



Aplicación de un modelo multiregional input-output para el estudio del agua gris en España

Autor: Ignacio Cazcarro

Institución: Universidad de Zaragoza

Otros autores: Rosa Duarte (Universidad de Zaragoza); Julio Sánchez-Chóliz (Universidad de Zaragoza)

Resumen

Se construye un modelo multi-regional input-output con las 17 regiones españolas, una cuenta de la Unión Europea (UE), y una cuenta del Resto del Mundo (RM), con el fin de estimar la huella del agua gris de las diferentes regiones, su comercio de agua virtual, y las presiones generadas sobre los recursos, dadas las diferentes disponibilidades de las regiones. El estudio se enmarca, por un lado, junto a los estudios de la huella hídrica desarrollados por Chapagain y Hoekstra (2003, 2004), etc., sobre todo las centradas en el impacto de la producción y la demanda en la contaminación de los recursos hídricos. Por otro lado, con los modelos interregionales input-output construidos para estudiar los flujos de agua y los impactos de las regiones en China (Okadera et al., 2005, Guan y Hubacek, 2007, Feng et al., 2011), Australia (Lenzen, 2008, 2009), México (Duchin y López, 2011). La construcción de matrices y modelos interregionales en España tiene su antecedente en los trabajos de Pérez (2001), Llano (2004, 2009) y Pérez et al. (2009), con el modelo INTERTIO, para el año 1995. En este trabajo, conciliamos algunas fuentes de los datos económicos (cuadros regionales, la contabilidad regional de España, y la base de datos C-Intereg), y los datos de agua gris generados a partir de las necesidades de agua de los cultivos obtenidos a partir de Mekonnen y Hoekstra (2011), las Cuentas Satélite del Agua (CSA, nacionales y regionales) y la legislación española sobre la calidad del agua (concentraciones máximas admisibles de contaminantes en el agua). En los resultados, hallamos el claro carácter de exportadores netas de regiones como Andalucía, Aragón, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Navarra, pero con efectos e implicaciones muy diferentes en la gestión local del agua.

Palabras claves: Huella hídrica; agua gris; input-output; responsabilidad ambiental

1 Introducción

En el campo de la economía y los estudios ambientales, una de las preocupaciones crecientes en la última década ha sido el análisis de los flujos incorporados o virtuales (según otros autores) y de las huellas ambientales, sobre todo impulsadas por el interés de conocer y reducir nuestro impacto sobre el planeta. El concepto de agua virtual de un producto desarrollado por Allan (1996) se ha ido definiendo como el volumen de agua que ha sido necesaria para producirlo. Estrechamente relacionado con el primer concepto, la huella de agua o huella hídrica (HH) se ha utilizado para medir la apropiación humana de los activos naturales en términos de los volúmenes necesarios para el consumo humano (Hoekstra, 2009). Dentro de esa HH, se distingue la del agua verde, la azul, y la gris. El agua verde es aquella parte de la precipitación que inicialmente se encuentran en la zona no saturada del suelo y por lo tanto no se filtra hacia los acuíferos o formar parte de la escorrentía superficial. El agua azul, es la parte que directa o indirectamente termina como los flujos de superficie. Finalmente, el agua gris, la clasificación sobre la que nos concentramos en este trabajo, es un indicador de la contaminación del agua asociada con la producción de un producto.

El análisis de agua virtual y huellas del agua permite un análisis más exhaustivo de las responsabilidades desde el punto de vista de la producción y el consumo en la presión sobre el agua. Así, el impacto de una población se puede medir por los recursos hídricos necesarios en la producción de los bienes y servicios en el país, menos la parte de los recursos que se necesitan para las exportaciones, más los volúmenes de agua incorporados de las importaciones (es decir, importaciones de agua virtual). Detrás de esas exportaciones e importaciones de agua virtual, al igual que ocurre con las ventas entre sectores de una región, se explican todas las cadenas de producción que finalmente acaban ejerciendo un impacto sobre el recurso. En esa línea, cabe ligar estos estudios con la posible excesiva dependencia que puede tener un país de las importaciones de bienes (y por tanto de los recursos utilizados como el agua), o por el contrario el posible exceso exportador (neto) de productos, y con ello de agua virtual de una región, incluso cuando los recursos pueden ser escasos, o tener mejores usos alternativos, o estar siendo contaminados de forma acelerada con la producción.

En España, la preocupación por la escasez de recursos y el elevado impacto sobre los recursos hídricos mundiales, medidos a través de la HH, ha sido estudiado en trabajos como Chapagain y Hoekstra (2003, 2004), Hoekstra y Chapagain (2007). Más centrados en España o en alguna de sus regiones, se han publicado otros estudios generales con similares técnicas centradas en las cadenas productivas agrarias, por ejemplo Garrido et al. (2010); con técnicas Input-output (IO) como las que utilizamos en el presente trabajo (e.g. Duarte et al., 2002, Dietzenbacher y Velázquez, 2007, Duarte et al., 2008); y otros más concretamente focalizados en el agua gris o la contaminación del agua como repasamos en los antecedentes.

Así, en la siguiente sección 2 se revisan algunos de los modelos input-output interregionales o multi-regionales (MRIO) internacionales y nacionales (de España) precedentes, en la construcción de medio ambiente (y en particular para el agua). La intuición de la metodología y los datos necesarios para construir el modelo se describen en la sección 3. La sección 4 analiza los resultados de los flujos y huellas de agua gris regionales, y en la sección 5 se concluye y se comentan las implicaciones políticas.

2 Antecedentes

Los principales antecedentes en España para construir una matriz interregional son los trabajos de Pérez (2001), Llano (2004, 2009) y Pérez et al. (2009). El primer modelo IO interregional (INTERTIO) construido para el año 1995 para las 17 Comunidades Autónomas españolas (CC.AA.), fue un esfuerzo importante en la estimación y la búsqueda de información útil para obtenerlo. En cualquier caso, la información inicial no fue homogénea en su adaptación a los criterios de evaluación principales de la SEC-95, pues las tablas originales IO para el año 1995 eran sólo 5 (Navarra, País Vasco, Asturias, Castilla y León y Andalucía) y para otras 5 regiones había tablas cercanas en el tiempo (Islas Canarias, Aragón, Comunidad Valenciana, Extremadura y Cataluña, en menor medida), por lo que fue necesario el uso de métodos "non-survey" basados en las estructuras productivas de otras regiones con especializaciones productivas similares, o en la Tabla Nacional de 1995.

