

## IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA HUELLA HIDROLÓGICA PARA LA POLÍTICA ESPAÑOLA DEL AGUA

*Maite M. Aldaya*

*M. Ramón Llamas*

*Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid.*

*Alberto Garrido*

*Consuelo Varela*

*Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias, Universidad Politécnica de Madrid.*

### RESUMEN

En casi todos los países áridos o semiáridos la adecuada gestión de los recursos hídricos es un tema tan importante como conflictivo. La mayor parte de los expertos en gestión de recursos hídricos suele admitir hoy que los conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física de agua sino a su inadecuada gestión. Los avances en la Ciencia y en la Tecnología que se han producido en el último medio siglo permiten resolver muchos de los problemas relacionados con conflictos hídricos con medios que hace pocas décadas nadie podía imaginar.

El presente artículo se centra en el estudio de la HUELLA HIDROLÓGICA y sus relacionados conceptos de agua virtual y sus componentes verde y azul. Este trabajo se enfoca no sólo desde la clásica perspectiva hidrológica sino también enfatizando los datos económicos. El estudio de la huella hidrológica está haciendo cambiar los conceptos de seguridad alimentaria e hidrológica que han estado vigentes durante siglos en la mente de la mayor parte de los políticos de todo el mundo. Los datos disponibles ponen claramente de manifiesto que la producción de alimentos es, a escala mundial, el principal usuario de agua verde y azul a gran diferencia de los otros usos.

Por ello, este trabajo preliminar de otros estudios en marcha, se dedica principalmente al estudio del agua en la agricultura. La política del agua de un país va a estar cada día más íntimamente relacionada con su política agrícola, tanto de producción de alimentos como de su importación y/o exportación. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta que en los países industrializados, como es España, los condicionantes ambientales van adquiriendo más peso y que consciente o inconscientemente el viejo lema “more crops and jobs per drop” está cambiando al lema “more cash and nature per drop”.

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo trata de la huella hidrológica y de las repercusiones que tiene en los países áridos y semiáridos como es España. Este trabajo es un resumen y una actualización de un trabajo más extenso: “Los colores del agua” (Llamas, 2005), en el que se definen con detalle la mayor parte de los conceptos tratados en este artículo. Esta actualización se está realizando dentro de dos proyectos de investigación: 1) El estudio de la huella hidrológica de España financiado por la Fundación Marcelino Botín, en el que trabajan los cuatro firmantes de este artículo; y 2) El estudio de la huella hidrológica de la cuenca del río Guadiana dentro del proyecto de la UE NeWater. Estos estudios se refieren a

análisis detallados que se publicarán en el futuro, el presente trabajo proporciona un marco general de la situación de la huella hidrológica en España todavía por afinar.

Tabla 1  
PRODUCTO INTERIOR BRUTO Y EMPLEO. AÑO 2005 A PRECIOS CORRIENTES.

	Producto Interior Bruto		Empleo	
	millones €	%	miles empleos	%
Agricultura, ganadería y pesca	26.473	3	1033	5
Energía	20.415	2	149	1
Industria	122.844	14	3130	16
Construcción	94.161	10	2425	12
Servicios	546.929	60	13324	66
Total	905.455	100	20061	100

Fuente: Modificado de Novo (2008) basado en datos del INE (2007)

A nivel global el principal usuario de agua azul (agua de regadío) es la agricultura, suponiendo alrededor del 70% del consumo de agua azul total, esta cifra es mayor en países áridos y semiáridos (CAWMA, 2007). Si además se tiene en cuenta el agua verde (agua del suelo), este porcentaje es mucho más elevado. En cuanto al valor económico estricto del sector agrario y ganadero es bastante bajo en los países industrializados (ver Tabla 1). Sin embargo, no hay que olvidar que el carácter multifuncional de la actividad agraria hace que su análisis no pueda limitarse a los aspectos económicos.

Un aspecto interesante todavía poco estudiado es el papel que juega el sector agrario y ganadero español como suministrador de materias primas de la industria agroalimentaria española. Los datos disponibles indican que la agroindustria española goza de buena salud y representa una fracción importante de la actividad industrial nacional (Naranjo, 2008). No obstante, los datos existentes sobre el origen de las materias primas para esa industria nacional parecen poco elaborados (Naranjo, 2008); por ejemplo el Ministerio de Agricultura no parece disponer de datos sobre qué proporción de esas materias primas procede de la importación. En lo que se refiere a esto último, Chapagain & Hoekstra (2004) dan cifras de materias agrícolas importadas que equivalen a 27 km<sup>3</sup>/año, aunque no se tienen datos de si esas importaciones agrícolas van a parar a la industria agroalimentaria o a la ganadería.

El estudio de la huella hidrológica de los diversos países está aportando nuevos datos y perspectivas que están permitiendo obtener una visión bastante más optimista de la tan frecuentemente difundida inminente «crisis de la escasez de agua». Estos nuevos conocimientos están haciendo cambiar los conceptos de escasez hídrica y seguridad alimentaria que han estado vigentes durante siglos en la mayor parte de los países. Trabajos anteriores parecen confirmar que se trata de un problema de mala gestión en relación con varios aspectos (Llamas, 2006; Rogers *et al.*, 2006; UNDP 2006; CAWMA, 2007): sistemas de regadíos atrasados, la utilización de gran cantidad de agua en cultivos de poco valor que proceden de una tradición de autosuficiencia alimentaria que probablemente va a cambiar ya que no hay barreras al comercio dentro de la Unión Europea. Muchos opinan que todo país necesita una base de producción mínima. De cualquier modo España ya aprovecha su ventaja comparativa produciendo cultivos adecuados al clima mediterráneo y de alto valor como son las hortalizas, los cítricos, el olivo o la vid.

