993; Allan *et al.*, 1997) como el volumen de agua incorporada en los bienes y servicios intercambiados a través del comercio

internacional, irrumpe como un importante indicador para la toma de decisiones en la gestión sostenible del agua desde una perspectiva global. Por tanto, el «comercio de agua virtual» es el volumen de agua incorporado en productos intercambiados internacionalmente como importaciones y exportaciones. De esta forma, los intercambios de productos agrícolas, así como los de *inputs* industriales, están relacionados con grandes volúmenes de uso y consumo de agua en los países y regiones de origen, representando flujos de recursos «escondidos» detrás de la producción, e incorporados (*embodied*) en el comercio internacional.

En esta misma línea, y en analogía con el concepto de «huella ecológica» desarrollada por Wackernagel y Rees (1996), Hoekstra y Hung (2002) introducen y hacen operativo el concepto de *water footprint* o «huella hídrica», indicando «el volumen de agua necesario para la producción de bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país», esto es, el agua total contenida en cada producto, ofreciendo también un método de cálculo a escala regional. En este sentido, la huella hídrica tiene en cuenta no solo el uso directo de agua, sino también el consumo indirecto en la cadena productiva.

Los estudios sobre agua virtual y huella hídrica desarrollados a partir de Hoekstra y Hung (2002) tienden a distinguir entre la llamada «agua verde», «agua azul» y «agua gris», ya que, aunque relacionados, presentan características diferentes. El agua verde hace referencia al volumen de agua de lluvia (almacenada en el suelo como humedad) que se evapotranspira, mientras que el agua azul es el volumen de agua superficial o subterránea incorporada en la producción (Chapagain & Hoekstra, 2008). Como comentan Yang *et al.* (2007), el agua azul puede reasignarse con cierta facilidad a usos agrícolas, industriales o urbanos, mientras que en el caso del agua verde no es factible dicha reasignación. En este sentido, el agua azul presenta unos mayores costes de oportunidad (Hoekstra, 2010). Finalmente, el agua gris es un indicador del volumen de agua necesario para asimilar una carga contaminante que llega a una masa de agua, siendo un indicador de la apropiación de los recursos hídricos a través de la contaminación.

En nuestra aplicación empírica, nos centraremos en el estudio del agua azul como indicador sobre la presión de recursos que ejerce la economía, por ser el concepto más cercano a indicadores de regulación hídrica (agua regulada), lo que tendrá implicación sobre la oferta. Esto es relevante en un área como la española donde la baja pluviometría hace que el agua azul sea un componente fundamental del agua total.

La aproximación a los conceptos de agua virtual y huella hídrica, se ha realizado tradicionalmente desde dos perspectivas, las denominadas *bottom-up* y *top-down*.

La perspectiva *bottom-up* permite capturar los flujos de agua incorporados en los productos de forma altamente desagregada, lo que resulta especialmente indicado en el estudio de los procesos de transformación de la producción agraria, pudiendo llegar a un elevado grado de detalle por cultivo y región en el mundo (Chapagain & Hoekstra, 2004; Mesfin Mekonnen & Hoekstra, 2011). Además, este enfoque ha encontrado aplicabilidad a distintas escalas para identificar la discrepancia espacial

en la disponibilidad y demanda de agua (Dalin *et al.*, 2012; Hoekstra & Hung, 2005). Más concretamente, la estimación del agua virtual incorporada en la producción desde esta perspectiva *bottom-up*, siguiendo la propuesta de Hoekstra y Hung (2005), puede estimarse de la siguiente forma:

Para un país c , en un año t , *el agua incorporada en la producción (agua virtual)* ($\text{m}^3/\text{año}$) puede obtenerse como la suma del agua virtual incorporada en cada uno de sus p productos. Así, el agua virtual en la producción agraria de dicho país, puede obtenerse como:

$$AVP(c, t) = \sum_p d_p^c(c, p, t) * P_p^c(c, p, t)$$

donde $AVP(c, t)$ representa el volumen de agua necesario para la producción de los productos agrarios y alimentarios en el país c en el año t (m^3), $d_p^c(c, p, t)$ representa el contenido de agua del producto p en el país productor c (m^3/Tm), y $P_p^c(c, p, t)$ es la producción de cada producto p en el país c y año t (en unidades físicas, Tm). Siguiendo la misma metodología, podemos también medir el agua incorporada en los flujos de productos comerciados internacionalmente, así como el balance de dicho comercio en términos de agua virtual.

Para un país c y periodo t , podemos definir el agua virtual contenida en sus exportaciones de productos agrarios (AVE), y el agua virtual contenida en sus importaciones (AVI):

$$AVE(c, t) = \sum_p d_p^c(c, p, t) * x_p^c(c, p, t)$$

$$AVI(c, t) = \sum_{z \neq p} d_p^z(z, p, t) * m_p^z(z, p, t)$$

donde x_p^c representa el total de exportaciones del producto p realizadas por el país c , y m_p^z representa la cantidad de producto p que es importado por el país c del país z .

Finalmente, calculando la diferencia entre el agua virtual exportada e importada, podemos calcular el balance de agua virtual (*virtual water trade balance*) como:

$$AVT(c, t) = AVE(c, t) - AVI(c, t)$$

Un AVT positivo indica una presión sobre los recursos hídricos locales debida a las exportaciones superior a la que está evitando vía la importación de productos agrarios para satisfacer las demandas internas de estos productos. De esta forma, la comparativa de estos indicadores con la disponibilidad de agua en el territorio puede informar de cómo el comercio puede contribuir a intensificar o aliviar las presiones sobre los recursos. Dicho de otra manera, conecta la presión local sobre el medio hídrico con los procesos de apertura e intensificación del comercio internacional. Dada la existencia de bases de datos de consumo de agua verde y azul con un elevado grado de detalle espacial y por productos, el enfoque *bottom-up* es el principalmente

seguido por la *Water Footprint Network* para la estimación del agua incorporada en los productos con fuerte componente agrario (Chapagain & Hoekstra, 2004; Mekonnen & Hoekstra, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2011).

Es de destacar que esta aproximación *bottom-up* se apoya en la disponibilidad de datos precisos de evapotranspiración por unidad de producto en distintas áreas geográficas. Son de gran utilidad los indicadores de requerimientos de agua por cultivos (tanto de secano como de regadío) que se pueden obtener a partir de CROPWAT, así como la información detallada que ofrece FAO (2021a). Para los flujos comerciales, es fundamental la información de comercio bilateral ofrecida por United Nations (2021) y por FAO (2021b). Ambas bases de datos tienen una cobertura espacial muy importante, además de serie temporales que comienzan en torno 1965. Sin embargo, el detalle a nivel de producto es mucho mayor en el caso de United Nations (2021), aunque optar por una u otra es una cuestión que el investigador debe valorar en función del objetivo de su trabajo.

Mientras que la perspectiva *bottom-up* es ampliamente usada para estudiar el agua incorporada en los productos agrarios y sus procesos de transformación, la perspectiva *top-down* pone el foco en las relaciones intersectoriales de la economía y, en definitiva, en las cadenas productivas globales. Bajo este enfoque se considera no solo el sector agrario, sino el resto de sectores de la economía, ofreciendo una perspectiva más completa de los flujos de agua en economías con distintos tipos de especialización y su vinculación con la evolución estructural, tecnológica y comercial de las mismas (Cazcarro *et al.*, 2013; Feng *et al.*, 2014). La creciente globalización, que ha supuesto una clara fragmentación de las cadenas productivas, a menudo con grandes distancias entre los centros de producción y consumo de los bienes, ofrece una oportunidad para este tipo de modelos, por su capacidad para capturar las distintas etapas de las cadenas productivas globales y, en consecuencia, los recursos e impactos ambientales asociados a las mismas. Este es el enfoque que se utilizará en este trabajo y la metodología específica se presenta, por tanto, en el siguiente apartado. Así, autores como Duarte *et al.* (2002) o Velázquez (2006) ya observaron la necesidad de utilizar modelos multisectoriales para captar de forma más precisa las relaciones entre la economía y su impacto hídrico, identificando el agua total cristalizada en los bienes finales, concepto similar al de agua virtual, en este contexto, y fuertemente ligado a la tradicional visión de recursos involucrados en la producción (Leontief, 1970; Pasinetti, 1974). En Sánchez-Chóliz y Duarte (2005) se hace explícita la relación entre los indicadores derivados de los modelos *input-output* extendidos y las huellas hídricas, en particular en relación a la contaminación hídrica de la economía española. Diversos estudios sitúan el concepto del agua virtual en el marco de las teorías del comercio internacional de factores y el principio de ventaja comparativa (Allan, 2011; Guan & Hubacek, 2007; Reimer, 2012).

