

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADÉMICO 2005-2006

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 2 DE NOVIEMBRE DE 2005

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. MANUEL RAMÓN LLAMAS MADURGA

SOBRE EL TEMA

**LOS COLORES DEL AGUA, EL AGUA
VIRTUAL Y LOS CONFLICTOS HÍDRICOS**



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELÉFONO 917 014 230
2005

Depósito legal: M. 41.643-2005

Impreso en Realigraf, S. A - Pedro Tezano, 26. 28039 Madrid

Índice

	<i>Págs.</i>
Resumen	7
1. Introducción	8
2. Objetivo y enfoque	9
3. El agua verde y el agua azul, como elementos principales del ciclo hidrológico. Otros colores del agua	11
4. Conceptos de agua virtual y de huella hidrológica	13
5. ¿Cuánta agua virtual se comercia?	19
6. Ventajas e inconvenientes del comercio de agua virtual	20
6.1. Seguridad alimentaria	21
6.2. Precios, subvenciones y comercio internacional	22
6.3. Cambios sociales inducidos por el comercio de agua virtual	23
6.4. Efectos ecológicos	25
6.5. Trasvases intercuenas o importación intranacional de agua virtual	26
7. Conclusiones	27
Bibliografía	28

**LOS COLORES DEL AGUA,
EL AGUA VIRTUAL
Y LOS CONFLICTOS HÍDRICOS**

Resumen

En casi todos los países áridos o semiáridos la adecuada gestión de los recursos hídricos es un tema tan importante como conflictivo. La situación actual en nuestro país es un ejemplo más entre los muchos casos que se podrían citar. Esta situación conflictiva obedece a distintas causas y tiene variadas soluciones de acuerdo no sólo con las características climáticas de la región considerada, sino también con factores económicos, políticos y culturales.

La mayor parte de los expertos en estos temas suele admitir hoy que los conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física de agua sino a la mala, a veces pésima, gestión que realizan los poderes públicos de este recurso. Esta presentación intenta, modestamente, contribuir a que, en lo que a los recursos hídricos se refiere, en España lo antes posible se pase de la confrontación a la cooperación.

Los avances en la Ciencia y en la Tecnología que se han producido en el último medio siglo permiten resolver esos conflictos con medios que hace pocas décadas nadie podía imaginar. Esos avances se refieren a distintos aspectos. Entre ellos y por su mayor interés para nuestro caso cabe mencionar la desalación de las aguas marinas o salobres, el abaratamiento y la rapidez del transporte de mercancías, la facilidad para extraer aguas subterráneas a bajo coste, las técnicas para depurar las aguas urbanas e industriales, la biotecnología y otras más. En esta breve presentación se va a tratar casi exclusivamente del impacto que está teniendo en la política del agua la mayor facilidad en el transporte de alimentos. El abaratamiento del transporte en las últimas décadas ha sido muy notable.

La producción de biomasa y en concreto de alimentos, se realiza principalmente a través de la función clorofílica. Este proceso exige grandes cantidades de agua con el fin de transformar el CO_2 de la atmósfera en materia orgánica. Esa agua puede proceder tanto del «agua verde», que está en el suelo procedente de la lluvia, como del «agua azul» del regadío con aguas superficiales o subterráneas. Sirva recordar, a grandes rasgos, que para producir un kilo de trigo hacen falta mil kilos de agua, es decir, un metro cúbico; para producir un kilo de carne de vaca hacen falta unos quince metros cúbicos de agua. El agua necesaria para producir un bien o un servicio es lo que se suele llamar «agua virtual».

Esta nueva situación está haciendo cambiar los conceptos de seguridad alimentaria e hidrológica que han estado vigentes durante siglos en la mayor parte de los Estados Mayores de todo el mundo. De modo sintético y con las oportunas matizaciones, se puede afirmar que es más barato transportar los alimentos que el agua necesaria para producirlos. Esto tiene como corolario que 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. Poco a poco los condicionantes ambientales irán adquiriendo más peso en estos temas. Mientras la pobreza continúe siendo el principal problema ambiental de este planeta, su impacto en la política del agua probablemente no va a ser grande.

1. Introducción

Prácticamente hoy todo el mundo habla de la necesidad de hacer un uso sostenible de los recursos naturales y en los países áridos o semiáridos, como es España, de modo especial cuando se trata del agua. Ahora bien, el concepto de sostenibilidad puede definirse o aplicarse de formas muy diversas, según se ponga el énfasis en una de sus dimensiones. Muchos investigadores suelen distinguir tres dimensiones o aspectos en la sostenibilidad: el físico o ecológico, el económico y el social. Sin embargo, otros autores consideran un número mayor de dimensiones. Por ejemplo, Shamir (2000) distingue hasta diez dimensiones: física, económica, ambiental, social, intergeneracional, intrageneracional, científica, institucional, legal y política. En esta presentación se va a considerar la influencia que tienen los diversos tipos o colores del agua en esas distintas dimensiones de sostenibilidad.

Tradicionalmente al hablar de la política o gestión del agua se aludía a las infraestructuras hidráulicas para las aguas superficiales, fundamentalmente presas y canales. Con estas obras los seres humanos han intentado sacar un mejor partido del agua, bien fuera para el regadío, como en Egipto o Mesopotamia; bien para el abastecimiento urbano, como en los numerosos acueductos que nos legaron los ingenieros romanos; bien para el transporte por canales; bien para usos energéticos, desde los tradicionales molinos para cereales a las modernas centrales hidroeléctricas.