En España se ha conseguido un buen nivel del lema “more crops and jobs per drop” pero todavía está lejos de conseguir “more cash and nature per drop.” En este trabajo no se va a tratar de los puestos de trabajo vinculados a la agricultura y a la ganadería. Eso queda para ulteriores estudios, por

el momento cabe destacar el importante papel de la inmigración en los trabajos agrícolas, lo cual exige considerar sus probables riesgos de inestabilidad social en el caso de una regresión del sector. Hasta el momento y en prácticamente todo el mundo los estudios de huella hidrológica se han centrado en aspectos hidrológicos. Una novedad significativa de este trabajo consiste en destacar la imperiosa necesidad de considerar los aspectos económicos y ecológicos, con objeto de ir al nuevo paradigma “more cash and nature per drop.”

## **2. OBJETIVOS**

El presente escrito pretende llamar la atención sobre las dos consecuencias más relevantes del comercio de agua virtual, íntimamente relacionado con su huella hidrológica. En primer lugar, el cambio de paradigma de la escasez del agua y, como corolario de la seguridad alimentaria tan frecuentemente invocado en los medios de comunicación (véase Food Ethics, 2008). En segundo lugar, el mejor conocimiento de la huella hidrológica puede ser un instrumento de primera línea para conseguir un cambio en la asignación de los recursos hídricos en España. En España, el regadío utiliza alrededor del 80% de agua azul, y genera el 60% del VAB de la agricultura (MIMAM, 2007). Sin embargo, como luego se detallará, el 92% del agua azul empleada en regadío produce poco más de la mitad del valor económico de las cosechas. Además, las dosis de agroquímicos utilizados en la agricultura de regadío son mayores que en la de secano, con el consiguiente impacto ecológico (MIMAM, 2007). Parece evidente que se está todavía muy lejos de alcanzar el paradigma “more cash and nature per drop”, al menos en la segunda parte del mismo.

## **3. BREVE RECORDATORIO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS EMERGENTES**

En las dos secciones que siguen se hace un breve recordatorio de los conceptos fundamentales. Una descripción más detallada en castellano puede verse en Llamas (2005).

### **3.1 Los colores del agua**

Desde hace unos veinte años se comenzó a aludir al agua de los ríos, lagos y acuíferos como agua azul. Esta es la parte del ciclo hidrológico que los seres humanos han tratado de modificar para su provecho mediante la construcción de estructuras más o menos convencionales, fundamentalmente canales y presas.

Por otro lado, el agua verde es la que queda empapando el suelo, a veces se llama también agua del suelo o agua de la zona no saturada. Esta agua del suelo es la que permite la existencia de la vegetación natural (bosques, praderas, matorral, tundra, etc.) así como los cultivos de secano. En general, el uso del agua del suelo o «agua verde» no se ha cuantificado en la mayor parte de los análisis, si bien estudios recientes enfatizan la importancia del agua verde en garantizar la seguridad hídrica y alimentaria (CAWMA, 2007; Röckstrom *et al.*, 2007).

Algunos autores hablan también de otros colores del agua. De acuerdo con Chapagain *et al.* (2006), el agua gris representa el volumen de agua contaminada en los procesos de producción de los bienes y servicios. Cada vez más, las aguas contaminadas por ciudades o industrias se consideran como un recurso que, previo tratamiento, es reutilizable.

Shamir (2000) habla también de las aguas que tienen un color amarillo dorado. Se refiere a aquellas aguas con alta salinidad o componentes tóxicos que pueden ser transformadas en aguas potables o aptas para la agricultura mediante los modernos procedimientos de la ingeniería química. Este proceso es importante para el abastecimiento urbano y turístico. Pero su impacto en el principal consumidor de agua (agricultura) es mínimo (Albiac *et al.*, 2005). En España, el volumen de agua desalada es del orden de 0,5% de la huella hidrológica total (Llamas, 2006).

### 3.2 Agua virtual y huella hidrológica

El agua utilizada en el proceso de producción de un bien cualquiera (agrícola, alimenticio, industrial) ha sido denominada «agua virtual» (Allan, 2003). Desde entonces está siendo tratado por autores diversos y desde diversos puntos de vista.

Tabla 2  
CANTIDADES DE AGUA (LITROS) PARA PRODUCIR UNA UNIDAD DE ALGUNOS BIENES

Cantidades de agua (litros) para producir una unidad de algunos bienes	
Botella de cerveza (250 ml)	75
Vaso de leche (200 ml)	200
Rebanada de pan (30 gr)	40
Una camiseta de algodón (500 gr)	4.100
Una hoja de papel A-4 (80 gr/m <sup>2</sup> )	10
Una hamburguesa (150 gr)	2.400
Un par de zapatos (piel de vaca)	8.000
Carne de vaca (1 kgr)	15.000
Carne de cordero (1 kgr)	10.000
Carne de pollo (1 kgr)	6.000
Cereales (1 kgr)	1.500
Aceite de Palma (1 kgr)	2.000
Cítricos (1 kgr)	1.000

Fuente: Llamas (2005) a partir de Chapagain & Hoekstra (2004)

En la Tabla 2 se indican el agua virtual necesaria para obtener algunos productos de uso generalizado. La suma total del uso de agua nacional (verde y azul) y del agua neta importada se define como la huella hidrológica de ese país o grupo colectivo.