El concepto de huella hídrica, en este contexto, hace referencia al agua contenida en toda la cadena de producción de un bien final, siendo un indicador de la demanda total de recursos hídricos, desde el origen de la producción hasta el consumo final de los bienes (Feng *et al.*, 2011). Esto es, sintetiza toda el agua virtual incorporada

que finalmente termina en la demanda final de un producto. De esta forma, es un indicador de la apropiación de recursos hídricos ligados a la producción y distribución de bienes a través de las cadenas productivas y el comercio internacional, lo que implica considerar el carácter local-global de los impactos.

La utilidad de los indicadores reside en su capacidad informativa, vinculando la estructura y evolución económica en un marco de innegable globalización de la producción, buscando la integración de las distintas escalas decisionales, y considerando las perspectivas de la oferta y la demanda, dimensiones de compleja medición, pero fundamentales para la aplicación de las políticas de gestión de los recursos hídricos.

Como muestra de ello, notemos que el estudio del impacto de la actividad económica sobre el consumo de agua (la huella hídrica), sus determinantes y su evolución es particularmente importante en países como España, donde a la irregularidad temporal y espacial de sus precipitaciones se ha unido una creciente demanda del recurso. Los escenarios de cambio climático sitúan a España entre las regiones del mundo con mayor vulnerabilidad a la desertificación a lo largo de este siglo (Právělie *et al.*, 2017), por lo que el estudio de los patrones de consumo, y su relación con el modelo de producción y consumo constituye un auténtico reto científico y social.

El crecimiento de la demanda de agua en España tiene su origen en la extensión e intensificación del regadío, ligado a los procesos de expansión comercial internacional, una baja eficiencia en el consumo urbano e industrial y un desarrollo turístico, en muchos casos incontrolado, altamente intensivo en el consumo de agua (Cazcarro *et al.*, 2014; Clar *et al.*, 2015; Duarte *et al.*, 2014, 2016). Históricamente, estas crecientes demandas trataron de satisfacerse a través de las llamadas «políticas de oferta», principalmente basadas en el aseguramiento de agua suficiente y temporalmente estable a través de la construcción de una importante infraestructura de almacenamiento, regulación y distribución, con altos costes económicos, sociales y ambientales (Cazcarro *et al.*, 2015). No obstante, la adopción de la Directiva Marco del Agua (2000/60/EC) (European Commission, 2000) en el año 2000 impuso en las instituciones europeas y españolas, y en la sociedad en su conjunto, un claro cambio de enfoque, un giro hacia una «perspectiva de demanda» caracterizada por la identificación de las posibilidades de ahorro en los distintos usuarios, el impulso a la coordinación de los agentes relevantes en las cuencas, y una visión de corresponsabilidad de todos los implicados en la gestión, consumo y sostenimiento del recurso hídrico. Esta perspectiva de responsabilidad compartida llevó a la búsqueda de marcos e instrumentos analíticos que dieran cuenta de las presiones sobre el agua de los agentes y actividades, de la demanda, elemento central en la huella hídrica. De hecho, la Orden Ministerial (ARM/2656/2008) que adaptaba la legislación española a la Directiva Marco del Agua en materia de planificación hídrica (BOE, 2008), establecía que los nuevos Planes de Cuenca debían incluir un «análisis de la huella hidrológica de los distintos sectores socioeconómicos».

En el presente trabajo presentamos un estudio de la evolución de la huella hídrica en España desde la perspectiva *top-down*, es decir, teniendo en cuenta la evolución

de los distintos sectores económicos y el papel que la demanda ha jugado en la configuración del consumo de agua.

3. Metodología y fuentes de datos

El objetivo de esta sección es ofrecer un mayor detalle sobre los modelos *input-output* extendidos ambientalmente (Miller & Blair, 2009; Wiedmann *et al.*, 2011), que han sido ampliamente utilizados en la literatura para evaluar las presiones sobre el medioambiente derivadas de la actividad económica. Estos modelos se han usado recientemente para analizar los impactos de la globalización de las cadenas productivas sobre los recursos a distintas escalas (Duarte *et al.*, 2018; Hubacek *et al.*, 2017; Moran *et al.*, 2013; Oppon *et al.*, 2018; Wiebe & Yamano, 2016).

Así, el modelo *input-output* multirregional captura las interrelaciones entre los sectores productivos de los distintos países y las demandas finales, ofreciendo información desagregada de los *inputs* intermedios necesarios para obtener la demanda final (consumo privado y público, inversión y exportaciones de bienes finales). El punto de partida del modelo es la ecuación de equilibrio, que puede expresarse de la siguiente forma:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} \quad [1]$$

Esta ecuación, definida para m países y n sectores, muestra que la producción total de la economía se distribuye entre la producción de bienes intermedios y la producción bienes finales. Representamos por \mathbf{x} el vector $m \times n$ de producción total. En esta ecuación de equilibrio, la matriz $\mathbf{A} = (a_{ij}^{rs})$ o matriz de coeficientes técnicos, representa la tecnología de producción. El elemento genérico de la matriz \mathbf{A} , a_{ij}^{rs} muestra los *inputs* intermedios del sector i en el país r que se usan para producir una unidad del producto j en el país s .

En este marco multirregional denotamos por $\mathbf{Y} = (\mathbf{y}^{rs}) = (y_i^{rs})$ la matriz $(m \times n) \times m$ de demandas finales, cuyos elementos y_i^{rs} muestran la producción del sector i y país r que constituye la demanda final del país s , siendo \mathbf{y}^{rs} el vector $n \times 1$ de bienes del país r incluidos en la demanda final del país s . Denotamos por $\mathbf{y} = (y_i^r) = (\sum_s y_i^{rs})$ al vector $m \times n$ de demandas finales globales, tal como aparece en la ecuación [1].

La ecuación de equilibrio [1] puede también expresarse en términos de la conocida inversa de Leontief como:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{Ly} \quad [2]$$

siendo $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = (l_{ij}^{rs})$, cuyo elemento representativo l_{ij}^{rs} muestra la cantidad total de producción de la industria i en el país r que es incorporada, directa e indirectamente, en cada unidad de demanda final de bien j en el país s .

Nótese que la anterior expresión puede también escribirse como:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots + \mathbf{A}^n + \dots)\mathbf{y} \tag{3}$$

por lo que la ecuación de equilibrio, expresada mediante la inversa de Leontief, indica la producción incorporada en la demanda final a lo largo de las distintas etapas productivas a través de los inputs, los inputs necesarios para producir estos inputs, y así sucesivamente. Además, la inversa de Leontief permite ligar la producción total y la demanda final, haciendo posible, para cada elemento de demanda final de un sector y país, obtener cuál es la producción que ha sido necesaria para su generación en cualquier otro país y sector de la economía mundial.

El modelo multirregional presentado puede ampliarse con el fin de evaluar la cantidad de recursos o impactos ambientales ligados a estas producciones. Más concretamente, considerando un vector de consumos de agua en cada sector y país \mathbf{W} , a partir del cual se obtiene un vector de intensidades en el consumo de agua, es decir, consumo de agua por unidad de producción $\mathbf{w} = (w_i^r) = \left(\frac{w_i^r}{x_i^r}\right)$, podemos calcular el agua total consumida en la economía de cada sector y país, y vincular la misma a la producción de los distintos bienes finales en el mundo. En particular, podemos obtener una descripción detallada de todos los flujos de agua en el mundo, sus orígenes y destinos, conectando de esta forma, la perspectiva de la producción (dónde se consume de forma directa el agua) y la perspectiva de la demanda (dónde termina el agua consumida, en qué bienes está cristalizada el agua, dicho de otra forma, para qué bienes y países se está consumiendo agua en el mundo). Ello se representa en la matriz $\mathbf{\Omega}$ ($(m \times n) \times (m \times n)$) como:

$$\mathbf{\Omega} = (w_j^{rs}) = \hat{\mathbf{w}}\mathbf{L}\tilde{\mathbf{y}} = \begin{pmatrix} \mathbf{\Omega}^{11} & \mathbf{\Omega}^{12} & \dots & \dots & \mathbf{\Omega}^{1m} \\ \mathbf{\Omega}^{21} & \mathbf{\Omega}^{22} & \dots & \dots & \mathbf{\Omega}^{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \underline{\mathbf{\Omega}}^{r1} & \dots & \mathbf{\Omega}^{rs} & \dots & \mathbf{\Omega}^{rm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{\Omega}^{m1} & \mathbf{\Omega}^{m2} & \dots & \dots & \mathbf{\Omega}^{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{w}}^1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{w}}^2 & \dots & \dots & \mathbf{0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{0} & \dots & \hat{\mathbf{w}}^r & \dots & \mathbf{0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \dots & \hat{\mathbf{w}}^m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{L}^{11} & \mathbf{L}^{12} & \dots & \dots & \mathbf{L}^{1m} \\ \mathbf{L}^{21} & \mathbf{L}^{22} & \dots & \dots & \mathbf{L}^{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{L}^{r1} & \dots & \mathbf{L}^{rs} & \dots & \mathbf{L}^{rm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{L}^{m1} & \mathbf{L}^{m2} & \dots & \dots & \mathbf{L}^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{y}}^{11} & \hat{\mathbf{y}}^{12} & \dots & \dots & \hat{\mathbf{y}}^{1m} \\ \hat{\mathbf{y}}^{21} & \hat{\mathbf{y}}^{22} & \dots & \dots & \hat{\mathbf{y}}^{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{\mathbf{y}}^{r1} & \dots & \hat{\mathbf{y}}^{rs} & \dots & \hat{\mathbf{y}}^{rm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{\mathbf{y}}^{m1} & \hat{\mathbf{y}}^{m2} & \dots & \dots & \hat{\mathbf{y}}^{mm} \end{pmatrix} \tag{4}$$

El elemento genérico de dicha matriz ω_{ij}^{rs} muestra el consumo de agua en el país r y sector i realizado para producir los *inputs* que de forma directa e indirecta terminan en el bien j consumido en el país s . Por su parte, las distintas submatrices Ω^{rs} capturan los flujos de agua incorporados en las relaciones de compraventa entre dos países desde esta perspectiva integrada. Así, si $r \neq s$, Ω^{rs} representa el consumo de agua en el país r incorporada en las exportaciones al país s , mientras que cuando $r = s$, Ω^{rs} muestra los flujos directos e indirectos de agua dentro de un país.