En todo caso, tras esos esfuerzos por construir matrices interregionales, no se encontraba la intención de analizar flujos medioambientales. Como hemos introducido, existen numerosas aplicaciones medioambientales en España utilizando técnicas input-output, pero en su mayoría utilizando tablas nacionales, o alguna regional, no todas las regionales conjuntamente, que es lo que hacemos en este trabajo, siguiendo una literatura internacional más amplia. Incluso tomando esta, no se encuentran casi referencias del estudio del agua gris con modelos multiregionales. Como se muestra en la revisión de Wiedmann et al. (2007), para los estudios previos a 2007, y Wiedmann (2009) para más adelante, muchos modelos Multi-Regionales IO (MRIOs) se han construido para evaluar las presiones ambientales (emisiones) en el comercio o asociadas con el consumo. Para el estudio de los flujos de agua, se han realizado modelos IO interregionales y evaluado impactos en regiones de China (Okadera et al., 2005, Guan y Hubacek, 2007, Feng et al., 2011), Australia (Lenzen, 2008, 2009), México (Duchin y López, 2011)¹, pero la contaminación del agua no ha sido el objeto de estudio preferente.

Por otro lado, encontramos a nivel internacional un importante número de artículos que estudian la contaminación del agua (Hoekstra, Chapagain et al., 2006, Chapagain y Hoekstra, 2008, Hubacek et al., 2009, Liu et al., 2012), y para España, Duarte y Sánchez Chóliz (2003, 2005), Sánchez-Chóliz et al. (2007) y Duarte et al. (2008), pero ninguno al nivel de detalle regional y sectorial de este trabajo. Eso sí, un trabajo reciente surgido durante la realización de este trabajo, MMA (2011), persigue objetivos y analiza cuestiones muy similares a escala regional, y por eso también nos apoyamos en él y nos sirve como control.

3 Metodología y fuentes de datos

La metodología del Modelo Multiregional Input-Output (MRIO) y las fuentes de datos utilizados pueden verse de forma más extensa en Cazcarro, Duarte y Sánchez-Chóliz (2012). Esencialmente se explica cómo se construye a partir de las tablas input-output (distinguiendo las tablas domésticas y las de importaciones por orígenes, Resto de

¹ Para una revisión más completa de los MRIOs y la discusión de sus puntos fuertes y las dificultades metodológicas, ver Daniels et al. (2011), y en general todo el Special Issue en *Economics Systems Research*, en el que se publicó.

España, Unión Europea, y Resto del Mundo) publicadas por los institutos de estadística de cada región más cercanas al año 2005, haciendo uso de la tabla input-output nacional y la de Andalucía para obtener las de Murcia y Extremadura, y descomponiendo el comercio entre regiones con las base de datos estructurales C-INTEREG². También se muestra que la ecuación principal del modelo $\mathbf{w}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$, utiliza los coeficientes de agua gris directa \mathbf{w} , posmultiplicados por la inversa de Leontief $\mathbf{L}=(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$, donde la matriz \mathbf{A} de coeficientes tecnológicos está compuesta por toda la matriz de flujos entre sectores de todas y cada una de las regiones españolas, divididas por el total de la columna de sus producciones.

El vector de usos directos de agua \mathbf{w}'^d en la ecuación, lo obtenemos de las intensidades de agua azul, verde y gris de Mekonnen y Hoekstra (2011), que distinguen entre el consumo de agua de cada Comunidad Autónoma en España (excepto las islas Canarias). El agua verde sólo aparece de forma directa en el sector agrario y forestal, y tenemos agua azul por sector para el resto de las cuentas de las Cuentas satélite del Agua proporcionados por el INE (2011). A partir de las Cuentas satélite del Agua, de varios estudios del Ministerio de Medio Ambiente³ y de la Legislación sobre la calidad del agua (real Decreto 1541_1994) también obtenemos datos para estimar el agua gris industrial. De este decreto, utilizamos la información de la concentración máxima admisible⁴ para las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano que deben recibir tratamientos físico y químico intensivos, afino y desinfección (véase Tabla 1), siguiendo MMA (2011).

Tabla 1: Concentraciones máximas admisibles de contaminantes (en mg/l del parámetro).

PARÁMETRO O CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN MAX. ADMISIBLE (mg/l)	PARÁMETRO O CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN MAX. ADMISIBLE (mg/l)
Nitratos	50	Cianuros	0,005
Fluoruros*	0,700-1,700	Sulfatos	250
Hierro disuelto	1	Cloruros	200
Manganeso	1	Detergentes	0,500
Cobre	1	Fosfatos (transformados)	0,700
Zinc	5	Fenoles	0,100
Boro	1,000	Hidrocarburos disueltos o	1,000
Arsénico	0,100	Carburos aromáticos	0,001
Cadmio	0,005	Plaguicidas	0,005
Cromo total	0,050	Demanda Química de	30
Plomo	0,050	Demanda Bioquímica de	7
Selenio	0,010	Nitrógeno Kjeldahl	3
Mercurio	0,001	Amoniaco	4
Bario	1	Sustancias extraíbles con	1

* Varía en función de la temperatura elevada o baja.

² <http://www.c-interreg.es/metodologia.asp#Ancla2>

³ Ejemplos de son el libro digital del agua, el Libro Blanco del Agua en España (2003), etc.

⁴ Entendida como la máxima concentración de una sustancia a la que puede estar expuesto el medio durante un tiempo determinado sin que se produzcan efectos adversos.

Finalmente, tras estudiar los contaminantes potencialmente más peligrosos, para la agricultura tomamos como parámetro limitante (del que se tomará la máxima concentración admisible) el nitrógeno (y marginalmente el fósforo).