### 4. GRANDES CIFRAS DE CARÁCTER PRELIMINAR SOBRE LA HUELLA HIDROLÓGICA Y VALORES DE LAS COSECHAS

Según Chapagain y Hoekstra (2004), las necesidades de agua total (verde y azul) en España son del orden de 100 km<sup>3</sup>/año, que se reparten del modo aproximado siguiente (ver Tabla 3):

a) En nuestro país a pesar de que supone un 4% del PIB (alrededor de 25.000 millones de euros, incluida ganadería y pesca, según INE, media 1995-2005) y el 6% de la población activa (1.100.000 de empleos, según INE, media 2000-2005), el sector agrario genera el 80% del consumo de agua total (verde y azul) (de éstos 2/3 son con agua nacional y 1/3 con agua virtual importada) (ver Tabla 1).

En cambio, de acuerdo con AgroNegocios (2008) basado en datos del MAPA, el valor de la producción de la rama agraria superó los 40.200 millones de euros en 2007, suponiendo las cosechas vegetales un 24.300 y la producción animal unos 14.300. En términos hidrológicos, las cosechas suponen un consumo de recursos hídricos azules y verdes españoles de 50.000 Mm<sup>3</sup>/año (Chapagain y Hoekstra; 2004), mientras que el consumo de agua azul para la producción animal, considerando los servicios de agua exclusivamente, supone unos 259 Mm<sup>3</sup>/año (MIMAM, 2007). A esta última cifra habría que sumarle el agua virtual contenida en las cosechas utilizadas para alimentar el ganado. Este es un tema importante y pendiente de realizar.

b) El abastecimiento urbano representa sólo el 5% del agua que utilizamos (unos 5 km<sup>3</sup>/año, con un valor de 4.200 millones de euros, MIMAM, 2007); y

c) El sector industrial el 15% restante (de estos algo más de la mitad corresponden a importaciones, es decir, es agua virtual importada), con el 16% del PIB (101.000 millones de euros,

INE, 1995-2005) y el 17% de la población activa (3.100.000 de empleos, INE, 2000-2005). Parece probable que Chapagain and Hoekstra (2004) incluyan la industria agroalimentaria dentro del sector industrial pero este es un punto que es muy necesario aclarar en un futuro próximo.

Tabla 3

VALORES DE LOS FLUJOS DE AGUA Y DE LA HUELLA HIDROLÓGICA EN ESPAÑA, ITALIA, EE.UU. Y LA INDIA (periodo 1997-2001)

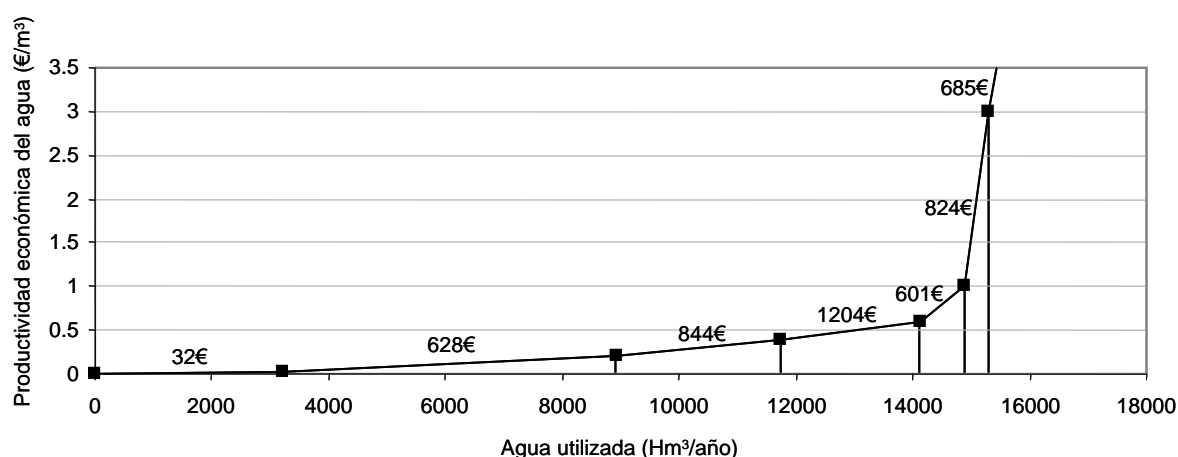
Valores de los flujos de agua y de la huella hidrológica en España, Italia, EE.UU. y la India (período 1997-2001)				
	España	Italia	EE.UU.	India
Población (10 <sup>6</sup> )	40,5	57,7	280,3	1.007,4
<b>Abastecimiento urbano</b>				
km <sup>3</sup> /año	4,2	8,0	60,8	38,6
m <sup>3</sup> /cáp./año	105,0	136,0	217,0	38,0
<b>Evapotranspiración cosechas</b>				
Consumo nacional (km <sup>3</sup> /año)	50,6	47,8	334,2	913,7
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	1.251,0	829,0	1.192,0	907,0
Para exportación (km <sup>3</sup> /año) (*)	17,4	12,4	139,0	35,3
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	430,0	214,0	495,0	35,0
<b>Usos industriales</b>				
Consumo nacional (km <sup>3</sup> /año)	5,6	10,1	170,8	19,1
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	138,0	176,0	609,0	14,0
Para exportación (km <sup>3</sup> /año) (*)	1,7	5,6	44,7	19,1
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	42,0	97,0	159,0	6,0
<b>Agua virtual importada</b>				
a) p. Agrícola (km <sup>3</sup> /año)	27,1	60,0	74,9	13,8
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	671,0	1.039,0	267,0	14,0
b) p. industriales (km <sup>3</sup> /año)	6,5	8,7	56,3	2,2
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	1.605,0	150,8	208,9	21,8
<b>Re-exportación de p. importados (*)</b>	11,4	20,3	45,6	1,2
Ídem (m <sup>3</sup> /cáp./año)	281,0	351,0	163,0	1,0
<b>HUELLA HIDROLÓGICA TOTAL</b>				
km <sup>3</sup> /año	94,0	134,6	896,0	987,4
m <sup>3</sup> /cáp./año	2.300,0	2.300,0	2.500,0	980,0