En el último medio siglo en prácticamente todas las regiones áridas o semiáridas, desde California y Tejas hasta gran parte de la India, pasando por España y Méjico, se ha producido lo que se ha definido en otros lugares como la Revolución Silenciosa del Uso Intensivo de las Aguas Subterráneas (Llamas y Martínez-Santos, 2005; Fornés et al., 2005). Se califica como revolución, pues ha conducido, y sigue conduciendo, a cambios drásticos en los usos del agua y en la política alimentaria en esas regiones. Se denomina silenciosa, pues ha sido realizada por millones de modestos agricultores con muy escasa planificación y control por parte de los gestores oficiales de la política del agua en esas regiones. Se trata de un fenómeno tecnológico y social tan nuevo que todavía está prácticamente ignorado o mal entendido por la mayor parte de las grandes instituciones internacionales que se ocupan del agua. Este tema no va a constituir el objeto de esta conferencia. Ya lo ha sido con relativa frecuencia durante los últimos lustros en esta Real Academia.

Ambos tipos de aguas, las superficiales y las subterráneas suelen hoy englobarse con el calificativo de agua azul, en contraposición al agua verde con el que se designa al agua que, procedente de las precipitaciones, está en la zona superior del suelo y permite la existencia de la mayor parte de la vegetación natural o cultivada. El agua verde sólo recientemente ha comenzado a ser considerada de modo cuantitativo en los estudios de recursos hídricos. Su medición hidrológica y su valoración monetaria son complejas.

El análisis del papel del agua verde ha conducido al concepto del agua virtual, que es el agua necesaria para producir un bien o un servicio. Al principio, el estudio del papel del agua virtual se refirió principalmente a la producción de alimentos, pero progresivamente se ha extendido a la producción de todos los bienes y servicios que requieren el uso de agua en una región.

La suma de toda el agua virtual que necesita un país o una región para atender la necesidad de bienes y servicios de los habitantes de esa zona es lo que se denomina *huella hidrológica* (hydrological footprint en la literatura anglosajona). El concepto de huella hidrológica está relacionado, en cierta forma es un corolario, con el concepto de huella ecológica enunciado unos diez años antes. Éste se refiere a la cantidad de superficie de terreno que es necesaria para que un grupo colectivo pueda realizar un desarrollo sostenible. Este tema queda fuera del objetivo de esta presentación.

El estudio de las huellas hidrológicas 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 del agua». Se verá que los datos disponibles confirman lo que algunos ya anunciaron hace años (Llamas, 1992 y 1995): **que esa supuesta y fuertemente voceada crisis del agua no es una crisis debida a la escasez física de este recurso sino que esencialmente se trata de un problema de mala gestión.**

Como un ejemplo 1 de esta línea de pensamiento cabe citar a Bichieri-Colombo (2004), quien considera que para resolver los problemas de la seguridad alimentaria e hídrica hay que emplear soluciones distintas a las propuestas hasta ahora por organismos como la FAO y el International Water Management Institute (IWMI), que consisten esencialmente en una expansión de la superficie regada y en un mayor uso de agua superficial o subterránea.

Otro aspecto relevante de esos estudios recientes es que ponen de manifiesto que los problemas del agua no pueden ser resueltos fundamentalmente desde las clásicas administraciones hidrológicas que suelen existir en casi todo el mundo y que suelen gestionar el agua en el ámbito territorial de las cuencas hidrográficas. Es lo que Bichieri-Colombo (2004) califica como «soluciones hidrocéntricas», que, según este autor, carecen de la perspectiva necesaria. Por ejemplo, las decisiones de los gobiernos sobre la política de producción o de importación de alimentos en su respectivo país pueden tener un mayor impacto en la propia seguridad alimentaria e hidrológica que la decisión de construir grandes estructuras hidráulicas. Allan (en prensa a) habla de que más que de *watersheds* (cuencas hidrográficas) hay que hablar de *problemsheds* (que quizá podría traducirse como áreas de problemas).

A. Garrido (comunicación personal, 2005) hace notar que el comercio de alimentos (y consecuentemente de casi toda el agua virtual) está principalmente condicionado por las normas generales de la Organización Mundial de Comercio (OMC). Por ello, el comercio de agua virtual ha venido mucho más condicionado por la política mundial de comercio que por las políticas nacionales del agua. Éstas poco o nada parecen haber influido en las decisiones de la OMC. Garrido (*ibíd.*) parece coincidir con Wilchens (2004) en que el concepto o la metáfora, como dice este autor, del agua virtual es útil para describir el uso del agua en la política agrícola y ganadera y para mejorar la seguridad alimentaria e hidrológica de un país. Ahora bien, ese concepto o metáfora no tiene en cuenta la influencia de la tecnología de producción ni los costes de oportunidad. El uso de la teoría económica de la ventaja competitiva es necesario, según ellos, para definir estrategias óptimas de producción y de comercio. En cualquier caso, parece claro que el concepto de huella hidrológica, unido o no a los métodos propuestos por Garrido y Wilchens, va a exigir pronto una mayor participación del Ministerio de Agricultura español en la definición de la política del agua, hasta ahora diseñada esencialmente por el Ministerio de Medio Ambiente.

2. Objetivos y enfoque

Un primer objetivo de esta presentación es contribuir a difundir entre los profesionales del agua y entre el público español una serie de conceptos relativamente nuevos que están llamados a tener relevancia en la política mundial del agua. Además, pueden ayudar a resolver pronto buena parte de los conflictos hídricos españoles, tan frecuentes en los últimos lustros.

Se van a consignar algunos datos significativos recientemente publicados sobre lo que supone el comercio del agua virtual a escala mundial. Como es lógico, se va a procurar referir estos datos a España, en cuanto sea posible. Los datos hoy disponibles,

en la mayor parte de los casos, son sólo una primera aproximación que se irá mejorando en sucesivos trabajos. No obstante, los valores disponibles indican que la política del agua de España, como la de otros muchos países áridos o semiáridos, va a cambiar mucho en fechas no lejanas.