Así el coeficiente físico directo de agua gris (\bar{w}_{agr}^{gris} , m³/ton) se calcula, siguiendo a Mekonnen y Hoekstra (2010), multiplicando la fracción del contaminante limitante (nitrógeno/fósforo) que se filtra (δ , %), por la tasa de aplicación de nitrógeno por hectárea y cultivo i (AR_i , kg/ha y año), y dividimos esto por la diferencia entre la concentración máxima aceptable de nitrógeno (c_{max} , kg/ m³ = 10⁻³ mg/l) y la concentración natural de nitrógeno en la masa de agua receptora (c_{nat} , kg/ m³) y dividido por el rendimiento del cultivo i (Y_i , ton/ha y año).

$$\bar{w}_{agr\ i}^{gris} = \frac{(\delta \cdot AR_i) / (c_{max} - c_{nat})}{Y_i}$$

La ecuación se simplifica siguiendo las hipótesis de que la fracción que se filtra de nitrógeno es del 10% (Chapagain et al., 2006), y como se indica en el cuadro 3.3. en Hoekstra et al. (2009), para las sustancias artificiales que normalmente no existen en el agua, $c_{nat} = 0$. La cantidad (en kg/ha y año) de nitrógeno (fósforo) aplicado AR también se puede obtener de los abonos nitrogenados (los abonos fosfatados) utilizados, aplicando el porcentaje de cantidad de cada uno que poseen (ver Quintanilla, 2006).

De $\bar{w}_{agr\ i}^{gris}$, obtenemos $w_{agr\ i}^{gris}$, el coeficiente de agua gris directo (en unidades monetarias, m³/euro) que usaremos en el modelo, multiplicando por la producción física \bar{x}_i (en toneladas) y dividiendo por el valor de la producción x_i (en euros).

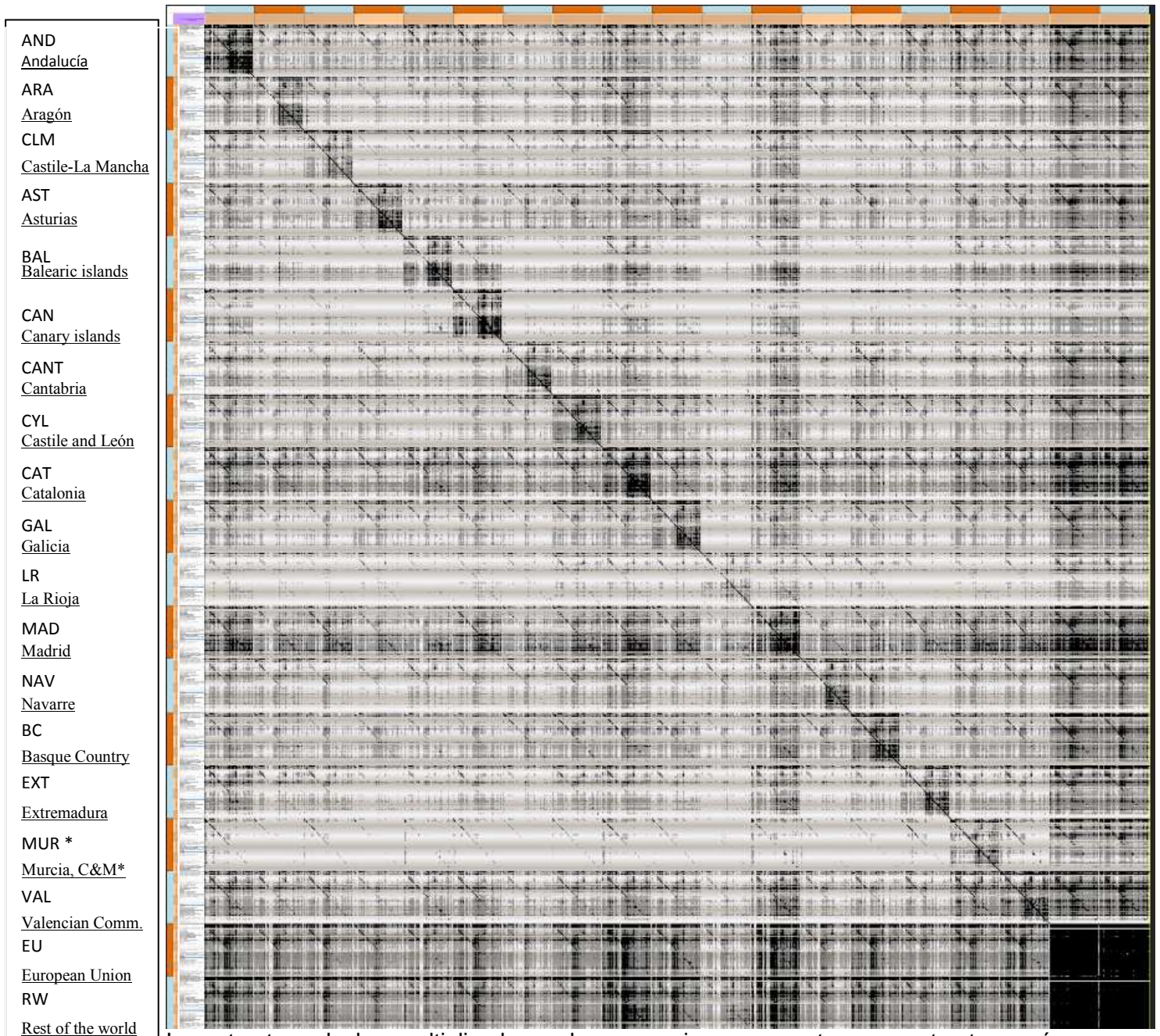
En los resultados preservamos tanto como nos es posible la distinción entre los diferentes tipos o componentes de la huella hídrica (verde, azul y gris), dadas las implicaciones políticas diferentes de cada uno de ellos.

4 Resultados de intensidades del agua gris, HH Gris de España y entre regiones

Multiplicadores del agua gris

Figura 1: Multiplicadores del agua del comercio interregional español y con la UE y el RM.