Fuente: Llamas (2005) a partir de Chapagain y Hoekstra (2004)

Estas últimas cifras, abastecimiento urbano e industria, se corresponden con evaluaciones solo de uso de 'agua azul'. Estos valores no están en contradicción con los valores de usos de agua azul que figuran en estadísticas oficiales (MIMAM, 2000; 2007), en lo que se refiere a los usos urbanos e industriales. Sin embargo, las necesidades hídricas agrícolas de acuerdo con las estadísticas oficiales son menores que las calculadas por estos autores, ya que las cifras oficiales no tienen en cuenta el agua verde (agricultura de secano, pastos naturales, producción de los bosques, etc.).

Con vistas a realizar una asignación más adecuada de los recursos hídricos en un futuro más o menos próximo es importante tener en cuenta que según los datos del MIMAM (2007) (ver Tabla 4) con el 92% del agua utilizada en regadíos se produce poco más de la mitad del valor económico total de los cultivos de regadío. Es muy probable que estos regadíos de alto valor se rieguen con aguas subterráneas o en régimen mixto de aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 4  
VALOR ECONÓMICO PRODUCIDO POR LOS DISTINTOS TIPOS DE REGADÍO ESPAÑOL.



Productividad económica €/m <sup>3</sup>	<0,02	0,02-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-1	1-3	>3	Total
Volumen anual (Hm <sup>3</sup> /año)	3.208	5.710	2.812	2.407	751	412	137	15.437
M€/tramo	32	628	844	1.204	601	824	685	4.817

Fuente: Modificado de MIMAM (2007). Datos para el 78% de las hectáreas.

Además, en los cálculos realizados hasta el momento, y más concretamente en el resumen de los datos sobre La Economía del Agua elaborados por el MIMAM (2007) sorprendentemente no se distinguen los regadíos con aguas superficiales de los regadíos con aguas subterráneas, sin tener en cuenta la notable diferencia que existe entre la productividad de los regadíos con aguas superficiales o subterráneas, como ha sido puesto de manifiesto en una serie de publicaciones (Hernández-Mora y Llamas, 2001; Llamas, 2007).

Es significativo tener en cuenta que nuestro país importa en total 45 km<sup>3</sup>/año y exporta 31 km<sup>3</sup>/año, es decir, resulta un balance negativo de 14 km<sup>3</sup>/año (Tabla 3). En España se utilizan algo más de 17 km<sup>3</sup>/año para producir productos agrícolas que se exportan, es decir, no constituyen una necesidad estricta alimenticia para España, aunque sí tienen una notable importancia en la economía nacional. El agua virtual correspondiente a los alimentos importados es del orden de 27 km<sup>3</sup>/año, es decir, superior al agua virtual exportada por el mismo concepto. Ahora bien, es muy probable que el valor económico de los productos agrícolas exportados (tales como cítricos, hortalizas, aceite de oliva, etc.) sea superior al de los productos agrícolas importados (soja, maíz, etc.). Como ya se ha dicho, los trabajos realizados hasta ahora sobre el agua virtual apenas entran en aspectos económicos cuantitativos.

Sería importante y urgente analizar en nuestro país el valor de cada tipo de cultivo y el uso de agua azul o verde que requiere. Por ejemplo, Albiac *et al.* (2005) estudian los valores de los diferentes cultivos en las zonas a las que estaba prevista la llegada de agua del trasvase del Ebro (Tabla 5) y encuentran valores medios que oscilan entre menos de 900 euros por hectárea para los cereales y más de 40.000 euros para los cultivos de invernadero. Cifras similares pueden encontrarse en el inventario de los regadíos de Andalucía realizado hace ya casi diez años y puesto al día hace poco más de tres años (Vives, 2003).

Estas cifras ponen de modo muy claro de manifiesto la importancia que en la política del agua de España, y de cualquier país árido o semiárido, tiene el sector agrícola. Esto tanto para la producción nacional de alimentos como para la exportación e importación.