Y ese cambio será para bien. En efecto, los datos ya conocidos indican que el agua, como un recurso global común, no está inexorablemente condenada a experimentar la «tragedia de los comunes» popularizada por Hardin (1968) hace ya casi cuarenta años. Este autor consideró que la humanidad estaba abocada a sobreexplotar los «global commons» a no ser que la libertad para usarlos fuera constreñida por una de las dos opciones siguientes: a) un fuerte gobierno centralista, o b) un institucionalizado y nítido sistema de propiedad privada. Además, sostenía Hardin que los problemas derivados de la tragedia de los comunes no tenía solución técnica. La experiencia ha demostrado que los planteamientos de Hardin *de modo general* no se corresponden con la realidad. Puede verse, por ejemplo, un reciente número de Science dedicado a este tema (Dietz et al., 2003). Como se verá, en el caso de los recursos hídricos, tampoco se cumplen las fatalistas y pesimistas previsiones de Hardin.

Parece de justicia recordar aquí a dos grandes economistas, ya desaparecidos, que hace ya bastantes años supieron llamar la atención sobre la falta de consistencia científica de algunas de las posiciones entonces consideradas políticamente correctas. Ambos autores fueron frecuentemente discriminados y vilipendiados por atreverse a disentir de las ideas que ciertos grupos de presión habían establecido como políticamente correctas. Me refiero al australiano Collin Clark y al americano Julian Simon. En las referencias bibliográficas incluyo las de una obra significativa de cada uno de ellos. Un análisis más detallado del tema puede verse en Aguirre (en prensa).

El hecho de que la tragedia de los comunes no se haya producido, tampoco debe llevar a un optimismo irresponsable. Se trata de conseguir un desarrollo de los recursos hídricos que sea lo más sostenible posible en las numerosas dimensiones de la sostenibilidad antes enunciadas. Ahora bien, ese desarrollo sostenible exige como condición necesaria que los países industrializados practiquen un «consumo sostenible» en el sentido propuesto por Heap (2000). Este es un tema del que raramente se habla en la literatura científica de los países industrializados, en la que es práctica frecuente echar la culpa de todos los males al crecimiento demográfico de los países en vías de desarrollo. Heap es un científico inglés de la Royal Society, que presentó en la Asamblea de Tokyo del Interacademy Panel un interesante artículo en el que, entre otras cosas, llama la atención sobre la carencia de rigor científico que supone achacar casi todos los males ambientales al crecimiento de la población del tercer mundo. Pone como ejemplo el hecho de que las emisiones de CO₂ del Reino Unido eran entonces más del doble que las de Bangla Desh. Sin embargo el crecimiento anual de la población en el Reino Unido era de 120.000 personas; en Bangla Desh, de 2,4 millones de personas. Recuerda también Heap que las predicciones de Malthus, hechas hace doscientos años, tienen muy poco que ver con lo que realmente ha sucedido en los dos últimos siglos. Hoy habita este planeta una población unas seis veces superior y prácticamente todos los seres humanos están ahora mejor alimentados y gozan de una esperanza de vida entre veinte a cuarenta años más alta. Todo ello ha sido posible gracias a los avances científicos y tecnológicos realizados por el ingenio humano. No parece que haya ningún motivo para pensar que esa capacidad del ingenio humano haya alcanzado su techo. Sin duda, esto es un motivo de satisfacción para los que, con más o menos fortuna, trabajamos por hacer avanzar la Ciencia y para que esos avances sean útiles a la sociedad.

Un objetivo principal de esta conferencia consiste en mostrar cómo los avances de la Ciencia y de la Tecnología están contribuyendo de modo muy significativo a resolver los problemas hídricos que tiene la humanidad en general y España en particular. Sin

embargo, antes de entrar en el núcleo principal es bueno recordar que la complejidad de los problemas hídricos no se resuelve simplemente con una mejor aplicación de los clásicos razonamientos científicos. Lo que hace cinco años dijo Heap (2000) viene a coincidir con lo que el Papa Juan Pablo II (2000) había proclamado diez años antes: «*El problema ecológico es esencialmente un problema ético*». Y no se puede olvidar que el agua está en la raíz de casi todos los problemas ecológicos.

La experiencia personal de quien ahora les habla coincide con ese planteamiento. En 1998 y 1999 la UNESCO creó un grupo de trabajo sobre la ética de los usos del agua dulce. La conclusión sintética de dicho grupo de trabajo, integrado por una docena de personas de diversos países, etnias y culturas, fue que para conseguir una buena gestión del agua es preciso alcanzar un equilibrio entre los valores utilitarios de este recurso y sus valores intangibles, también denominados culturales, ecológicos o religiosos (Llamas & Delli Priscoli, 2000). Las conclusiones de este grupo de trabajo fueron admitidas, prácticamente sin cambios, por la Comisión Mundial de la Ética de la Ciencia y de la Tecnología (COMEST), que patrocina la UNESCO (Selborne, 2001). Es más, con base en los trabajos iniciales del mencionado grupo de trabajo, la UNESCO ha iniciado la publicación de una serie de monografías titulada **WATER & ETHICS SERIES**. Se han publicado ya más de diez monografías (Delli Priscoli et al., 2004).

3. El agua verde y el agua azul como elementos principales del ciclo hidrológico. Otros colores del agua

El funcionamiento básico del ciclo hidrológico sólo fue conocido desde hace algo más de tres siglos (Llamas, 1976). Anteriormente mentes tan preclaras como Aristóteles, Leonardo Da Vinci, Descartes o Kepler entendieron el ciclo al revés. Los valores cuantitativos de los componentes principales del ciclo hidrológico fueron ya evaluados hace unos cuarenta años y las estimaciones principales apenas han variado desde entonces. En síntesis se considera que la precipitación anual sobre las tierras emergidas es del orden de 115.000 km³, de éstos unos 45.000 constituyen el caudal (superficial y subterráneo) de los ríos; los 70.000 km³ restantes se evaporan o son evapotranspirados por la vegetación (NU, 2003, págs. 77 y 84).