AND ARA CLM AST BAL CAN CANT CYL CAT GAL LR MAD NAV BC EXT MUR* VAL EU RW



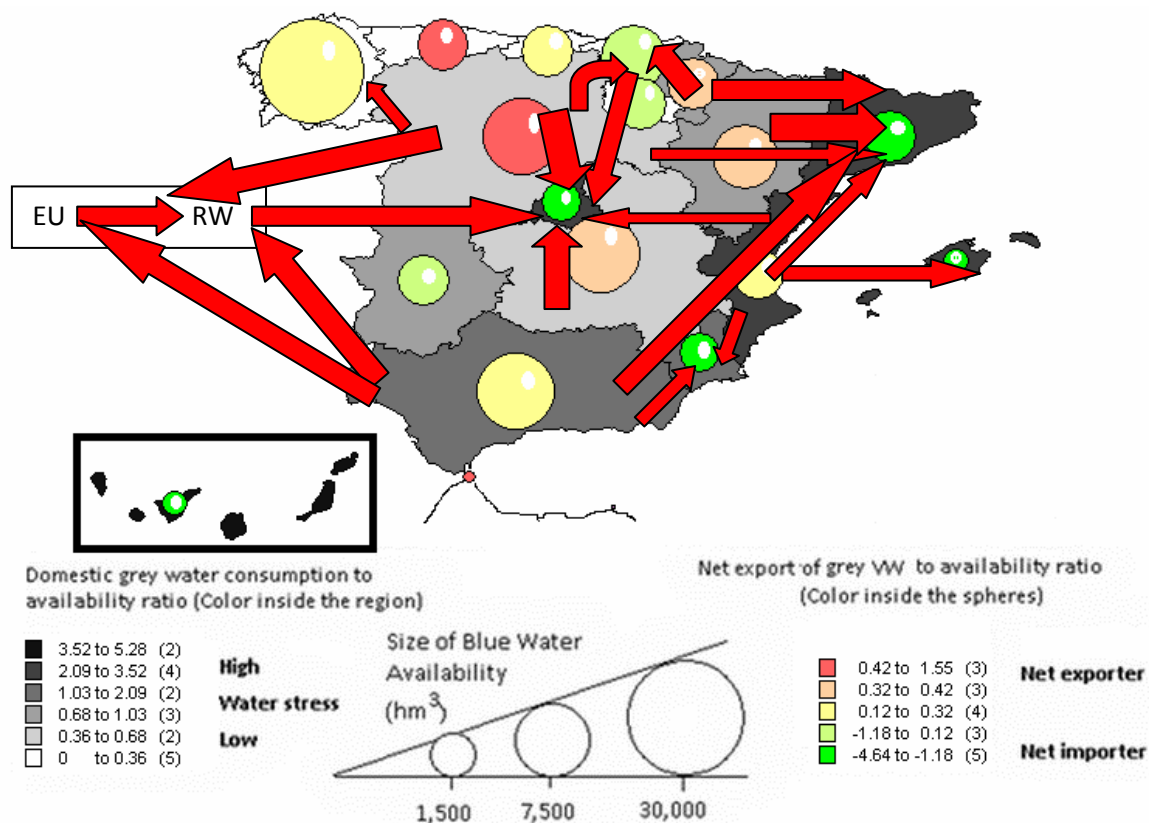
La estructura de los multiplicadores de agua gris nos muestra una estructura más compacta que la estudiada en análisis previos sobre los flujos de agua azul y verde, reflejando el hecho de que resultan importantes los impactos industriales que para los otros dos tipos de huellas, destacando así la importancia de los estudios input-output para este tipo de impactos frente a los basados en los análisis de procesos y cadenas productivas concretas agrarias y agroalimentarias. Asimismo, en términos absolutos además del bloque de comercio (intra, inter y con regiones españolas) Unión Europea (UE)-Resto del Mundo (RM), y de los bloques de la diagonal principal (intensidades virtuales para estimar los impactos en la región por los intercambios dentro de la propia región), hay otros muchos relevantes, especialmente en el caso de Madrid y Cataluña (como para el caso de agua azul y verde) pero también de País Vasco (sexto bloque

empezando desde abajo) y Valencia (tercer bloque empezando desde abajo), de forma bastante homogénea (contrariamente al análisis de agua verde) y en todo caso concentrado en los cuadrantes medio e inferior (por filas) derecho (por columnas), de intercambios industriales y ventas industriales a las actividades de servicios, salvo para regiones con claro componente agrario, como resulta Murcia (cuarto bloque por abajo). Eso significa que los impactos incorporados en la demanda final (virtuales) no sólo vendrán dados (como especialmente el agua verde) por las demandas finales de productos agroalimentarios (sea por compra de alimentos o pago de los mismos en servicios como los bares y restaurantes), sino por demandas de otros muchos productos de consumo, que incorporan elevados volúmenes de agua gris.

Aqua virtual gris y huella hídrica gris

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los flujos de agua gris varían con respecto a los de agua azul y verde (ver Cazcarro et al., 2012), especialmente dada la mayor importancia que los sectores industriales adquieren con respecto a los sectores agrarios, en términos de volúmenes necesarios para producir los bienes (y por lo tanto una importancia aún más clara de IO como metodología con respecto a otras centradas sólo en los productos agrarios). En el Mapa 1, (y con números en el Apéndice, en las Tablas 1 y 2 (al final del texto), de exportación e importación de agua gris) se podría observar que Madrid es la región con escasez de agua más alta (en el mapa con un gris oscuro, casi negro) -de acuerdo con el agua gris necesaria para la producción en la región- en relación con la disponibilidad (aunque es bien sabido la buena calidad de agua para el consumo humano en la región).

Mapa 1: Consumo de agua virtual Gris y ratio de exportaciones netas con respecto a la disponibilidad de agua azul.