Tabla 5  
SUPERFICIE, USO DE AGUA E INGRESOS EN LAS CUENCAS DEL SURESTE (2001)

<i>Cuencas</i>	<i>Total</i>	<i>Cereales, alfalfa y girasol</i>	<i>Frutales</i>	<i>Hortalizas aire libre</i>	<i>Hortalizas invernadero</i>
<i>Júcar</i>					
Superficie (1.000 ha)	212,7	18,5	173,6	19,5	1,1
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	1.450	242	1.081	121	6
Ingresos (millones €)	1.196	39	957	167	33
<i>Segura</i>					
Superficie (1.000 ha)	154,9	8,1	107,7	34,2	4,9
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	863	62	654	125	22
Ingresos (millones €)	1.070	6	485	336	243
<i>Sur</i>					
Superficie (1.000 ha)	54,5	1,1	18,7	6,5	28,1
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	232	10	96	24	102
Ingresos (millones €)	1.124	1	67	87	969

*Fuente: Albiac et al. (2005, Cuadro 1).*

De acuerdo con el estudio de Chapagain y Hoekstra (2004), la huella hidrológica global media es de 1240 m<sup>3</sup>/cápita y año. Como puede verse en la Tabla 3, los países del sur de Europa, como España y Portugal (2325 y 2264 m<sup>3</sup>/cápita y año respectivamente), tienen casi la mayor huella hidrológica mundial tras EE. UU. (2480 m<sup>3</sup>/capita y año). El hecho de que estos países desarrollados presenten una huella hidrológica relativamente alta en parte es debido a la elevada demanda evapotranspirativa de sus cultivos, y en parte, a la dieta que incluye carne y al mejor abastecimiento urbano e industrial. No obstante, en un estudio reciente (Rodríguez, 2008) considera que Chapagain y Hoekstra sobreestimaron la huella hidrológica interna de la agricultura española entre un 100% y un 200%. La discrepancia parece debida a las variaciones introducidas en la metodología con el fin de adaptarla mejor a la agricultura española.

Un aspecto crucial ha sido la distinción del cálculo de la huella hidrológica entre los cultivos de secano y regadío. En Hoekstra y Chapagain (2004) se asume que todos los cultivos ven cubiertas sus necesidades hídricas, supuesto que en el caso del secano español no siempre se cumple. Lo mismo puede decirse en los regadíos con aguas superficiales cuando hay un periodo seco de tres o más años. En los regadíos con aguas subterráneas esta situación sólo parece darse en el Alto Guadiana, debido a las limitaciones legales en la extracción de aguas subterráneas. No obstante existen serias dudas sobre la fiabilidad de los datos sobre el cumplimiento de dichas limitaciones legales en esta zona.

## 5. COMERCIO DE AGUA VIRTUAL

Si un país exportara un producto que exigiera mucha agua virtual para su producción sería equivalente a que estuviera exportando agua, pues de este modo el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener ese producto y podría dedicarla a otros fines, posiblemente con mayor rendimiento económico y social. En lo que sigue se van a resumir algunos efectos potenciales del el “comercio” de agua virtual, remitiendo al lector interesado en más detalle al ya mencionado artículo de Llamas (2005).

### *Efectos de escala*

El comercio del agua virtual es hoy día una realidad que supone casi una quinta parte del agua total (verde y azul) utilizada por la humanidad para todos los usos, que es del orden de 7.500 km<sup>3</sup>/año. Esa proporción muy probablemente creará en un futuro próximo.

El comercio de productos agrícolas está motivado por la escasez de recursos hídricos en una pequeñísima parte, probablemente no sea más del 20% del agua comerciada (que como se ha visto representa alrededor del 20% del agua total utilizada), es decir, menos del 4% del agua total utilizada. Fundamentalmente los factores que mueven las importaciones y exportaciones de alimentos (y por tanto de agua virtual) son los usuales del comercio, por ejemplo los acuerdos comerciales bilaterales, subvenciones a los productos agrarios, el nivel socio-económico, las políticas macroeconómicas de los países importadores y exportadores, el clima, los suelos y la eficiencia tecnológica que permiten a un país o región producir esos bienes a un precio atractivo para el país importador. Además, el abaratamiento del coste del transporte, principalmente el marítimo, y el incremento en su velocidad, han facilitado de modo decisivo el aumento del comercio en general y de los alimentos básicos, como los cereales y los forrajes, en particular.

Hoy suele ser más fácil y más barato transportar mil toneladas de trigo que el millón de metros cúbicos de agua necesaria para producir ese trigo. Por ejemplo, si en España se pueden comprar kiwis procedentes de Nueva Zelanda o manzanas procedentes de Chile, en competencia con los correspondientes frutos de origen nacional, no se debe a la escasez de agua en España sino a que el precio de esos frutos, a pesar del transporte y de las barreras aduaneras, es competitivo. Dicho esto, hay que reconocer que la importación de alimentos básicos (principalmente cereales y forraje para el ganado), ha supuesto una ayuda enorme para resolver la relativa escasez de agua en muchas regiones áridas o semiáridas.

Un ejemplo típico de esta situación son los países de Norte de África, y el Oriente Medio (Allan, 2001). Se estima que el volumen anual de aguas virtual importada por estos países es superior al caudal del río Nilo. Sin embargo, en los países poco desarrollados las dificultades para el transporte de alimentos desde los puertos al interior pueden constituir un serio obstáculo para evitar problemas de insuficiente alimentación o incluso de hambrunas. Hofwegen (2004) cita el problema encontrado en Sudáfrica para hacer llegar los alimentos con camiones desde los puertos marítimos hasta el interior del ese país.