En consecuencia, sumando verticalmente en la matriz, es decir, $\sum_s \Omega^{rs}$, obtenemos el consumo total de agua en el mundo ligado a la producción de los bienes finales consumidos en un país s (la huella hídrica del consumo de ese país, perspectiva del consumo). Por el contrario, sumando horizontalmente, $\sum_r \Omega^{rs}$ obtenemos el consumo directo de agua en la producción de ese país (perspectiva de la producción), informando los elementos de las filas de la distribución de ese consumo según el país de destino de los bienes. Obviamente, la suma total por filas y columnas de los elementos de la matriz Ω coincide, mostrando que el modelo *input-output* no hace sino realizar una atribución del agua consumida en los procesos de producción de los países mediante otro criterio, atribuyendo el agua al destino final de los bienes producidos. Finalmente, los distintos elementos de la matriz Ω nos dan información de los orígenes y destinos de la producción y de los flujos de agua incorporados, siendo posible obtener una completa descripción de los flujos de agua cristalizados en las cadenas productivas globales.

Partiendo de este modelo para la economía global, una vez que obtenemos las interrelaciones completas entre todos los sectores y países del mundo, en este trabajo nos centraremos en el análisis de aquellos flujos relativos a la producción y a la demanda española, prestando atención a la evolución de los mismos en el tiempo, así como a su composición productiva y geográfica. Hay que destacar que la visión presentada tiene un carácter fundamentalmente productivo, y en este sentido, no incluye el consumo directo de agua por parte de los hogares, que debería añadirse como un elemento más a la hora de calcular el consumo total de agua ligado al desarrollo de la actividad económica. Este consumo representaría, para una economía como la española, en torno al 1,5 % del total en 2016 (Stadler *et al.*, 2018). De esta forma, se pone de manifiesto el papel de los hogares y de las dinámicas urbanas, como impulsores, fundamentalmente indirectos, del consumo de agua.

Por tanto, las hipótesis de trabajo son: (i) que la especialización productiva y regional es importante en la determinación de los impactos de una economía sobre el consumo de agua; (ii) que la demanda final ejerce un papel significativo incentivando estos consumos a través de sus relaciones productivas, revelándose, por tanto, una responsabilidad del consumo en la evolución de los impactos; (iii) que la agricultura es un importante consumidor directo, pero también indirecto; (iv) que las tendencias se intensifican con la expansión comercial y la integración global entre sectores y países.

Desde el punto de vista empírico, utilizamos la versión 3.7 de EXIOBASE (Stadler *et al.*, 2018), la cual ofrece información integrada de las relaciones de producción

y consumo entre 44 países del mundo (y 5 grandes regiones que engloban al resto de áreas)¹ para 163 sectores económicos durante el periodo 1995 a 2016. Asimismo, esta base de datos ofrece información ambiental armonizada, permitiendo extender el modelo para el consumo de agua. El consumo o uso consuntivo de agua se define como el agua extraída de su fuente para ser utilizada (en nuestro caso en los distintos sectores que conforman la estructura productiva) y que no se podrá reutilizar debido a que se haya evapotranspirado o a que esté embebida o incorporada en productos. El consumo de agua se diferencia del uso de agua. Mientras el uso hace referencia a toda el agua extraída de cualquier fuente subterránea o superficial, el consumo incluye solo la parte o fracción que no podrá volver a usarse (FAO, 2020; Hoekstra *et al.*, 2011). La principal ventaja de esta base de datos multirregional y multisectorial frente a otras fuentes alternativas, es el elevado grado de desagregación sectorial de la agricultura y ganadería, así como de la industria agroalimentaria, lo cual, es especialmente relevante para el análisis de los impactos sobre el agua².

Por otra parte, el trabajo se focaliza en el agua azul, esto es, el agua de fuentes superficiales (ríos, lagos, etc.) o subterráneas (pozos, acuíferos, etc.) (Falkenmark, 1995; Hoekstra *et al.*, 2011). Como se ha señalado anteriormente, frente al agua verde, el agua azul puede ser almacenada y, por tanto, gestionada, siendo posible su uso para el regadío, la industria o los hogares (Hoekstra, 2019). Dada la posibilidad de utilizar el agua azul para múltiples fines productivos, en este trabajo nos centraremos en su análisis, dejando al margen el estudio del consumo de agua verde y del agua gris.

4. Resultados y discusión

En esta sección de resultados se evalúan las tendencias y patrones en el consumo de agua asociadas a la estructura productiva española entre 1995 y 2016 y estimadas mediante un modelo multirregional *input-output* extendido ambientalmente. Ello permitirá analizar el consumo de agua asociado al componente doméstico de la economía y a los flujos comerciales de exportación e importación, así como evaluar la composición productiva y regional de tales componentes. El objetivo es mostrar cómo el modelo permite calcular macro indicadores económicos relacionados con el consumo de agua en la economía española y cómo la evolución de la estructura económica condiciona el agua incorporada en la producción y la demanda final.

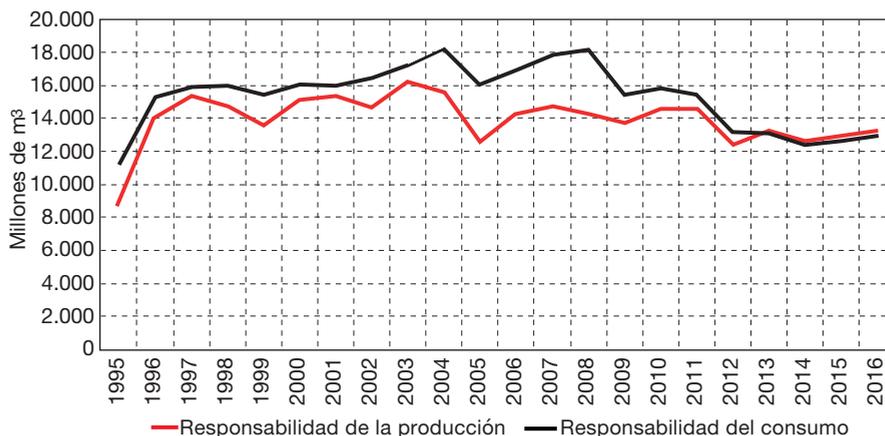
¹ La lista de países incluidos en la base de datos EXIOBASE se muestra en el Cuadro A1 del apéndice con sus correspondientes códigos ISO3.

² Además de EXIOBASE, otra fuente de datos multirregionales con alta desagregación sectorial es EORA (<https://worldmrio.com>). Se trata de tablas MRIO mundiales con desagregación de más de 180 países y un total de 2720 ítems ambientales. No cuenta, sin embargo, con un desglose agrario significativo. Algo similar ocurre con WIOD y las cuentas ambientales asociadas (<http://www.wiod.org/database/eas13>) con un nivel de desagregación sectorial elevado, pero sin desglose de la agricultura e información sobre consumo de agua disponible solo hasta 2009.

Como el Gráfico 1 muestra, el consumo de agua en España experimentó considerables altibajos a lo largo del periodo 1995-2016. Si atendemos a los diferentes enfoques de medición, esto es, a la responsabilidad de la producción y a la responsabilidad del consumo (huella hídrica), puede verse que el segundo ofrece una medida superior del consumo de agua prácticamente durante todo el horizonte temporal. Mientras que la media del uso consuntivo de agua cuantificado a través de la responsabilidad de la producción se situó en torno a 13.855 millones de metros cúbicos, esta alcanzó 15.434 millones de metros cúbicos si consideramos la responsabilidad del consumo. Es decir, fue aproximadamente un 11 % mayor en media.