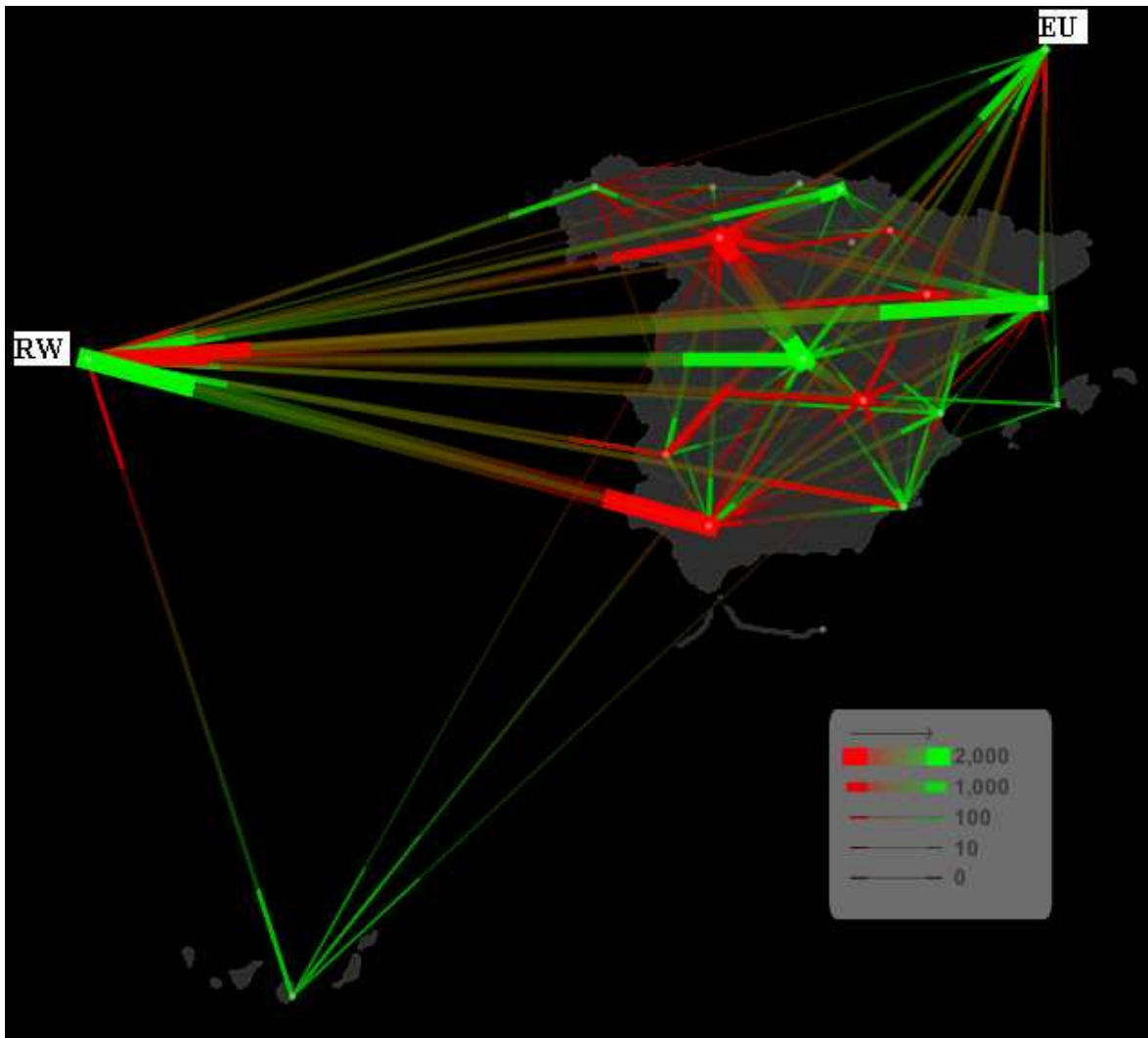


Nota: Nos referimos al estrés hídrico alto o bajo, ya que el agua gris no muestra la contaminación del agua, pero la necesita para diluir los agentes contaminantes. Las flechas representadas muestran algunos de los principales flujos netos de agua virtual azul y verde entre regiones (no aparecen todos los flujos existentes, ni son precisas las flechas en el tamaño para obtener una representación simplificada).

Fuente: Elaboración propia.

También observamos que, a diferencia de lo ocurre al examinar el agua azul y verde, Andalucía no es la región líder en exportación neta de agua gris, frente a regiones como Asturias (principalmente por industrias extractivas), Castilla y León y Navarra (agricultura), que también tienen necesidades relativamente altas de agua gris (para producir los bienes domésticos) en relación con la disponibilidad. Además observamos el carácter de importación neta de agua verde (y azul en el primer caso) de las regiones de la Comunidad Valenciana y Navarra, pero por el contrario, debido a la importancia de sus sectores industriales y agroalimentario respectivamente, son comunidades exportadoras netas de agua gris (flechas rojas). Considerando los flujos particulares entre regiones, los flujos más elevados de exportación de agua gris se dan desde Castilla León y Castilla La Mancha hacia Madrid. Otro de los flujos más importantes es el de Aragón hacia Cataluña, donde la contaminación indirecta por exportación de porcino (por los purines) aparece como elemento destacado. También es relativamente relevante el flujo desde Navarra hacia Cataluña, País Vasco y Madrid. Estos y otros flujos más específicos entre las regiones se muestran en el Mapa 2, en proporción a su tamaño absoluto.

Mapa 2: Flujos de agua virtual gris en hm^3 , de 0 a 100 (se excluyen los flujos entre la Unión Europea y el Resto del Mundo) *.



* Por resultar en 2 líneas muy gruesas que dificultan la visualización de los flujos presentados, se excluyen los flujos entre la Unión Europea y el Resto del Mundo.

Fuente: Elaboración propia utilizando *jflowmap* software.