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. En la última mitad del siglo veinte también se ha producido un aumento espectacular del uso de las aguas subterráneas (Llamas y Martínez-Santos, 2005).

Según Naciones Unidas (2003, pág. 203), el volumen anual de agua azul utilizada para el regadío de unos 400 millones de hectáreas es del orden de 2.000 a 2.500 km³/año; pero de esta cantidad, según la misma fuente, solamente unos 900 km³/año son los realmente consumidos por las cosechas. Estas cifras realmente no inspiran gran confianza. Los usos urbanos e industriales son muy inferiores.

No existen estadísticas oficiales confiables sobre la proporción entre el uso de aguas superficiales y de aguas subterráneas en el regadío. Shah (2005) estima que el uso de las aguas subterráneas puede bien ser actualmente del orden de 800 km³/año. Ahora bien, las cifras anteriores se refieren al agua usada o extraída o aplicada pero no al agua «consumida», es decir, la que no vuelve a la fase superficial o subterránea del ciclo, sino que se vuelve a la atmósfera en forma de vapor o si vuelve a la fase superficial o subterránea lo hace con un grado de contaminación que la hace inutilizable. El regadío, cuando es eficiente, es el prototipo de uso consuntivo y el agua evapotranspirada suele ser

del orden del 80-90% del agua aplicada. En los regadíos tradicionales por inundación la eficiencia no suele ser superior al 50%. En los usos urbanos se suele estimar que vuelve a la red de alcantarillado el 80% del agua suministrada, si bien vuelve contaminada y hay que «limpiarla» en la correspondiente planta de tratamiento. Esto quiere decir que el agua azul puede tener una serie de tonos que van desde el muy claro del agua potable hasta el muy oscuro de las aguas contaminadas por las ciudades o industrias. De todas formas, cada vez más esas aguas se consideran como un recurso que, previo tratamiento, es reutilizable. Una vez más conviene recordar que las estadísticas disponibles sobre los usos del agua, especialmente en regadíos, son todavía poco precisas.

El **agua verde** es la que queda empapando el suelo, a veces se llama también agua del suelo. 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 (rain-fed agriculture en la terminología anglosajona). Esta agua vuelve a evaporarse directamente desde el suelo o por la transpiración de las plantas. No parecen existir estimaciones aceptables sobre el reparto de esos 70.000 km³/año entre estos elementos. Se estima que el agua utilizada en los cultivos de secano es del orden de 3.000 a 4.000 km³/año. Allan (en prensa a) indica que, en general, el uso del agua del suelo o «agua verde» no se ha cuantificado en la mayor parte de los análisis del uso del agua en la agricultura. Así, por ejemplo, FAO-AQUASTAT (2003, 2004) cuando se refiere a los recursos hídricos renovables de un país sólo se refiere al **agua azul**, aun cuando en el país en cuestión la mayor parte de las cosechas no procedan del regadío.

Algunos autores hablan también de otros colores del agua. Así, 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. El coste de esos procesos ha disminuido notablemente en los últimos años. De modo que hoy se suele situar el coste total de desalar un metro cúbico de agua de mar en torno al medio euro. Esto en boca de desaladora para grandes plantas y sin subvenciones. El precio es menor cuando se trata de aguas subterráneas salobres con menores salinidades. Se ha estimado en documentos más o menos officiosos que existen hoy en España unas 900 plantas desaladoras o desalobradoras que llegan a producir unos 500 millones de metros cúbicos al año. Muchas de ellas parecen ser pequeñas plantas privadas que ilegalmente envían su «rechazo» al arroyo más próximo provocando problemas de contaminación. El uso del agua de mar desalada para usos urbanos es algo bien conocido en España. Hay desaladoras funcionando desde hace décadas, especialmente en el archipiélago Canario, pero también en algunas zonas del Mediterráneo.

Sin embargo su uso de agua de mar desalada para regadío está menos claro. El verano de 2005, en uno de los Cursos de Verano de la Universidad Complutense, este autor afirmó que en España se están ya utilizando cantidades significativas de agua de mar desalada para regadío. Un profesor de Economía agraria de la Universidad de Berkeley, que participaba en ese curso, expresó abiertamente dudas sobre esta afirmación y solicitó datos concretos. Este autor ha intentado sin éxito obtener esos datos concretos sobre el uso actual de agua desalada en regadíos españoles, con indicación precisa de la extensión y situación de las superficies a las que se aplica y sobre sus costes y precios. Entre los poquísimos datos encontrados están los que da Olcina (2002, cuadros 1 y 7), quien indica que en el año 2001 se utilizaban en España 225 millones de metros cúbicos de agua de mar desalada: y de ellos solamente 5 millones estaban destinados al regadío. V. Carcelén (comunicación personal escrita del 14-9-05) indica que la Dirección General de Desarrollo Rural terminó en el año 2000 un voluminoso informe con el título «Análisis de las superficies regadas con aguas depuradas o desaladas». No se ha tenido ocasión de consultar dicho informe pero, en cualquier caso, sus datos tienen al menos cinco años de anti-

güedad. Parece, pues, que de momento no se pueden despejar las dudas expuestas por el profesor de California.