A pesar de estas diferencias de magnitud, la evolución experimentada por ambas series fue bastante paralela, mostrando tasas de crecimiento medias en torno a $-0,2\%$ y $0,7\%$. Lo anterior nos indicaría que el consumo de agua asociado a la estructura productiva española se mantuvo en valores similares entre los dos años extremos analizados, 1995 y 2016. No obstante, las series no presentan una trayectoria estable, sino que es posible fijar dos etapas claramente diferenciadas. En la primera, para el horizonte 1995-2003, el consumo de agua mostró una tasa de crecimiento medio anual de alrededor del $4,2\%$ para el caso de la responsabilidad de la producción, siendo más moderado si evaluamos la huella hídrica, con un crecimiento medio del $3,7\%$. A un intenso incremento entre 1995 y 1997, le siguió una expansión más moderada hasta 2003, especialmente para el caso de la responsabilidad de la producción. Uno de los factores que puede explicar esta tendencia es la evolución de la superficie de regadío en el periodo. Según datos del Anuario de Estadística Agraria (MAPA, varios años), esta se incrementó en torno a un 10% ($1,2\%$ medio

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN ESPAÑA MEDIDO CON EL
ENFOQUE DE RESPONSABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y DEL CONSUMO
(1995-2016)



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

anual), siendo la expansión de la superficie regada del país especialmente intensa hasta 1997. En concreto, el crecimiento de la superficie de regadío entre 1995 y 1997 representa un 86 % del aumento experimentado entre 1995 y 2003.

En segundo lugar, a partir de los años 2003/2004 el consumo de agua comenzó a reducirse hasta 2016, siendo las tasas de crecimiento medias anuales del $-1,6\%$ y del $-2,7\%$ para los casos de la responsabilidad de la producción y del consumo, respectivamente. En cuanto a la agricultura, durante estos años, la superficie de regadío continuó creciendo, aunque de forma más moderada ($0,5\%$ de media al año). Sin embargo, fueron importantes los esfuerzos que se produjeron para la mejora de la eficiencia del regadío desde 2002, que culminaron con la aprobación del Plan Nacional de Choque para la Modernización de Regadíos en 2006. Las implicaciones de este proceso de modernización se han evaluado desde la perspectiva de la reducción de la contaminación del agua, del aumento del consumo energético, del incremento inversor en la agricultura o del conocido como efecto rebote (Lecina *et al.*, 2010; López-Gunn *et al.*, 2012; Rodríguez-Díaz *et al.*, 2011; Ward & Pulido-Velázquez, 2008). Lo que parece claro, es que el esfuerzo inversor se tradujo en un importante cambio de los métodos de riego. Así, según la información proporcionada por MAPA (2017), mientras que en 2007 el riego por gravedad representaba un 33 % de las hectáreas de regadío totales en España, este porcentaje era del 26 % en 2016. Por el contrario, se produjo un importante ascenso del riego localizado, que pasó del 45 % al 51 % del total entre 2007 y 2016.

La caída en el consumo de agua producida desde 2003/2004 a 2016 no estuvo exenta de oscilaciones cíclicas. Como puede verse en el Gráfico 1, durante los años en los que España experimentó un fuerte crecimiento económico, esto es, entre 2000 y 2007, el uso de agua creció notablemente. Por un lado, en este periodo se produjo el auge de la construcción, que en sí mismo es un consumidor destacable de agua y que tiene importantes interconexiones a lo largo de la cadena de producción con otros sectores que le proveen de materiales. Por otro lado, durante estos años la creciente demanda nacional e internacional impulsó otras ramas de actividad como el turismo o la restauración, ambas con fuertes vínculos productivos con la industria agroalimentaria y, por ende, con el mayor consumidor directo de agua del país, la agricultura. Asimismo, fue en los años de mayor crecimiento económico cuando la brecha entre los dos enfoques de medición se amplió, siendo la huella hídrica aproximadamente un 24 % mayor que el consumo directo de agua. Ello se explica por la diferente evolución seguida por el agua incorporada en las exportaciones y en las importaciones españolas, la cual se analiza con detalle posteriormente.

Sectorialmente, tal y como se muestra en el Gráfico A1 del apéndice, el cultivo de frutas, vegetales y cereales representa aproximadamente el 80 % del consumo de agua directo en España, situándose el peso medio de las frutas y vegetales en torno al 45 %. Como hemos visto, el regadío es esencial para producir este tipo de cultivos en un país eminentemente semiárido. Por otra parte, el Gráfico A2 detalla los sectores con más peso en la huella hídrica de España, esto es, aquellos que generan mayor impacto directo o indirecto sobre el agua, tanto doméstica como de otros países

fuera de las fronteras españolas. En este caso, siguen destacando las distintas ramas de la agricultura y, además, ganan peso la industria agroalimentaria (incluyendo el procesado de bebidas) y algunos servicios como el sector de hoteles y restaurantes. Este supone alrededor del 13 % de la huella hídrica total y alcanzó su mayor cuota en los años previos a la crisis económica de 2008. Además, tal y como se comenta anteriormente, cabe destacar el protagonismo creciente de la construcción en la huella hídrica española, especialmente hasta 2008, lo cual muestra las interrelaciones que se producen a lo largo de la cadena de producción mundial que generan impactos sobre el agua.

Tal y como se explica en la sección de Metodología, los modelos multirregionales *input-output* extendidos ambientalmente nos permiten distinguir qué parte del consumo de agua puede atribuirse a los intercambios productivos que se generan domésticamente y a las relaciones que se dan con el exterior. Por ello, en el Cuadro 1 se muestra el porcentaje asociado a cada una de estas partidas. Parece claro que el componente doméstico es predominante a la hora de explicar el consumo de agua en España, independientemente del enfoque de medición utilizado. Esto es, la mayor parte del consumo de recursos hídricos vinculado a la estructura productiva española se genera debido a los bienes y servicios que se producen y consumen en el país. No obstante, este componente ha tendido a perder peso a lo largo del periodo de análisis en favor del consumo de agua asociado a los flujos comerciales.

CUADRO 1
DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POR COMPONENTE DOMÉSTICO
Y DE COMERCIO
(En %)

	Responsabilidad de la producción		Responsabilidad del consumo	
	Doméstico	VWX	Doméstico	VWM
1995-1996	76,3	23,7	64,4	35,6
1997-1998	72,4	27,6	67,8	32,2
1999-2000	71,1	28,9	63,9	36,1
2001-2002	69,0	31,0	63,1	36,9
2003-2004	70,7	29,3	62,9	37,1
2005-2006	71,0	29,0	57,0	43,0
2007-2008	69,2	30,8	55,3	44,7
2009-2010	67,6	32,4	60,3	39,7
2011-2012	62,9	37,1	58,4	41,6
2013-2014	59,2	40,8	59,4	40,6
2015-2016	56,9	43,1	57,5	42,5

NOTA: Promedios bianuales. Doméstico: componente doméstico. VWX: exportaciones de agua virtuales. VWM: importaciones de agua virtuales.

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

Así, el agua incorporada en las exportaciones de bienes y servicios españolas ha pasado de ser el 23,7 % del consumo de agua directo total en 1995/1996 al 43,1 % en la actualidad. Vemos que su peso casi se ha duplicado, lo cual no solo se explica por el fuerte crecimiento de las exportaciones de agua virtual en España, que aumentaron al 3,7 % anual en media entre 1995 y 2016, sino también por la caída del consumo directo de agua para fines domésticos. La entrada de España en la Unión Europea en 1986 y su posterior incorporación a la Organización Mundial del Comercio en 1995 dieron paso a un importante despegue de las exportaciones agroalimentarias españolas que se mantuvo a lo largo del tiempo (Clar *et al.*, 2015; Duarte *et al.*, 2016). Concretamente, destacan las exportaciones de cultivos de regadío como las frutas y hortalizas, además de otros bienes de la industria agroalimentaria como el vino y el aceite de oliva, ambos producidos a partir de cultivos (el viñedo y el olivar) que han tendido a producirse en regadío de forma creciente. El crecimiento de las exportaciones de la industria agroalimentaria todavía ha sido más importante. Entre 1995 y 2015, se han más que triplicado en términos reales, no solo por las ventajas de acceder al mercado único europeo, sino también por el impulso producido por el llamado efecto de mercado doméstico (*home market effect*), es decir, la especialización en productos diferenciados aprovechando haberse alcanzado economías de escala (Serrano *et al.*, 2015). Por tanto, el incremento de las exportaciones de productos agrícolas de regadío y de la industria agroalimentaria estaría detrás del auge de las exportaciones de agua virtual azul.