A nivel mundial, también cambian bastante los análisis respecto al agua azul y verde, ya que analizando la Tabla 3 (al final del texto), por ejemplo la Comunidad Valenciana es importadora neta de agua verde y azul (-170% del total de su consumo directo), especialmente de agua verde (-446%), pero exportador neto de agua gris (5% de su consumo directo). Algo similar ocurre en Navarra, que es importadora neta de agua verde, pero exportadora neta de agua azul y gris. Muchas de las regiones, como claramente ocurre en el País Vasco, Asturias, Cantabria, Cataluña y Murcia, son también importadores de agua gris, si bien en porcentajes mucho menores que los de agua azul y verde. Detrás de los resultados de las cuatro primeras regiones citadas se encuentran sus elevadas producciones industriales, con grandes volúmenes destinados a la exportación, que compensan hasta cierto punto la importación virtual de contaminación generada en productos agrarios e industriales procedentes de otras regiones. En el caso de Murcia, esto se debe a la elevada concentración de productos fertilizantes en el sector agrícola, especialmente por fósforo y nitrógeno, que percolan a los recursos hídricos,

cuyos volúmenes son insuficientes para diluirlos, pero también debido metales pesados como el Cromo, Plomo, Mercurio y Selenio, cuyos límites son muy superiores la legislación. Por último, aunque Andalucía o Extremadura también son exportadoras de agua virtual gris por los impactos directos e indirectos de su orientación exportadora agraria, de nuevo son porcentajes mucho menores respecto al volumen de agua gris directo, tanto por un menor impacto relativo en términos de contaminación que en términos de volúmenes utilizados, como por una fuerte importación de productos industriales, cuyo peso en el agua gris es mucho más importante que en el agua verde o azul.

Algo similar a lo que ocurre para muchas regiones españolas, sucede también para el caso de la Unión Europea, que es también importadora de agua gris (-10%), si bien en porcentajes mucho menores que los de agua azul y verde (-142%). Por el contrario el Resto del Mundo sólo es exportador neto del 3% (de su consumo directo), mientras que lo era del 10% en agua azul y verde. En España, un caso excepcionalmente distinto es el de la Rioja, que es exportador neto de agua azul pero importador neto de agua gris, lo cual puede indicarnos que la contaminación de aguas en la región es baja comparado con los volúmenes de aguas superficiales y subterráneas utilizado (por la capacidad elevada de dilución del Ebro, ausencia de largos tramos de ríos pequeños, y un sistema adecuado de retornos). Globalmente, si España realiza una importación neta de agua azul y verde del 12%, en el caso de agua gris este porcentaje desciende al 2%.

5 Conclusiones

El modelo multi-regional input-output construido con las 17 regiones españolas, una cuenta de la UE, y una cuenta del Resto del Mundo, nos permite estimar la huella del agua gris de las diferentes regiones, su comercio de agua virtual, y las presiones que implican sobre los recursos hídricos, dadas las diferentes disponibilidades de las regiones. Con él hemos constatado la importancia de los estudios input-output para este tipo de impactos frente a los basados en los análisis de procesos y cadenas productivas concretas agrarias y agroalimentarias, debido al gran componente industrial en las presiones directas e indirectas generadas sobre la calidad de los recursos hídricos, estudiada a través del agua gris. La estructura de comercio interregional refleja también la importancia bloque de comercio (intra, inter y con regiones españolas) Unión Europea-Resto del Mundo, y de los bloques de la diagonal principal, pero también de otros muchos relevantes (de forma diferencial frente a estudios de agua verde y azul) como los de Madrid y Cataluña, País Vasco y comunidad Valenciana, en los cruces de intercambios industriales y de servicios, salvo para regiones con claro componente agrario. Todo ello nos tiene que llevar a darnos cuenta de que para evitar o minimizar tales impactos sobre los recursos hídricos debemos considerar las opciones tecnológicas y demandas industriales, el patrón de comercio y los estilos de vida, tanto de los ciudadanos de las propias regiones como de los principales socios comerciales.

También hemos visto el carácter de exportador o importador neto de agua gris de las diferentes regiones, y lo hemos estudiado en relación a la disponibilidad observando elevados ratios de exportación en regiones como Asturias, Castilla y León, y Navarra, aunque no sean exportadoras netas en términos globales. Sí presentan una exportación

neta de agua gris de la región de la Comunidad Valenciana, debido a la importancia de su sector industrial, aunque realice importaciones netas de agua verde (y también azul en el primer caso). Considerando los flujos particulares entre regiones, los flujos más elevados de exportación de agua gris se dan desde Castilla León y Castilla La Mancha hacia Madrid. Otro de los flujos más importantes es el de Aragón hacia Cataluña, donde la contaminación indirecta por exportación

Muchas de las regiones españolas son, como de agua azul y verde, importadores de agua gris, si bien esto generalmente sucede en porcentajes mucho menores que los de agua azul y verde, salvo algún caso excepcional como el de la Rioja, en el que la tendencia es inversa. Estos resultados que se dan para la mayoría de las regiones españolas, y también para la Unión Europea en su conjunto, se debe a las producciones industriales con importantes impactos directos, que acaban siendo incorporados en las exportaciones de agua virtual gris, y en algunos casos como en Murcia, a la elevada contaminación de aguas relativa por la concentración agraria. Eso significa que, desde un punto de vista de la protección de los recursos hídricos en buen estado, podemos sacar conclusiones en materia de política de aguas. Dado que conocemos los diferentes impactos directos e indirectos ocasionados en cada región, la estructura de comercio, y los que se generan en otras regiones y países con diferentes disponibilidades, se deben valorar los beneficios de mantener esas producciones en la región, y ver si con ellos se pueden generar suficientes recurso económicos para establecer sistemas de depuración de aguas que recuperen las masas de agua a estados similares a los previos a su utilización, en cuyo caso se deberán fomentar, con fórmulas que deben considerar a los usuarios directos, pero quizá también a los indirectos, en línea con las propuestas de responsabilidad compartida de productor y consumidor que pueden ayudar a la mayor sensibilización y conocimiento de tales problemas. También se puede, por un lado, promover la producción de bienes intensivos en contaminación de agua en zonas de mayor disponibilidad y capacidad de dilución, para posteriormente importarlos, si dicha producción es allí posible (y es intensiva en otros factores de los que carece), y si con ella no se generan en ellas otros impactos derivados. Otra posibilidad es obviamente, de modo que con los recursos excedentarios se puedan promover producciones menos contaminantes de las aguas, mantener una necesaria reserva ambiental, y otras posibles opciones de gestión de aguas.