Quizá esta situación de falta de claridad informativa esté influenciada por la carga política que actualmente conlleva este tema, dada la cancelación del trasvase del río Ebro, que estaba prevista en la Ley del Plan Hidrológico Nacional de 2001. De acuerdo con el denominado PLAN AGUA de 2005, aprobado por el nuevo Gobierno, esta gran infraestructura va a ser sustituida fundamentalmente por la construcción y operación de una veintena de plantas desaladoras de agua de mar.

También es interesante consignar lo que sobre este tema dicen Albiac et al. (en prensa): *«El proyecto AGUA incluye inversiones públicas del orden de 1.200 millones de euros para la construcción de nuevas plantas desaladoras de agua de mar para obtener unos 600 millones de metros cúbicos de agua dulce, de ellos el 50% destinado a usos agrícolas. El coste previsto de esta agua desalada, a pie de desaladora, es del orden de 0,5 €/m³. El coste del agua subterránea (extraída o no de modo sostenible) oscila entre 0,1 y 0,2 €/m³. Como es lógico, los agricultores no están fácilmente dispuestos a pagar el agua a un precio mayor mientras no se vean obligados a ello. Por ello y con razón, Albiac et al. (ibíd.) sostienen que para poder implementar el proyecto AGUA, es imprescindible que la Administración haga cumplir estrictamente los límites de las extracciones de aguas subterráneas. Los mismos autores advierten que el riesgo que tiene el proyecto AGUA es que una vez completadas las inversiones públicas en la construcción de esas plantas desaladoras, la demanda de agua para agricultura no se materialice debido a que no se haya podido controlar la actual extracción abusiva de aguas subterráneas.*

En resumen, parece probable que el volumen total de aguas desaladas (de mar y subterráneas salobres) no pase de los 500 millones de metros cúbicos, lo que equivale a menos del 0,5% de la huella hidrológica de España, que es del orden de 90.000 millones de metros cúbicos, como más adelante se verá.

Finalmente, en lo que se refiere a los colores del agua, es interesante recordar lo que ya dijo Shamir (2000). El color más importante del agua es el color gris de la materia gris de nuestro cerebro. En efecto, si se hace una visión retrospectiva de doscientos años y se consideran las razones por las que no se han cumplido las previsiones catastrofistas de Malthus, se llega a la conclusión, ya antes mencionada, de que Malthus y sus epígonos catastrofistas no tomaron en consideración la influencia que los avances científicos y tecnológicos iban a tener para mejorar la alimentación y la salud de la inmensa mayoría de la población.

4. Conceptos de agua virtual y de huella hidrológica

Como antes ya se enunció, el agua utilizada en el proceso de producción de un bien cualquiera (agrícola, alimenticio, industrial) ha sido denominada «agua virtual». Este concepto fue introducido en la década de los noventa por Allan (2003, en prensa a y b). Desde entonces está siendo tratado por autores diversos y desde diversos puntos de vista.

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. La importación de agua virtual está facilitando que los países pobres en recursos hídricos consigan seguridad alimentaria e hidrológica. De este modo pueden destinar sus limitados recursos hídricos a fines más lucrativos, como pueden ser el turismo o la industria o el abastecimiento urbano o la producción de cosechas de alto valor.

Siempre ha existido comercio de alimentos y, por consiguiente, de agua virtual. Basta recordar el episodio bíblico, narrado en el capítulo 42 del Génesis, del viaje de la familia de Jacob a Egipto para comprar trigo al Faraón, debido a la sequía que padecía la región de Palestina. En Egipto, José, otro israelita a la sazón equivalente a Ministro de Agricultura, había tenido la precaución de almacenar trigo en los años húmedos (de vacas gordas) en previsión de que llegasen los años secos (de vacas flacas). Ahora bien, en los últimos lustros el comercio de alimentos se ha incrementado mucho debido en buena parte a las políticas agrarias y al aumento de productividad; pero en otra parte no despreciable a que los avances tecnológicos han abaratado y facilitado el transporte de modo muy notable. En una primera aproximación puede estimarse que el coste del transporte marítimo de una tonelada es del orden de un euro, es decir, bastante menos de un céntimo de euro por kilo. Este precio es casi independiente de la distancia que tenga que recorrer el barco. Esto explica, por ejemplo, que hoy en los mercados de Madrid se puedan comprar kiwis procedentes de Nueva Zelanda o manzanas que vienen de Chile a precios competitivos con los de los equivalentes frutos producidos en España.

El comercio de agua virtual puede permitir a los países de escasos recursos hídricos evitar lo que hasta hace muy poco se consideraba una probable e inminente crisis. Casi la 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. Como se verá después, 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. Casi todos los países importan y exportan agua virtual, pero el balance puede ser muy distinto de unos a otros. Por ejemplo, Canadá exporta grandes cantidades de agua virtual con sus masivas ventas de cereales, pero al mismo tiempo importa agua virtual de Centro América cuando importa flores y frutos de esa región. Jordania importa grandes cantidades de agua virtual con sus compras de cereales (de bajo valor), pero al mismo tiempo exporta agua virtual en cultivos de alto valor (cítricos y hortalizas) que se dan muy bien en su clima.

La estimación del agua necesaria para la producción de cada bien es un tema complejo que deberá ser mejorado en los próximos años. No parece apropiado detenernos ahora en el análisis de esas metodologías. Chapagain y Hoekstra (2004) han publicado recientemente un extenso trabajo sobre este tema al que se hará referencia con frecuencia en lo sucesivo. Quizá basta decir ahora que los principales esfuerzos van dirigidos a determinar el agua virtual de cada producto agrícola en cada clima. Esto es una consecuencia lógica, pues la mayor parte del comercio de agua virtual va unido al comercio de los productos agrícolas o sus derivados. Por otra parte la estimación del agua virtual necesaria para los usos urbanos y para la producción de alimentos manufacturados y de productos industriales todavía está en sus etapas iniciales. Incluso algún autor como Wilcems (2004) no considera adecuada su aplicación.