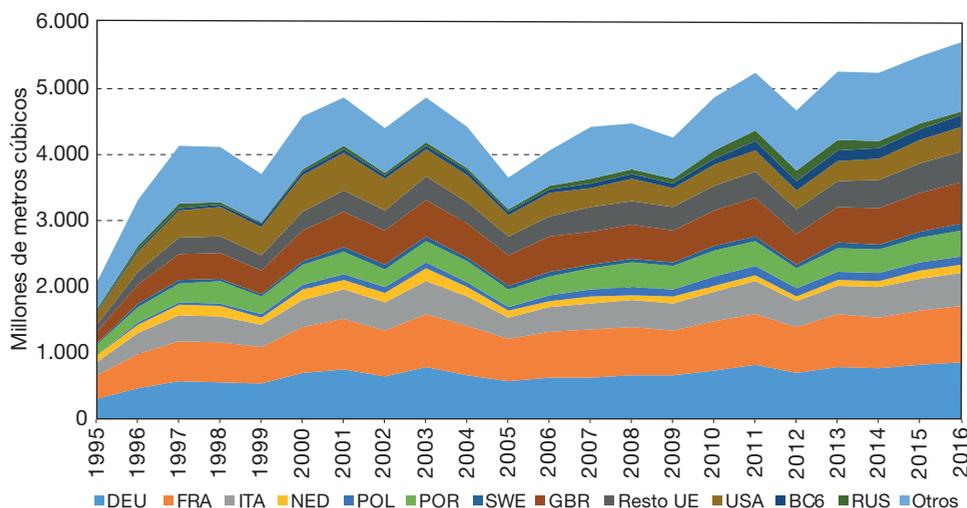
De la misma manera, el agua incorporada en las importaciones también ha crecido en términos relativos, representando un 35,6 % de la huella hídrica española en 1995/1996 y un 42,5 % en 2015/2016. Las importaciones virtuales de agua azul aumentaron al 0,8 % de media cada año, esto es, a un ritmo mucho más moderado que el agua incorporada en las exportaciones. El crecimiento de las importaciones virtuales de agua azul se explica mayoritariamente por el agua azul incorporada en las importaciones de productos agrarios como cereales, frutas y vegetales, así como de otros bienes procesados de la industria agroalimentaria. En esta línea, usando un enfoque *bottom-up* para el análisis de los flujos comerciales agrarios de agua virtual en España, Duarte *et al.* (2016) ya mostraban el auge de estas partidas desde 1965.

Dado el distinto peso y la diferenciada evolución del consumo de agua asociado a los intercambios domésticos y a los flujos comerciales con el exterior, a continuación, se analizan las características particulares de cada uno de estos componentes. En primer lugar, el uso consuntivo de recursos hídricos españoles que se utilizan para satisfacer la demanda productiva nacional, creció de forma errática entre 1995 y 2007, en torno al 1,5 % medio anual, pero a partir de 2007 experimentó un notable descenso, mostrando una tasa de crecimiento media anual del -3,3 %. La agricultura representaba en promedio el 90 % del consumo directo de agua doméstico en España, siendo un 41 % el consumo de agua azul asociado a cereales y un 39 % al regadío de las frutas y vegetales. Mientras que los primeros se procesan y terminan satisfaciendo demandas finales de la industria agroalimentaria o del sector de hoteles y restaurantes, los segundos son destinados en su mayoría al consumo final. Además,

las frutas y vegetales explican más del 75 % de la caída en el consumo de agua que se produjo a partir de 2007. En consecuencia, estos datos confirman la tesis planteada previamente acerca de la importancia de la agricultura y de la mejora en la eficiencia del regadío para explicar la caída del consumo de agua que se observa durante el periodo.

En segundo lugar, tal y como comentamos anteriormente, las exportaciones de agua virtual crecieron al 3,7 % al año de media, doblándose entre 1995 y 2016. Como puede verse en el Gráfico 2, una gran parte de las mismas, el 71 % en promedio durante todo el periodo, se concentraron en los países de la Unión Europea. Dentro de esta región, el agua azul incorporada en las exportaciones españolas tuvo como destino principal Francia, Alemania, Reino Unido, Italia y Portugal. La entrada de España en la Comunidad Europea en 1986 supuso el fortalecimiento de las relaciones comerciales con sus socios europeos y, con ello, una aceleración de las exportaciones agroalimentarias españolas, fuertemente sustentadas en el agua de regadío (Clar *et al.*, 2015; Duarte *et al.*, 2016). En el resto del mundo, los recursos hídricos españoles tenían como destino final la demanda de Estados Unidos y de China. Mientras que la primera perdió cuota a lo largo de periodo, el gigante asiático ganó peso en las exportaciones de agua azul virtual de España. Por productos, las frutas y vegetales representaron más de la mitad de las exportaciones de agua azul virtual, siendo este porcentaje cercano al 50 % en 1995, al 65 % en los primeros años de la década de los 2000 y al 56 % en la actualidad.

GRÁFICO 2
EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES VIRTUALES DE AGUA POR PAÍSES DE DESTINO (1995-2016)

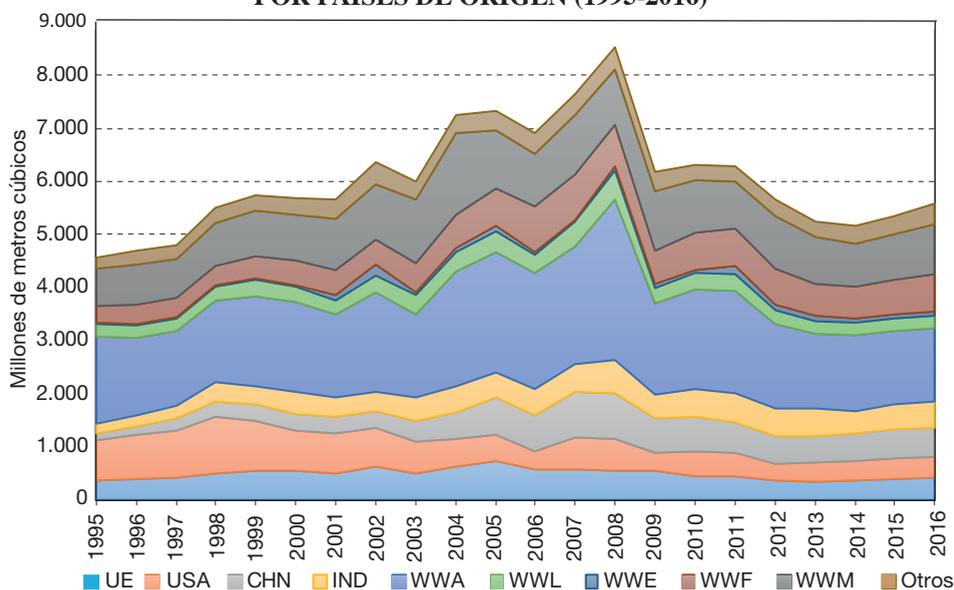


NOTA: El significado de las abreviaturas se encuentra recogido en el Cuadro A1 del apéndice.

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

En tercer lugar, si analizamos las importaciones de agua azul virtual, en el Gráfico 3 podemos observar el moderado crecimiento entre 1995 y 2016. No obstante, el gráfico muestra una intensa expansión de las importaciones de agua azul virtual hasta 2008 (del 4,7 % medio anual) y una caída de las mismas a partir de ese momento (del 4,1 % de media al año). El crecimiento inicial viene dado por el auge de las importaciones de agua desde países como China e India, así como de otras áreas de Asia y el Pacífico, de África o de los países de Oriente Medio. Por el contrario, la reducción de las importaciones de agua virtual a partir de 2008 se explica en su mayor parte por la caída de los flujos procedentes de Asia y el Pacífico (incluyendo China) y América Latina. El inicio de esta reducción coincide con la crisis económica que comenzó en ese año y que se extendió a lo largo de una década en España. Puede comprobarse, por tanto, que entre 1995 y 2016 España importaba recursos hídricos principalmente de países en desarrollo. Sin embargo, la Unión Europea y Estados Unidos mostraban un peso menor en las importaciones de agua azul virtual de España. Las importaciones de agua procedentes de otros países de la Unión Europea representaban en torno al 8 % del total en media, y su peso tendió a ser decreciente, siendo las compras a los países vecinos como Francia o Portugal las más relevantes en términos de agua incorporada. Además, la cuota de Estados Unidos en las importaciones de agua española cayó drásticamente, pasando de alcanzar en torno al 19 % del total al inicio del periodo hasta el 7 % hoy en día. En su mayoría, España importa

GRÁFICO 3
EVOLUCIÓN DE LAS IMPORTACIONES VIRTUALES DE AGUA
POR PAÍSES DE ORIGEN (1995-2016)



NOTA: El significado de las abreviaturas se encuentra recogido en el Cuadro A1 del apéndice.