6 Referencias

Allan, G., McGregor, P.G., Swales, J.K. and Turner, K.R. (2004). "Construction of a multi-sectoral interregional IO and SAM database for the UK", Working paper, strathclyde discussion papers in economics, 04–22.

Cazcarro, I.; Duarte, R. and Sánchez Chóliz, J. (2012/2013) Water footprints for Spanish regions based on a Multi-Regional Input-Output (MRIO) model. In Murray, J. and Lenzen, M. (Eds.) "The Sustainability Practitioners' Guide to Multi-Regional Input-Output Analysis" (forthcoming).

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003). "Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade in livestock and livestock products". In: Hoekstra, A.Y. (Ed.), *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, Delft, The Netherlands, 12–13 December 2002, pp. 49–76.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004). "Water Footprints of Nations", Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE Delft, The Netherlands.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. and Gautam, R. (2006) The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics* 60(1): 186-203.

Chapagain, A.K. and 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.

Daniels, P. L., Lenzen, M. and Kenway, S. J. (2011). The ins and outs of water use – a review of multi-region input–output analysis and water footprints for regional sustainability analysis and policy. *Economic Systems Research*, 23 (4), 353-370.

Duarte, R., Sanchez-Choliz, J. y Bielsa, J. (2002). "Water use in the Spanish economy: an input-output approach", *Ecological Economics*, 43(1), 71-85.

Duarte, R. and Sánchez Chóliz, J (2003). Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients with an application to the water sector in Aragon. *Cambridge Journal of Economics*, 27, 433- 448.

Duarte, R. and Sánchez Chóliz, J. (2005). Water Pollution in the Spanish Economy: Analysis of sensitivity to production and environmental constraints. *Ecological Economics*, 53 (3), 325 -338.

Duarte, R.; Flores, M. and Sánchez Chóliz, J. (2008). Uso y consumo de agua en la economía aragonesa: una aproximación a través de indicadores de la SAMEA. *Cuadernos Aragoneses de Economía*, 18, 1, 91-109.

Duchin, F. and Lopez, C. (2011). "Policies and technologies for a sustainable use of water in Mexico: a scenario analysis". *Economic Systems Research*, 23 (4), 387-407.

Garrido, A., Llamas, M. R., Varela-Ortega C., Novo P., Rodríguez-Casado R. y Aldaya M. M. (2010). Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain: Policy Implications. *Natural Resource Management and Policy*, Springer- Fundación Marcelino Botín, 150 p.

Guan D. and Hubacek, K. (2007). "Assessment of regional trade and virtual water flows in China" *Ecological Economics*, 61(1), 159-170.

Feng K., Hubacek, K., Siu, Y. and Guan, D. (2011) "Assessing Regional Virtual Water Flows and Water Footprints in the Yellow River Basin, China: a consumption based approach". *Applied Geography*, 32, Page 691-701.

Hubacek, K., Guan, D.B., Barrett, J. and Wiedmann, T. (2009) Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and water footprints, *Journal of Cleaner Production*, 17(14): 1241-1248.

Lenzen, M. (2008). Victorian Water Trust. Report on the Virtual Water Cycle of Victoria. GHD. Melbourne. Victoria.

Lenzen, M. (2009). "Understanding virtual water flows: A multiregion input-output case study of Victoria", *Water Resour. Res.*, 45, W09416, doi:10.1029/2008WR007649.

Liu, Ch. Kroeze, C., Hoekstra, A. Y. and Gerbens-Leenes, A. (2012). Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers, *Ecological Indicators*, *Ecological Economics* 18, 42-49.

Llano, C. (2004). *Economía espacial y sectorial: el comercio interregional en el contexto de un modelo Multirregional para la economía española*. Instituto de Estudios Fiscales. Ministerio de Economía y Hacienda. Colección Investigaciones, n.º 1/2004.

Llano, C. (2009). Efectos de desbordamiento interregional en España: Una estimación a través del modelo input-output interregional, *Investigaciones Regionales*, Núm. 16, pp. 181-188, Asociación Española de Ciencia Regional, España.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1259–1276.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No.47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

MMA (2011). "Sostenibilidad y territorio. Huella hídrica de España". "Libro blanco del agua en España". "Libro digital del agua" [...] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.

NSI (2011) *Statistics on the Environment. Environmental Statistics on Water. Water Satellite Accounts. Series. 1997-2001. 2000-2007.*

Annual Survey of Services

Evolution of expenditure: Households, Government, Restaurants (1987-2006).

Okadera T., Watanabe M. and Xu, K. (2006). "Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the city of Chongqing, upstream of the three gorges dam in China". *Ecological Economics*, 57 (2), 221-237.

Quintanilla, P (2006). "Abonos y Fertilizantes I. Generalidades y Fabricación". Web Canal Social, www.canalsocial.net.

Real Decreto (Royal Decree) 1541_1994. 8 julio. Boletín Oficial del Estado (BOE).

Sánchez Chóliz, J., Duarte, R and Mainar, A. (2007). Environmental impact of household activity in Spain. *Ecological Economics*, 62 (2), 308- 318.

Wiedmann, T. (2009). "A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting". *Ecological Economics* 69 (1), 211–222.

Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., Barrett, J. (2007). "Examining the global environmental impact of regional consumption activities—part 2: review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade". *Ecological Economics* 61 (1), 15–26.

Tabla A1: Origen y destino total del agua gris (hm³) por comunidad autónoma española (región).