En general, el comercio de agua virtual es una opción política más implícita que explícita. Pero, de hecho, está ya mitigando los problemas de escasez de agua en muchos países áridos y semiáridos y de modo singular en el Norte de África y en Oriente Medio (Allan, 2007). El comercio de agua virtual permite a los países de escasos recursos hídricos evitar lo que hasta hace muy poco se consideraba una probable e inminente crisis facilitando que estos países consigan seguridad alimentaria e hidrológica. Una única condición requerida es que esos países tengan un nivel económico que les permita comprar en los mercados internacionales los alimentos portadores de agua virtual. Esos productos son principalmente los alimentos básicos (como los cereales, el arroz o los forrajes) cuyo valor por tonelada (o metro cúbico de agua virtual) es bastante bajo. En este sentido, tal y como demuestran Aldaya *et al.* (2008), el comercio internacional de alimentos básicos (maíz, soja y trigo) está basado en un 77% en el agua verde exportada por los mayores países exportadores. Este intercambio de bienes global se evalúa positivamente ya que el agua verde tiene un menor coste de oportunidad que el agua azul y, su consumo conlleva generalmente, menores externalidades negativas.

En consecuencia, la seguridad hídrica y alimentaria de una nación puede conseguirse mediante la producción nacional de alimentos o con una combinación de esta producción nacional con importaciones complementarias. Casi siempre, los grandes países, como China, la India, EE.UU. o la Unión Europea, desean ser autosuficientes en alimentos y, en general, pueden conseguirlo ya que no tienen aduanas fiscales y tienen libertad de comercio. Los países no muy pobres, que por su relativa aridez dependen en gran parte de la importación, suelen poner más énfasis político en garantizar el acceso al mercado y en conseguir las necesarias divisas para la importación de alimentos.

Sin embargo, la seguridad alimentaria de algunos países muy pobres está amenazada tanto por su propia pobreza como por las subvenciones de EE.UU. y la Unión Europea a sus sectores agrarios



(Allan, 2006; Rogers *et al.*, 2006). Estas ayudas afectan adversamente a las economías rurales de ciertos países, especialmente a las economías pobres vulnerables a las fluctuaciones de los precios del mercado (Allan, 2001). Los agricultores de estos países no pueden competir con los productos subvencionados que deprimen los precios locales y reducen la producción doméstica (Rosegrant *et al.*, 2002). Por tanto, el actual “comercio” de agua virtual a escala global ocurre principalmente entre países por encima del nivel de ingresos bajo según la clasificación del Banco Mundial. Como indica Allan (2006), el desarrollo socio-económico es un prerrequisito para acceder al sistema global de agua virtual. Algunos países pobres, como el África Subsahariana todavía tienen que “despegar” como previamente lo hicieron Asia y América Latina (CAWMA, 2007, p. 27).

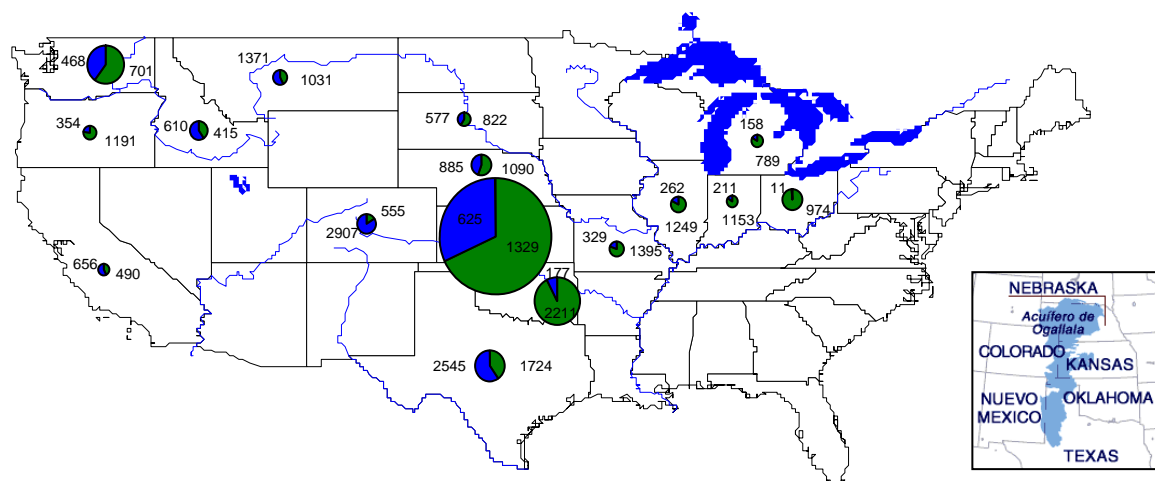
### *Cambio sectorial*

Es indudable que en todos los países la participación de la población activa en los distintos sectores económicos está en continua evolución. Como regla general, la población rural disminuye y aumenta la población urbana. En principio, la importación de alimentos puede ocasionar desequilibrios sociales en algunos países industrializados en la medida que desaparezcan las subvenciones o barreras aduaneras. Este es un tema que va a afectar a las políticas agrícolas y del agua de España.

### *Efectos medio ambientales*

Casi siempre el aprovechamiento económico de un recurso natural implica un coste ecológico. Se trata pues de conseguir un adecuado equilibrio entre esos beneficios económicos y los costes ecológicos. Ahora bien, la valoración de los costes ecológicos no suele ser sencilla y hasta ahora apenas ha sido tomada en cuenta.

Figura 1  
 Uso de los recursos de agua verde y azul en la producción de trigo de invierno de EE. UU. por Estado ( $m^3/ton$ ).  
 (Tamaño del diagrama determinado por la contribución de cada Estado a la producción nacional)



Fuente: Aldaya et al. (2008).