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

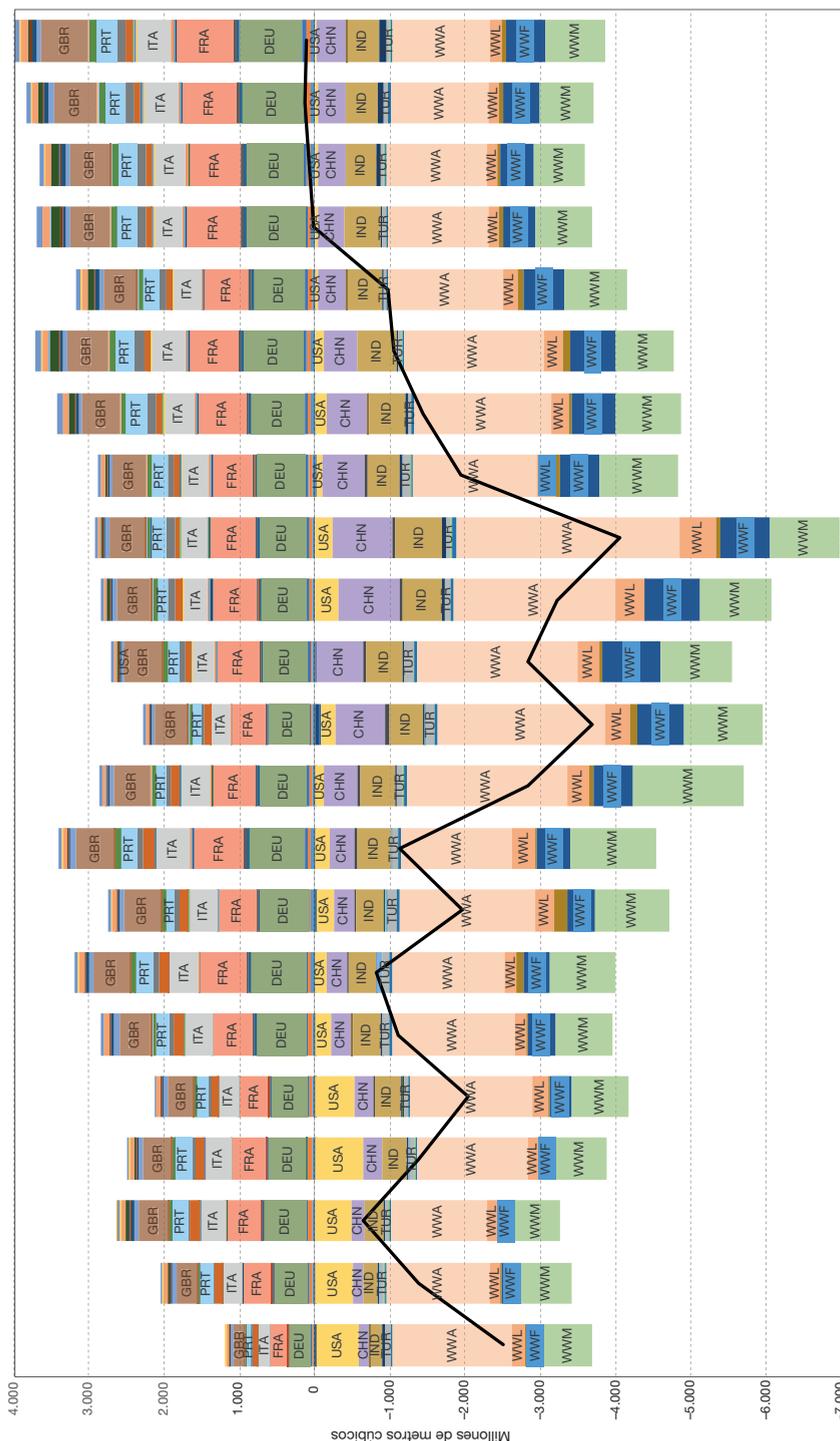
agua incorporada en las compras de productos agrícolas y agroalimentarios y, cada vez en mayor medida, en artículos de ropa y vestir (procedentes de áreas en desarrollo en África y Asia), en productos químicos (de India, China y Oriente Medio) y de la construcción (de China y otros países de Asia y el Pacífico), así como en el sector de hoteles y restaurantes de otras zonas del mundo.

Terminaremos esta sección analizando qué ocurre con las exportaciones netas de agua azul virtual. Este indicador nos permite evaluar en qué medida el impacto que las relaciones comerciales con otros países generan sobre los recursos hídricos domésticos de España es mayor o menor que el que la actividad productiva de nuestro país induce sobre el agua de otras regiones del planeta. Esto es, si España es exportadora neta de agua, diremos que el resto del mundo está generando mayores presiones ambientales en España de las que el país genera en el exterior. Es decir, las presiones sobre el agua se estarían trasladando a España en términos netos. Por el contrario, si España es importadora neta de agua, puede decirse que, en términos relativos, se estarían externalizando las presiones sobre el agua azul a otras zonas del mundo. Así, el Gráfico 4 muestra la evolución de las exportaciones netas de agua azul totales de España (línea negra), además del valor de estas exportaciones netas con cada uno de los países de forma individualizada (barras). Cuando la barra presente valor positivo, diremos que España es un exportador neto de agua a ese país. Por el contrario, cuando sea negativo, podremos concluir que España está importando agua en términos netos del país en cuestión.

En el Gráfico 4 se observa cómo desde 1995 a 2013 España fue importadora neta de agua azul a causa de las relaciones comerciales asociadas a los sectores involucrados en toda la cadena de producción mundial. Las importaciones netas siguieron una senda creciente hasta 2008, mostrando una tasa de crecimiento superior al 5 %. A partir de 2008 empezaron a disminuir con intensidad. Esta caída de las importaciones netas de agua fue tal que España se convirtió en un país exportador neto de agua azul a partir de 2013. La dinámica reacción de las exportaciones españolas durante la crisis económica, coincidente con una clara atonía de las importaciones, implicó que la mejora en la balanza comercial española se tradujera en este cambio de posición en cuanto a las exportaciones netas de agua azul, especialmente si tenemos en cuenta que las exportaciones agroalimentarias tuvieron un papel destacado durante esos años. Así la tasa de cobertura (exportaciones sobre importaciones) pasó de ser un 67 % en 2008 a un 93 % en 2016.

En términos netos, España importaba agua principalmente de países en desarrollo de Asia y el Pacífico, Oriente Medio y África. Además, como puede verse en el Gráfico 4, a partir de 2004, países como China e India ganaron peso, en detrimento de las importaciones netas de agua virtual procedentes de Estados Unidos. Por el contrario, España fue exportador neto de agua azul virtual a los países de la Unión Europea durante todo el periodo. Destacan los flujos a los principales miembros de la región como Alemania, Francia o Reino Unido, o a países cercanos geográficamente y culturalmente como Italia y Portugal. En consecuencia, las relaciones comerciales de España con el resto del mundo nos estarían mostrando un claro patrón en lo que

GRÁFICO 4
EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES NETAS DE AGUA VIRTUAL POR PAÍSES (1995-2016)



NOTA: El significado de las abreviaturas se encuentra recogido en el Cuadro A1 del apéndice.
FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

respecta a los impactos sobre el agua. Mientras que España tendió a generar importantes presiones sobre los recursos hídricos de otros países en desarrollo, los países de la UE, con los que mantiene fuertes vínculos comerciales históricos, estarían externalizando sus impactos sobre el agua a España.

5. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han presentado un conjunto de indicadores económico-ambientales que informan del impacto de la actividad económica sobre el consumo de agua. Este tipo de estudios en los que se vincula la actividad económica con su impacto sobre el medio natural resultan de vital importancia, especialmente en regiones semi-áridas como España, altamente vulnerables en un contexto de cambio climático.

Para ello se ha utilizado un modelo multirregional *input-output* extendido ambientalmente. Estos modelos, ampliamente usados en la literatura científica reciente, poseen importantes ventajas que los convierte en una herramienta óptima para el caso de estudio que nos ocupa. En primer lugar, analizan los impactos que la actividad económica ejerce sobre el medioambiente. Además, consideran las relaciones intersectoriales e interregionales de las economías, captando el agua asociada a la globalización y a la creciente fragmentación de las cadenas de producción global. Asimismo, permiten cuantificar simultáneamente el consumo de agua tanto desde la perspectiva del consumo como de la producción, ofreciendo indicadores para la evaluación de las responsabilidades directas e indirectas de los agentes en los impactos sobre el agua, claves para la discusión en torno a la responsabilidad compartida en dichas presiones.

Desde el punto de vista empírico, tomando como referencia el horizonte 1995-2016, se evalúa el consumo de agua en España asociado a los cambios en la estructura productiva y sectorial del país, y a sus vínculos internacionales a través de las cadenas de producción mundial. Se identifican las principales tendencias y patrones productivos.

Nuestros resultados muestran que, aunque el consumo de agua se mantuvo básicamente estable entre 1995 y 2016, hubo realmente dos etapas diferentes. Una primera de incremento en el consumo hasta 2003, y una segunda de caída en aquel, desde 2004. Sectorialmente, el consumo directo de agua en España estuvo fuertemente vinculado a la agricultura, destacando cultivos de regadío como los cereales, las frutas y los vegetales. Además, si tenemos en cuenta el consumo de agua asociado a las ligazones que se producen a lo largo de la cadena de valor mundial, esto es, la huella hídrica, destacan otros sectores no primarios como la industria agroalimentaria, la restauración, la hostelería y la construcción, esta última fuertemente condicionada por la coyuntura económica previa a la crisis económica de 2008.