El concepto de huella hidrológica (water footprint en la literatura anglosajona) fue introducido por Hoekstra & Hung (2002). Este concepto se ha utilizado como un indicador del uso del agua por las personas, grupos colectivos o países. Puede definirse como el volumen de agua que es necesario para la producción de los bienes y servicios que utiliza una persona o un grupo colectivo de personas. Obviamente, es un concepto íntimamente ligado al de agua virtual.

Cuando los habitantes de una región importan bienes y servicios de otra región están importando el agua virtual que fue necesaria para producir esos bienes y servicios.

El uso total de agua verde y azul que se utiliza en una determinada región por un grupo colectivo no es la medida correcta de los recursos hídricos que utiliza ese colectivo. Si hay importación de agua virtual en productos agrarios o industriales esa cantidad debe ser añadida.

Tabla 1. *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 2)	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: Chapagain & Hoekstra, 2004, Tabla 4.2 y N.U. 2003 Tabla 8.3.

En la Tabla 1 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. En el concepto de huella hidrológica utilizado por Chapagain y Hoekstra no se sustraen los flujos de agua virtual que se exportan en forma de productos agrarios o industriales. Posiblemente estos autores consideran que las exportaciones no son tan vitales desde un punto de vista de las necesidades de un grupo o país. Sin embargo, parece claro que esas exportaciones pueden jugar un papel muy importante en la vida económica de ese país o grupo colectivo. Entre otras razones porque permiten obtener fondos para importar agua virtual en forma de productos agrícolas o industriales.

Zimmer & Renault (2003), un año antes, estimaron que la cantidad total de agua (azul y verde) que se utiliza en el planeta para producir todo tipo de alimentos es de unos 5.200 km³/año. Esta cifra es del mismo orden de magnitud que los 6.000 km³/año que estima NU (2003) como volumen de agua necesario para la producción de alimentos para los seis mil millones de personas del planeta. Según Zimmer & Renault (*ibíd.*), de esa cantidad el 29% se utiliza para producir carne, un 17% para la producción de productos animales elaborados; los cereales sólo suman el 23%. Hay que tener en cuenta que en las carnes y en los productos animales elaborados se incluye el agua virtual utilizada para la producción de forrajes que han alimentado a esos animales. En cambio, desde el punto de vista del valor energético, la situación es diferente. Los cereales suponen el 51% del valor energético y la carne y los productos animales elaborados sólo el 15%.

Chapagain y Hoekstra (2004) estiman que el valor de la huella hidrológica total de la humanidad es de 7.500 km³/año. Este aumento se debe principalmente a que añaden el agua necesaria para los usos domésticos y urbanos y para la elaboración de productos industriales. En cualquier caso, es interesante recordar que la precipitación en las tierras emergidas, es decir, la suma del agua azul y verde que cada año circula en el ciclo hidrológico es del orden de 115.000 km³. En otras palabras, desde un punto de vista global las necesidades de agua (azul y verde) de la humanidad actual quedan bastante por debajo del 10% de las precipitaciones anuales. De todas formas, estas son cifras globales que

constituyen sólo una primera aproximación para enfocar adecuadamente los problemas hídricos específicos de los distintos países.

No hay tiempo para entrar en la metodología y las bases de datos que utilizan Chapagain & Hoesktra (*ibíd.*), pero con objeto de valorar adecuadamente los datos parciales que se resumen en las Tablas 2 y 3 que figuran a continuación, parece conveniente tener en cuenta una serie de observaciones.

Tabla 2. *Renta, tierra cultivable, recursos renovables y usos del agua «azul»*

	<i>España</i>	<i>Italia</i>	<i>EE.UU.</i>	<i>India</i>
Población (10 ⁶)	40,5	57,7	280,3	1.007,4
Renta (\$/cápita y año)	15.000	20.000	33.000	444
Superficie cultivable (10 ⁶ ha)	13,5	8,3	177,6	161,7
Agua renovable (km ³ /año)	111	191,3	3.069	1.896
Ídem (m ³ /cápita y año)	2.741	3.315	10.949	1.882
Usos agrícolas (km ³ /año)	24,2	20,0	203,6	569,6
Ídem (m ³ /cápita y año)	598	347	726	566
Usos domésticos (km ³ /año)	4,2	8,0	60,8	36,6
Ídem (m ³ /cápita y año)	104	139	217	36
Usos industriales (km ³ /año)	7,3	15,7	215,5	25,1
Ídem (m ³ /cápita y año)	179	272	769	25
Usos totales (km ³ /año)	35,8	43,7	479,6	633,3
Ídem (m ³ /cápita y año)	880	756	1.711	629

Fuente: AQUASTAT-FAO (2004), citado en Chapagain & Hoesktra (2004), appendix V.

En la Tabla 2 se resumen los datos clásicos sobre los usos del agua. En la Tabla 3 se presentan los datos más novedosos referidos al agua virtual.

Para tener una idea de los órdenes de magnitud de los flujos de agua virtual y no virtual y de la huella hidrológica en España, se reproducen a continuación los valores tomados de Chapagain & Hoesktra (2004). A efectos comparativos se incluyen también los datos de Italia, EE.UU. e India.