Por ejemplo, el acuífero más intensamente aprovechado que se conoce en países desarrollados es el acuífero de Ogallala, en los EE.UU. (450,000  $km^2$ ) (Aldaya *et al.*, 2008). En su zona de Texas los bombeos del orden de  $7 km^3/año$  superan ampliamente la recarga media anual. Después de medio siglo de bombeos el agua subterránea almacenada en el acuífero ha sido reducida a casi la mitad. Se trata pues de una auténtica minería del agua subterránea. Esta agua se ha destinado principalmente a la producción de cereales y forraje que han servido para hacer de Texas el principal productor y exportador de carne. Este es un caso típico de debate sobre el concepto del desarrollo sostenible de los

aprovechamientos de agua subterránea. No obstante, hasta el momento, no se conoce un estudio que incluya aspectos hidrológicos, económicos, ecológicos y sociales del acuífero Ogallala en Texas (Llamas *et al.*, 2007).

## 6. LIMITACIONES DEL LOS ANÁLISIS DE HUELLA HIDROLÓGICA

En el artículo previamente citado de Llamas (2005) ya se advierte que el comercio de agua virtual y los análisis de huella hidrológica no constituyen una especie de panacea para resolver todos o casi todos los conflictos hídricos. Ahora vamos a recordar brevemente lo que quizá sean las limitaciones más importantes.

En primer lugar de tipo metodológico. En la evaluación del agua virtual de las materias primas y/o de los procesos industriales los métodos de cálculo son todavía poco precisos. El método hoy día más utilizado para estimar la demanda evapotranspirativa de las distintas cosechas y en los distintos climas suele ser el modelo CROPWAT (FAO, 2003). Este método es de gran utilidad pero es sólo una primera aproximación, ya que asume que las necesidades hídricas de los cultivos se satisfacen completamente, lo cual no ocurre con frecuencia en los países áridos o semiáridos, como es España. En otras palabras, la demanda evapotranspirativa calculada suele ser mayor que la real; en cambio la producción en toneladas por hectárea es menor de la supuesta. La FAO está desarrollando actualmente un nuevo modelo, denominado AQUACROP, que se espera esté disponible en breve plazo. Por otro lado, la estimación del agua virtual necesaria para la producción de alimentos manufacturados y productos industriales todavía está en sus etapas iniciales. No obstante, hay que tener en cuenta que la industria supone una pequeña parte del agua virtual utilizada.

En segundo lugar y no con menos importancia, existen limitaciones de tipo económico y político. De modo general, el comercio de alimentos, y por tanto del agua virtual, no ocurre principalmente por razones asociadas a la escasez de los recursos hídricos de un país o región. La mayoría de los políticos consideran muy arriesgado no tener una autosuficiencia alimentaria de cada país o que el libre comercio de los alimentos pueda conducir a un peligroso oligopolio de estas importantes materias primas que podrían quedar en manos de unas pocas grandes compañías internacionales. Para combatir este peligro real o ficticio es esencial que la Organización Mundial de Comercio (OMC) llegue a unos acuerdos internacionales que todavía no parecen próximos. Todo ello, unido a la lógica inercia mental de los políticos y de los gestores del agua, puede hacer que los cambios en los paradigmas de la seguridad hídrica y alimentaria probablemente sean lentos y graduales.

## 7. CONCLUSIONES

- A escala global, se puede asegurar que hay agua suficiente para atender las necesidades (huella hidrológica) de la población actual y futura, pero una condición es que hay que pasar a un consumo y producción sostenible (Heap, 2000).
- Sin embargo, en algunas regiones de clima árido y semiárido pueden plantearse problemas, especialmente si son tan pobres que no tienen medios para importar los alimentos básicos que sobran en muchos países, especialmente en aquellos con una agricultura alimentada por la lluvia. En otros muchos casos, las dificultades de transporte y acceso a las zonas rurales, la ausencia de mercados, la inseguridad en el transporte aconsejan que los países con grandes regiones rurales potencien la producción local de alimentos.
- El análisis de la huella hidrológica de un país, tal y como se plantea en nuestro estudio, facilita la asignación de los recursos hídricos a sus distintas demandas económicas y ecológicas ya que proporciona un marco general de datos hidrológicos y económicos.
- En este sentido, el estudio del agua virtual y huella hidrológica contribuyen a una gestión integrada del agua en el sentido más completo del término pues tiene en cuenta conjuntamente no solo aguas superficiales y subterráneas, sino también la política de

importaciones y exportaciones de alimentos. En España esto exige claramente una mayor colaboración entre los Ministerios de Agricultura y de Medio Ambiente.

- A escala mundial, el comercio de agua virtual sólo en pequeña proporción viene motivado por la escasez de los recursos hídricos. Sin embargo, esa pequeña fracción está contribuyendo ya de forma clara a resolver gran parte de los conflictos hídricos por escasez física de agua.
- El análisis de la huella hidrológica de un país industrializado, como es España, puede ayudar de modo importante a pasar del viejo paradigma “more crops and jobs per drop” al nuevo “more cash and nature per drop”. De este modo, se conseguirá preservar el medio ambiente sin perjudicar la economía del sector agrícola y ganadero.
- En España parece que hay cada vez más de equipos de investigación trabajando seriamente en el tema de la Huella Hidrológica. Ello va a permitir probablemente resolver en un plazo relativamente breve las limitaciones del método ya descritas.
- Desde una perspectiva mundial, parece claro que el problema de la seguridad hídrica y alimentaria de la humanidad en este siglo XXI está mucho más relacionado con la transición a una producción y a un consumo sostenible que a la imposición de restricciones neomaltusianas de sabor colonialista. El mejor conocimiento de la huella hidrológica de este planeta puede ser un instrumento muy útil.