	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia	La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extrem.,	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia	UE	RM	Origen Total	Export Neta
Andalucía	5.266	53	68	25	145	98	14	46	464	75	4	487	39	115	283	511	367	2.284	1.181	11.527	1.756
Aragón	128	1.261	69	12	30	47	19	42	1.086	38	34	452	131	112	23	119	240	642	467	4.951	2.221
Castilla La Mancha	524	80	1.307	15	17	48	44	65	448	71	6	1.198	51	73	235	637	495	547	696	6.558	3.985
Asturias	35	9	12	1.100	10	7	34	43	39	51	2	51	5	25	6	14	30	160	161	1.793	-65
Baleares	19	9	3	2	955	28	1	3	52	7	1	67	1	3	2	19	23	88	82	1.366	-776
Canarias	73	2	2	2	11	2.714	3	3	20	6	0	24	2	37	3	4	11	54	75	3.046	-1.655
Cantabria	26	6	5	12	7	6	653	31	47	14	2	49	6	51	4	9	27	133	121	1.209	-153
Castilla y León	423	158	225	143	33	127	211	3.842	950	422	64	2.172	231	1.451	465	277	568	1.100	824	13.685	8.585
Cataluña	259	148	61	51	213	139	41	77	4.353	121	18	392	72	127	46	139	284	1.324	1.124	8.990	-4.255
Galicia	150	51	27	118	24	58	36	98	176	1.641	4	307	43	140	35	65	104	456	329	3.862	-72
La Rioja	11	22	5	6	2	5	4	28	39	11	175	41	34	99	3	5	12	76	55	632	-5
Madrid	253	45	111	37	49	178	35	101	197	81	16	3.211	22	71	75	108	135	548	528	5.801	-7.652
Navarra	70	77	15	13	41	25	23	34	283	20	46	162	683	248	28	49	52	360	261	2.488	778
País Vasco	34	15	8	13	13	11	25	38	67	23	8	67	26	1.275	5	16	27	398	363	2.435	-3.222
Extremadura	199	29	23	5	7	17	9	38	73	13	2	248	5	25	743	27	40	866	375	2.746	244
Murcia,CyM	78	1	6	1	40	6	0	2	42	2	0	41	4	1	9	467	51	251	607	1.610	-2.068
Valencia	276	111	101	17	116	124	23	59	373	73	7	408	30	90	41	381	2.843	1.341	1.488	7.902	399
UE	681	302	197	116	198	386	54	249	1.754	499	73	1.538	154	627	134	277	739	503.299	249.828	761.105	-77.996
RM	1.265	352	326	169	231	679	133	301	2.782	766	174	2.539	170	1.085	361	555	1.455	325.173	2.524.090	2.862.60	79.952
Destino	9.771	2.730	2.573	1.858	2.142	4.700	1.362	5.100	13.245	3.935	637	13.453	1.710	5.657	2.502	3.678	7.504	839.10	2.782.65		

* UE: Unión Europea, RM: Resto del Mundo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A2: Origen y destino total del agua gris (hm³) por comunidad autónoma española (región).

Regiones	Origen de Agua Gris				Destino de Agua Gris				Exportación neta de Agua Gris		
	Total Origen	A la región	A RS*	A UE+RM	Total BWF	Desde la región	De RS*	De UE+RM	X Neta**	X Neta España	X Neta RM
Andalucía	2.578	802	757	1.019	1.639	802	424	413	939	333	606
Aragón	1.802	362	991	448	649	362	147	139	1.153	844	309
Castilla La Mancha	1.122	230	671	222	464	230	128	107	658	543	115
Asturias	164	72	36	55	190	72	58	60	-26	-22	-4
Baleares	186	126	38	22	331	126	123	81	-144	-85	-60
Canarias	258	209	25	24	597	209	148	240	-340	-123	-216
Cantabria	186	57	65	64	174	57	76	41	12	-11	23
Castilla y León	1.393	424	768	201	656	424	124	108	737	644	93
Cataluña	1.665	657	480	528	2.627	657	934	1.036	-962	-454	-508
Galicia	217	127	48	42	577	127	151	299	-360	-104	-257
La Rioja	96	27	52	18	119	27	38	54	-23	14	-37
Madrid	494	307	108	79	2.294	307	1.063	924	-1.800	-955	-845
Navarra	461	84	238	139	285	84	135	66	176	103	73
País Vasco	334	195	56	83	902	195	365	342	-568	-310	-258
Extremadura	846	62	242	541	360	62	194	104	486	48	437
Murcia,CyM	545	64	68	413	720	64	476	180	-175	-408	233
Valencia	1.457	461	423	573	1.445	461	481	502	12	-58	71
UE	96.761	251	837	95.673	158.374	251	2.331	155.792	-61.614	-1.494	-60.119
RM	692.233	61.711	-58.103	688.625	630.394	61.711	-59.822	628.505	61.839	1.720	60.119
<i>Total España</i>	13.803	4.267	5.065	4.471	14.029	4.267	5.065	4.697	-225	0	-225

* RS: Resto de España.

** X Neta: Exportación neta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A3: Porcentaje de exportación (valores positivos) e importación (valores negativos) neta con respecto al volumen de agua en origen.

Regiones	% de Exportación (Importación) con respecto al consumo de agua verde directo	% de Exportación (Importación) con respecto al consumo de agua azul directo	% de Exportación (Importación) con respecto al consumo de agua total directo	% of % de Exportación (Importación) con respecto al consumo de agua gris directo
Andalucía	58%	36%	54%	15%
Aragón	48%	64%	53%	45%
Castilla-La Mancha	71%	59%	69%	61%
Asturias	-64%	-16%	-49%	-4%
Baleares	-94%	-78%	-89%	-57%
Canarias	-836%	-132%	-408%	-54%
Cantabria	-170%	6%	-79%	-13%
Castilla y León	65%	53%	63%	63%
Cataluña	-222%	-58%	-159%	-47%
Galicia	-15%	-166%	-29%	-2%
La Rioja	10%	-24%	5%	-1%
Madrid	-2536%	-364%	-1232%	-132%
Navarra	-4%	38%	11%	31%
País Vasco	-965%	-170%	-563%	-132%
Extremadura	34%	57%	40%	9%
Murcia, CyM	-911%	-32%	-282%	-128%
Valencia	-446%	1%	-170%	5%
UE	-179%	-64%	-142%	-10%
RM	10%	9%	10%	3%
Total España	-15%	-2%	-12%	-2%

Fuente: Elaboración propia.