Los **usos agrícolas** de la Tabla 3 son las demandas evapotranspirativas de las diversas cosechas en los distintos climas obtenidas esencialmente sobre la base de los datos de la FAO. Incluyen tanto el agua de lluvia (agua verde) como el agua de regadío (agua azul superficial y/o subterránea), en cambio no incluyen las pérdidas por un uso ineficiente del agua de regadío. Los autores consideran que estas pérdidas o «retornos» vuelven al sistema y son reutilizadas aguas abajo. Esto debe considerarse como una primerísima aproximación al tema. En efecto, a escala mundial lo que quizá más preocupa hoy día es conseguir una mayor eficiencia en los regadíos (con aguas superficiales). El lema mundial es «more crops and jobs per drop». Hay, en efecto, una generalizada conciencia de que el regadío es el gran despilfarrador del agua azul. Es cierto que una parte de esos retornos vuelve al sistema, pero lo hace con una calidad degradada en mayor o menor proporción. De hecho en España se ha dado gran importancia a la modernización de los regadíos y se están invirtiendo en esta tarea cantidades importantes de subvenciones públicas.

Hasta ahora los trabajos publicados sobre el agua virtual apenas tienen en cuenta ni los temas concernientes a la calidad del agua ni los referentes a los impactos ecológicos. Es algo que habrá que afrontar en próximas etapas.

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

(*) Este concepto está relacionado con el de **huella hidrológica externa** de un país, que se refiere al volumen anual de agua que utiliza ese país para producir bienes y servicios que exporta a otras naciones. Es igual al agua virtual exportada en productos agrícolas o industriales, pero hay que descontar el volumen de agua virtual que fue previamente importada. En el caso español estas cifras son 17,4 (agrícolas) más 1,7 (industrial) menos 11,4 (re-exportación), es decir, 7,7 km³/año o 190,1 m³/cáp./año.

Fuente: Chapagain & Hoekstra, 2004, Tabla 4.9 y Apéndice XX.

En cambio al tratar de los usos domésticos (en España solemos definirlos como urbanos) e industriales, los autores utilizan las cifras de usos no consuntivos o agua aplicada, lo cual no parece acorde con la metodología utilizada para la determinación de los usos agrícolas que son sólo los usos propiamente consuntivos (evapotranspirativos). De hecho, de modo general suele admitirse que al menos el 80% del agua utilizada en usos urbanos vuelve al sistema, si bien vuelve contaminada y es preciso tratarla antes de

reintegrarla a las masas de agua superficiales o subterráneas. Esto se va consiguiendo con un buen ritmo en los países industrializados, no así en los países en vías de desarrollo. Por lo que se refiere a los usos industriales tanto los datos de base como la metodología empleada todavía son primeras aproximaciones (ver sección 2.2.2 en la obra de referencia). Estas limitaciones en los datos y/o en la metodología no tienen una importancia práctica en la mayor parte de los países. En efecto, los usos industriales y urbanos suelen suponer una pequeña parte del agua virtual utilizada y consumida a escala mundial. En conjunto, los usos agrícolas suponen al menos el 90% de esos usos consuntivos. Pueden constituir excepción algunos países altamente industrializados pero no parece que en esos países sea previsible una real «crisis del agua».

En resumen, según estos autores, las necesidades de agua total (verde y azul) en España son del orden de 100 km³/año, que se reparten del modo aproximado siguiente: a) 5% para abastecimiento urbano y doméstico; b) 80% para producción de alimentos (de éstos 2/3 son con agua nacional y 1/3 con agua virtual importada); y c) 15% se utiliza para productos industriales (de estos algo más de la mitad corresponden a importaciones, es decir, es agua virtual importada). Estos valores no están en contradicción con los valores de usos de agua azul (superficial y subterránea) que figuran en el Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000), en lo que se refiere a los usos urbanos e industriales. Sin embargo, es significativo hacer notar que el Libro Blanco estima que el agua (azul) para usos agrícolas es solamente de unos 25 km³/año, cuando Chapagain y Hoekstra (2004) hablan de 51 y 17 km³/año destinados a la producción nacional y a la exportación, respectivamente. Esto se debe, probablemente, a que el Libro Blanco no tiene en cuenta el agua verde (agricultura de secano, pastos naturales, producción de los bosques, etc.). Sería conveniente analizar en un futuro próximo con más detalle si esa diferencia de casi 35 km³/año es explicable por el agua verde. 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.

Aunque no se incluya en la huella hidrológica española, es significativo tener en cuenta que nuestro país importa en total 45 km³/año y exporta 31 km³/año, es decir, resulta un balance negativo de 14 km³/año. A título comparativo, según Chapagain & Hoekstra (2004, Tabla 4.7), Japón es el país con mayor déficit de agua virtual (90 km³/año) y Australia el que tiene un balance más excedentario (64 km³/año). De modo más específico, en España se utilizan algo más de 17 km³/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 km³/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. Es un tema importante y pendiente de realizar. Para Garrido (2005) esto es evidente: *«El agua virtual responde a la lógica de la ventaja comparativa. El Mediterráneo es importador de cereales y forrajes en forma de soja, maíz o torta de soja (que tiene más del doble de agua incardinada) que las frutas y hortalizas (que trasladan gran parte del consumo de agua al propio producto). Sin embargo, en el Mediterráneo se exporta aceite que tiene una cantidad de agua relativa equivalente a la carne de vacuno (11.000 m³/ton frente a 13.000 m³/ha). ¿Por qué? Pues por la tecnología, por la ventaja comparativa que tiene, por ejemplo, España con el olivar y también la tiene con el vino».*

En un último trabajo de Chapagain et al. (2005) ya reconocen, como hace Wilchems, (2004), que los factores económicos y sociales suelen ser los motores principales del comercio del agua virtual a través del comercio de alimentos y productos elaborados. Ahora bien, caben pocas dudas de que los conceptos de agua virtual y de huella hidrológica han introducido cambios decisivos en múltiples aspectos tradicionales de la política del agua a escala mundial. Los conceptos de seguridad alimentaria e hidrológica y los catastrofistas anuncios de que media humanidad va a estar «water stressed» en las próximas décadas van a sufrir cambios muy significativos.