## BIBLIOGRAFÍA

- AgroNegocios (2008): El valor de la producción agraria se elevó a 40.202 M€. AgroNegocios 15-21 Febrero 2008.
- Albiac, J.; Tapia, J.; Mema, M.; Meyer, A.; Hanemann, M.; Mema, M.; Calatrava, J.; Uche, J.; Calvo, E. (2005): Los problemas económicos de la planificación hidrológica. *Revista de Economía Aplicada*, Madrid, 30 pp.
- Aldaya, M. M.; Hoekstra, A. Y.; Allan, J. A. (2008): Strategic importance of green water in international crop trade. *Value of Water Research Report Series* No. 25, UNESCO- IHE Delft, The Netherlands.
- Allan, J. A. (2001): Virtual water -economically invisible and politically silent- a way to solve strategic water problems. *International water and Irrigation* 21 (4): 39-41.
- Allan, J. A. (2003): Virtual Water - the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor? *Water International*. Vol. 28, nº 1, pp. 4-11.
- Allan, J. A. (2006): Virtual Water, Part of an invisible synergy that ameliorates water scarcity. In *Water Crisis: Myth or Reality?* (Rogers, Llamas y Martinez, eds.) Balkema Publishers, pp. 131-150.
- Allan, J. A. (2007): Rural economic transitions: Froundwater uses in the Middle East and its environment consequences. In: *The agricultural Groundwater Revolution*. IWMITATA Workshop. 19 pp.
- CAWMA (2007): *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan. London.
- Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y. (2004): Water Footprints for Nations. *Value of Water-Research Report Series* nº 16, UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands.
- FAO (2003): CROPWAT Model. *Food and Agriculture Organization*. Rome, Italy. ([www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)).
- Food Ethics (2008): Food Ethics Magazine- Spring '08: Water. Food Ethics Council (<http://www.foodethicscouncil.org/node/343>).
- Heap, R. B. (2000): Toward Sustainable Consumption: Vision or Illusory? Tokyo Conference, Interacademy Panel, pp. 83-90.
- Hernández-Mora, N.; Llamas, M. R. (eds) (2001): *La economía del agua subterránea y su gestión colectiva*. Fundación Marcelino Botín y Mundi-Prensa. Madrid, 550 p.
- Hofwegen, P. van (2004): World Trade-Conscious Choices, Synthesis of Conference on Virtual World Trade and Geopolitics. *World Water Council* (<http://www.worldwatercouncil.org>).

- INE (2008): Instituto Nacional de Estadística (<http://www.ine.es/>).
- Llamas, M. R. (2005): "Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos" Discurso inaugural del año 2005-06. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Madrid. Vol. 99, nº 2, pp. 369-389.
- Llamas, M. R. (2006): Avances científicos y cambios en viejos paradigmas sobre la política del agua. *Revista Empresa y Humanismo*, Vol. IX, nº 2, pp. 67-108.
- Llamas, M. R. (2007): Comentarios al resumen del informe del MIMAM (2007) sobre Agua y Economía ([http://rac.es/2/2\\_ficha.asp?id=119&idN3=6&idN4=40](http://rac.es/2/2_ficha.asp?id=119&idN3=6&idN4=40)).
- Llamas, M. R.; Martínez-Santos, P.; Hera, A. de la (2007): The manifold dimensions of groundwater sustainability. In: *The global importance of Groundwater in the 21st century*. Proceedings of the International Symposium on Groundwater Sustainability. Ragone, S., de la Hera, A., Hernández-Mora, N. (eds). National Ground Water Association Press, Ohio, USA, ISBN 1-56034-131-9. pp. 105-116.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2007): (<http://www.mapa.es/>).
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (2000): Libro Blanco del Agua en España. 637 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (2007): Evaluación y conclusiones generales del ciclo de debate: El uso del agua en la economía española: Situación y perspectivas. 27 pp. (<http://www.unizar.es/fnca/docu/docu195.pdf>).
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2007): (<http://www.mapa.es/>).
- Naranjo, J. E. (2008): Agroindustria asociada al regadío. Presentación en la Jornada Técnica: Aguas regeneradas, regadío y desarrollo rural. FENACORE.
- Novo, P. (2008): Análisis del "comercio" de agua virtual en España: Aplicación al caso de los cereales. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Rockström, J.; Lannerstad, M.; Falkenmark, M. (2007): Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. *PNAS* 104(15): 6253-6260.
- Rodríguez, R. (2008): Cálculo de la huella hidrológica de la agricultura española. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Rogers, P.; Llamas, M. R.; Martínez Cortina, L. (2006): Foreword. In: *Water Crisis: Myth or Reality?* Rogers *et al.* (eds.). Taylor and Francis Group. London, pp. IX y X.
- Rosegrant, M.; Cai, X.; Cline, S. (2002): *World water and food to 2025*. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington D.C.
- Shamir, U. (2000): Sustainable Management of Water Resources. Transition towards Sustainability, Intercademy Panel Tokyo Conference, pp. 62-66.
- United Nations Development Programme (UNDP) (2006): Human Development Report 2006: Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis (<http://78.136.31.142/en/reports/global/hdr2006/>).
- Vives, R. (2003): Economic and Social Possibility of Water Use for Irrigation in Andalucía (Spain). *Water International*, Vol. 28, nº 3, pp. 320-333.