En el consumo de agua en España generado por los cambios en la estructura productiva, ha sido mucho más relevante el componente doméstico que el asociado

a los flujos comerciales. Sin embargo, es muy importante destacar que este último ha ganado peso sustancialmente a lo largo del periodo, ya que casi se ha duplicado tanto por el fuerte crecimiento de las exportaciones de agua virtual, como por la caída del consumo directo de agua para fines domésticos. Como consecuencia, España se convirtió en un exportador neto de agua azul a partir de 2013, a lo que también contribuyó el débil crecimiento de sus importaciones tras la crisis de 2008. Estas exportaciones netas tuvieron como destino principal los países de la Unión Europea, lo cuales externalizaron los impactos sobre el agua en España de forma creciente. Por el contrario, España destacó como importador neto de agua azul procedente de países en desarrollo, mostrando un patrón dual en las relaciones comerciales y de presión sobre los recursos hídricos. Los resultados indican, en definitiva, una continuada presión sobre los recursos domésticos, ligada a su proceso de expansión económica y comercial, lo que en un contexto de reducción e irregularidad de la oferta de agua representa un cuello de botella para el propio sistema económico, a la vez que pone de manifiesto la insostenibilidad de determinadas especializaciones productivas. Los indicadores presentados contribuyen a aportar luz sobre el papel de los hogares como impulsores indirectos del consumo de agua, principalmente a través de las demandas alimentarias, así como el impacto en términos de presión hídrica, de la transformación de los sectores agrarios y agroalimentarios como consecuencia de su creciente integración en los mercados globales. La posibilidad de desarrollar los indicadores a distintas escalas (regional, cuenca hidrográfica, país, etc.) y el hecho de disponer de una sólida metodología, así como bases de datos con elevado detalle, permiten avanzar en el objetivo de la gestión integrada de los recursos hídricos y en una mejor consideración de sus dimensiones local-global.

Referencias bibliográficas

- Allan, J. A. (1993). Fortunately There Are Substitutes for Water Otherwise Our Hydropolitical Futures Would Be Impossible. *En Proceedings of the conference on priorities for water resources allocation and management. Natural Resources and Engineering Advisers Conference* (pp. 13-26). Overseas development administration.
- Allan, J. A. (2011). *Virtual Water: Tackling the Threat to Our Planet's Most Precious Resource*. I.B. Taurus.
- Allan, J. A., Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M., Federico, G., & Schulz, N. (1997). 'Virtual water': A Long Term Solution for Water Short Middle Eastern Economies, *British Association Festival of Science. University of Leeds*, 9(2), 203-221.
- Cazcarro, I., Hoekstra, A. Y., & Sánchez Chóliz, J. (2014). The water footprint of tourism in Spain. *Tourism Management*, 40, 90-101.
- Cazcarro, Ignacio, Duarte, R., Martín-Retortillo, M., Pinilla, V., & Serrano, A. (2015). How Sustainable is the Increase in the Water Footprint of the Spanish Agricultural Sector? A Provincial Analysis between 1955 and 2005–2010. *Sustainability*, 7(5), 5094-5119. <https://doi.org/10.3390/su7055094>

- Cazcarro, Ignacio, Duarte, R., & Sánchez-Chóliz, J. (2013). Economic growth and the evolution of water consumption in Spain: A structural decomposition analysis. *Ecological Economics*, 96, 51-61.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.09.010>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). Water Footprints of Nations. (Value of Water Research Report Series No. 16). *UNESCO-IHE. Institute for Water Education*.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International*, 33(1), 19-32.
<https://doi.org/10.1080/02508060801927812>
- Clar, E., Serrano, R., & Pinilla, V. (2015). El comercio agroalimentario español en la segunda globalización, 1951-2011. *Historia Agraria*, 65, 149-186.
- Dalin, C., Konar, M., Hanasaki, N., Rinaldo, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2012). Evolution of the global virtual water trade network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 5989-5994. <https://doi.org/10.1073/pnas.1203176109>
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, *Official Journal L 327*, 22/12/2000 P. 0001-0073.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32000L0060>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2013). Is there an environmental Kuznets curve for water use? A panel smooth transition regression approach. *Economic Modelling*, 31(1), 518-527. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.12.010>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2014a). Looking backward to look forward: water use and economic growth from a long-term perspective. *Applied Economics*, 46(2), 212-224.
<https://doi.org/10.1080/00036846.2013.844329>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2014b). The effect of globalisation on water consumption: A case study of the Spanish virtual water trade, 1849-1935. *Ecological Economics*, 100, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.01.020>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2016). Globalization and natural resources: the expansion of the Spanish agrifood trade and its impact on water consumption, 1965-2010. *Regional Environmental Change*, 16(1), 259-272.
<https://doi.org/10.1007/s10113-014-0752-3>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2018). Factors driving embodied carbon in international trade: a multiregional input-output gravity model. *Economic Systems Research*, 30(4), 545-566. <https://doi.org/10.1080/09535314.2018.1450226>
- Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2021). Revisiting water and economic growth from a long-term perspective. En *Water Resources and Economic Processes* (pp. 9-33). London: Routledge.
- Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J., & Bielsa, J. (2002). Water use in the Spanish economy: An input-output approach. *Ecological Economics*, 43(1), 71-85.
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00183-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00183-0)
- Falkenmark, M. (1995). Land-water linkages: a synopsis. En F. and A. Organization (Ed.), *FAO, Land and water integration and river basin management, Proceedings of an FAO informal workshop* (pp. 15-16). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- FAO (2020). AQUASTAT.
- FAO (2021a). Crop Water Information. Recuperado de
<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/es/>

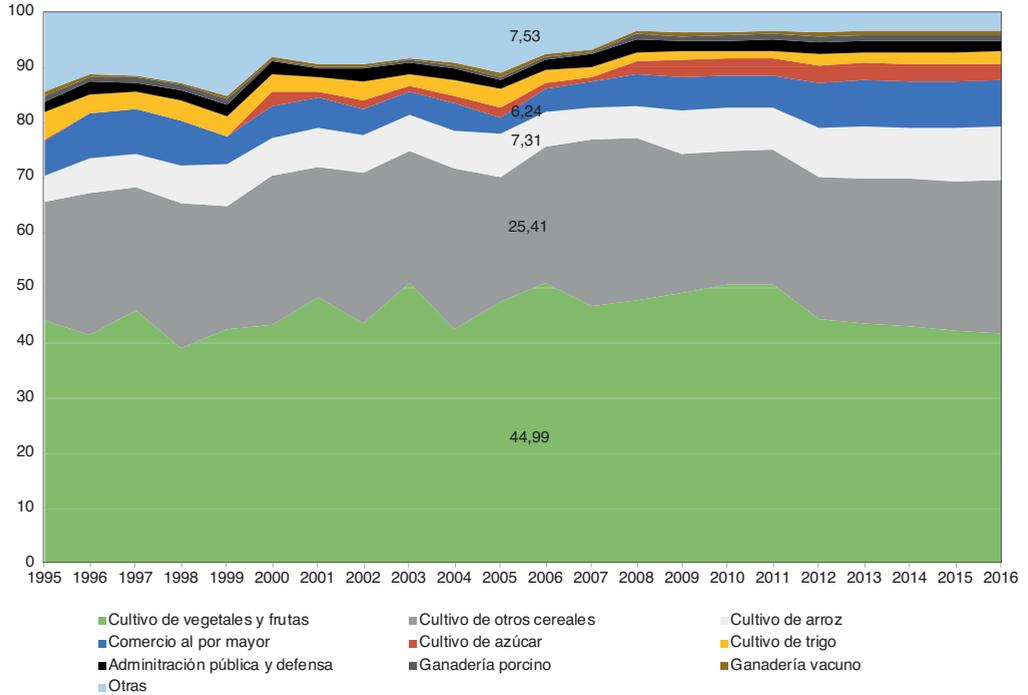
- FAO. (2021b). *FAOSTAT: Statistical database*.
- Feng, K., Chapagain, A. K., Suh, S., Pfister, S., & Hubacek, K. (2011). Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations. *Economic Systems Research*, 23(4), 371-385. <http://dx.doi.org/10.1080/09535314.2011.638276>
- Feng, K., Hubacek, K., Pfister, S., Yu, Y., & Sun, L. (2014). Virtual scarce water in China. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es500502q>
- Gleick, P. H. (2000). A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water International*, 25(1), 127-138. <https://doi.org/10.1080/02508060008686804>
- Guan, D., & Hubacek, K. (2007). Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics*, 61(1), 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.022>
- Hoekstra, A. Y. (2010). *The relation between international trade and freshwater scarcity*. WTO Staff Working Paper.
- Hoekstra, A. Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Advances in Water Resources*, 129, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.05.012>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Earthscan.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. *Value of Water Research Report Series* (Vol. 11). Delft. IHE.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>
- Hubacek, K., Baiocchi, G., Feng, K., Muñoz Castillo, R., Sun, L., & Xue, J. (2017). Global carbon inequality. *Energy, Ecology and Environment*, 2, 361-369. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0072-9>
- Hubacek, K., Feng, K., Minx, J. C., Pfister, S., & Zhou, N. (2014). Teleconnecting Consumption to Environmental Impacts at Multiple Spatial Scales. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 7-9. <https://doi.org/10.1111/jiec.12082>
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., & Aragiüés, R. (2010). Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality—a conceptual approach. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), 265-282. <https://doi.org/10.1080/07900621003655734>
- Leontief, W. (1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), 262-271. <https://doi.org/10.2307/1926294>
- López-Gunn, E., Mayor, B., & Dumont, A. (2012). Implications of the modernization of irrigation systems. En *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can We Square the Circle?* <https://doi.org/10.1201/b13078-24>
- MAPA (s. f.). Anuario de estadística agraria. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/>
- MAPA (2017). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo (ESYRCE)*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15, 401-415. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>

- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(5), 1577-1600. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1577/2011/>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press.
- Moran, D. D., Lenzen, M., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). Does Ecologically Unequal Exchange Occur? *Ecological Economics*, 89, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.02.013>
- ONU. (2018). Asamblea General de la ONU, Decenio de Acción del Agua. En *La respuesta está en la naturaleza*.
- Oppon, E., Acquaye, A., Ibn-Mohammed, T., & Koh, L. (2018). Modelling Multi-regional Ecological Exchanges: The Case of UK and Africa. *Ecological Economics*, 147, 422-435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.030>
- Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por lo que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, *Boletín Oficial del Estado*, nº 229, de 22 de septiembre de 2008, pp. 38472 a 38582. <https://www.boe.es/eli/es/o/2008/09/10/arm2656>
- Pasinetti, L. (1974). *Growth and Income Distribution—Essays in Economic Theory*. Cambridge University Press.
- Právělie, R., Patriche, C., & Bandoc, G. (2017). Quantification of land degradation sensitivity areas in Southern and Central Southeastern Europe. New results based on improving DISMED methodology with new climate data. *Catena*, 158, 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.006>
- Reimer, J. J. (2012). On the economics of virtual water trade. *Ecological Economics*, 75, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.011>
- Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S., & Gerten, D. (2009). Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resources Research*, 45(7). <https://doi.org/10.1029/2007WR006767>
- Rodríguez-Díaz, J. A., Pérez-Urrestarazu, L., Camacho-Poyato, E., & Montesinos, P. (2011). The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1000-1008. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110904-492-10>
- Sánchez-Chóliz, J., & Duarte, R. (2005). Water pollution in the Spanish economy: Analysis of sensitivity to production and environmental constraints. *Ecological Economics*, 53(3), 325-338. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.09.013>
- Serrano, R., García-Casarejos, N., Gil-Pareja, S., Llorca-Vivero, R., & Pinilla, V. (2015). The internationalisation of the Spanish food industry: the home market effect and European market integration. *Spanish Journal of Agricultural Research; Vol 13, No 3 (2015)*. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015133-7501>
- Shiklomanov, I. A. (2000). Appraisal and Assessment of world water resources. *Water International*, 25(1), 11-32. <https://doi.org/10.1080/02508060008686794>
- Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C. J., Simas, M., Schmidt, S., & Tukker, A. (2018). EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 502-515. <https://doi.org/10.1111/jiec.12715>

- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., & Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- UNESCO. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático*. Paris: UNESCO.
- United Nations. (2021). UN comtrade database. Recuperado de <http://comtrade.un.org/db/>
- Velázquez, E. (2006). An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. *Ecological Economics*, 56(2), 226-240. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.09.026>
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477), 284 LP - 288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. John Carpenter.
- Ward, F. A., & Pulido-Velázquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(47), 18215–18220. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805554105>
- Wiebe, K. S., & Yamano, N. (2016). Estimating CO2 Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015: Methodology and Results. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers No. 2016/05*. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.1787/5jlrcm216xkl-en>
- Wiedmann, T., Wilting, H. C., Lenzen, M., Lutter, S., & Palm, V. (2011). Quo Vadis MRIO? Methodological, data and institutional requirements for multi-region input-output analysis. *Ecological Economics*, 70(11), 1937-1945. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.06.014>
- Yang, H., Wang, L., & Zehnder, A. J. B. (2007). Water scarcity and food trade in the Southern and Eastern Mediterranean countries. *Food Policy*, 32(5), 585-605. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.11.004>

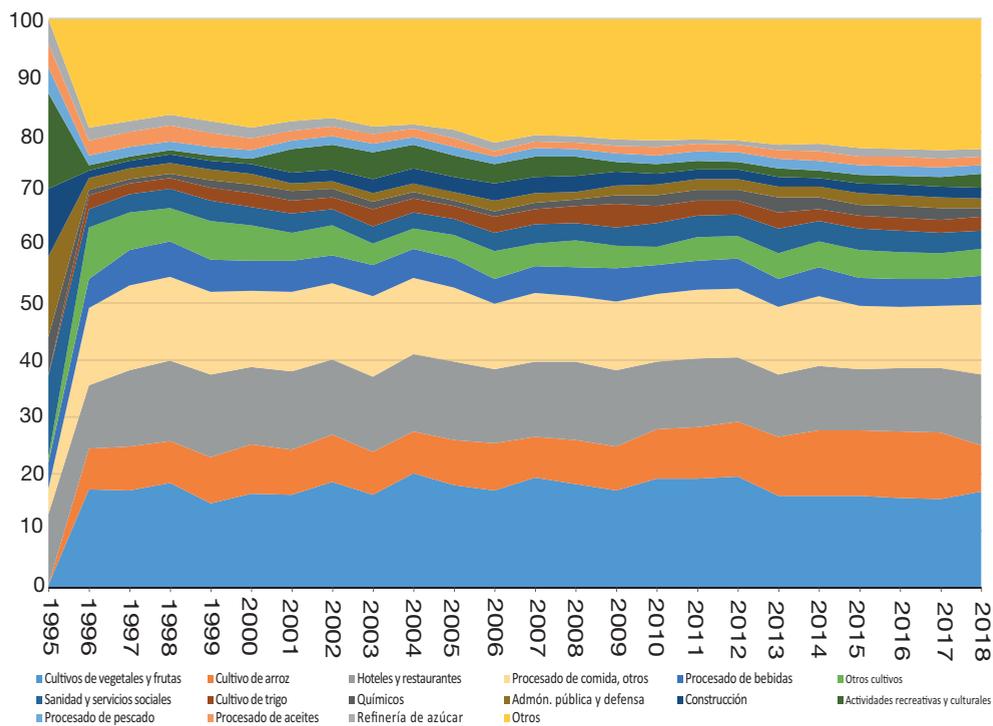
APÉNDICE

GRÁFICO A1
COMPOSICIÓN SECTORIAL DEL CONSUMO DE AGUA DIRECTO (1995-2016)
 (En %)



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

GRÁFICO A2
COMPOSICIÓN SECTORIAL DEL CONSUMO DE AGUA DIRECTO
E INDIRECTO (HUELLA HÍDRICA) (1995-2016)
(En %)



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.

CUADRO A1
LISTA DE PAÍSES CON SU CORRESPONDIENTE CÓDIGO ISO3
INCLUIDOS EN EL ESTUDIO

ISO3 code	Country name	ISO3 code	Country name
AUT	Austria	SVN	Eslovenia
BEL	Bélgica	SVK	República eslovaca
BGR	Bulgaria	GBR	Reino Unido
CYP	Chipre	USA	Estados Unidos
CZE	República Checa	JPN	Japón
DEU	Alemania	CHN	China
DNK	Dinamarca	CAN	Canadá
EST	Estonia	KOR	Corea del Sur
ESP	España	BRA	Brasil
FIN	Finlandia	IND	India
FRA	Francia	MEX	Méjico
GRC	Grecia	RUS	Rusia
HRV	Croacia	AUS	Australia
HUN	Hungría	CHE	Suiza
IRL	Irlanda	TUR	Turquía
ITA	Italia	TWN	Taiwan
LTU	Lituania	NOR	Noruega
LUX	Luxemburgo	IDN	Indonesia
LVA	Letonia	ZAF	Sudáfrica
MLT	Malta	WWA	Resto del mundo Asia y el Pacífico
NLD	Holanda	WWL	Resto del mundo América
POL	Polonia	WWE	Resto del mundo Europa
PRT	Portugal	WWF	Resto del mundo África
ROM	Rumanía	WWM	Resto del mundo Oriente Medio
SWE	Suecia		

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de EXIOBASE v.3.7.