5. ¿Cuánta agua virtual se comercia?

Chapagain & Hoekstra (2004) presentan en los apéndices de su trabajo un cúmulo de datos obtenidos principalmente de la FAO, del Banco Mundial y de la Organización Mundial de Comercio. Esos apéndices suponen una interesante base de trabajo. Ahora bien, esas cifras deben tomarse todavía con cierta reserva y considerarlas como una primera aproximación. En primer lugar, algunos de esos datos iniciales no inspiran gran confianza pues proceden esencialmente de los propios países y en algunos de ellos la organización de los servicios estadísticos no es muy eficiente. Además, como ya se dijo, el paso de las cantidades de productos comercializados a su correspondiente agua virtual todavía tiene que ser perfeccionada, especialmente en lo que se refiere a los productos

Tabla 4. *Valores medios (\$/tonelada) de algunos productos vegetales*

Trigo	125-150
Cebada	134
Maíz	125
Maíz	125
Tomate	856
Productos hortícolas	757
Girasol	294
Girasol	294
Aceite virgen	2.036
Café	2.118
Uvas frescas	1.160

(Los productos animales suelen tener precios sensiblemente más elevados).

(Fuente: el apéndice IV de Chapagain & Hoekstra, 2004).

elaborados (industriales o agrícolas). Otro importante aspecto, prácticamente no considerado en el trabajo de Chapagain & Hoekstra mencionado, es que apenas analiza el valor económico que implican los distintos flujos de agua virtual.

La correspondencia entre estos precios medios del comercio internacional y los metros cúbicos de agua virtual necesarios para producir una tonelada de ese producto no es sencilla. Por ejemplo, en el Apéndice XIII del repetidamente citado trabajo se indica que para producir una tonelada de trigo en Italia necesitan 2.400 m³ y en España solamente 1.227 m³, es decir, prácticamente la mitad de agua virtual. Si esto se confirmase, vendría a significar que en la producción de trigo, el agua virtual tiene una productividad económica en Italia que es la mitad que la de España. En cualquier caso, parece claro que tiene

poco sentido económico que en los países áridos y semiáridos se emplee agua en la producción de cultivos de escaso valor y alta demanda de agua, como pueden ser los cereales o la alfalfa.

No parece ahora apropiado exponer con detalle los numerosos datos elaborados sobre la cuantía y los componentes de la huella hidrológica en los distintos países, pero resulta interesante mencionar algunos datos significativos del ya muy citado trabajo de Chapagain & Hoekstra.

La huella hidrológica mundial o global es de unos 7,500 km³/año, equivalente a algo más de 1.200 m³/año per cápita. Estiman los autores que aproximadamente el 16% del uso global de agua se emplea para producir bienes (agrícolas o industriales) que se exportan, es decir, no son para uso nacional. Es un porcentaje sustancial y además en crecimiento.

Las diferencias entre países son grandes: los EE.UU. tienen 2.500 m³/cápita y año, y China sólo 700 m³/cápita y año. Recordemos que España tiene un valor de unos 2.300 m³/cápita y año, es decir, muy parecido al de los EE.UU.

Según dichos autores, hay cuatro factores principales que explican los altos valores de la huella hidrológica. Un primer factor es el producto nacional bruto per cápita, pues facilita un mayor consumo general. Un segundo factor está relacionado con las costumbres de consumo, y de modo especial con la dieta alimentaria. Por ejemplo, en los EE.UU. el consumo de carne es tres veces superior a la media mundial. Casi igual que la dieta influye el uso de productos industriales, que es también característico de los países más desarrollados. El clima es un tercer factor, pues en las regiones con fuerte evaporación los requerimientos de agua por unidad de cosecha son mayores. Esto explica que las huellas ecológicas de países pobres como Malí, Chad y Sudán, por ejemplo, sean altas. Un cuarto factor es la baja eficiencia agrícola en el uso del agua. Esto ocurre, por ejemplo, en Tailandia, donde la producción de arroz es de 2,5 T/ha, mientras que la media mundial es de 3,9 T/ha.

Los mismos autores sugieren diversos procedimientos para reducir la huella hidrológica de una región o país. Uno de ellos es el cambio de una dieta rica en carne a otra más vegetariana; otro es la modernización de la agricultura. Pero reconocen que su aplicación no es fácil y que hace falta todavía más información sobre los componentes de la huella hidrológica de cada país para poder proponer acciones consistentes. Por ejemplo, en sus cálculos no han incluido los flujos de retorno en los regadíos ni tampoco han considerado la notable diferencia que de hecho existe entre la productividad de los regadíos con aguas superficiales o subterráneas, como ha sido puesto de manifiesto en España en una serie de publicaciones (Hernández-Mora y Llamas, 2001). Otra importante limitación de la huella hidrológica es que es sólo un indicador sobre la cantidad de agua y no tiene en cuenta los problemas de calidad que, en ocasiones, son de gran importancia.

Garrido (2005) considera que también es clave considerar el coste de oportunidad: *«Si así se hiciese, todo el producto consumido estaría internacionalizando todos los costes de su producción, incluido el del agua. Ello encarecería las producciones de carne en España, haciendo que las de Irlanda o Argentina pareciesen más baratas. Entonces se produciría más comercio de carnes del que hay, y por tanto, más agua virtual. Pero no por la escasez o abundancia de agua, sino por la ventaja comparativa global».*

6. Ventajas e inconvenientes del comercio de agua virtual

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, como antes se indicó, es del orden de 7.500 km³/año. Esa proporción muy probablemente creará en un futuro próximo.

El abaratamiento del coste del transporte, principalmente el marítimo, y el incremento en su velocidad, ambos hechos posibles por los recientes avances tecnológicos que todavía no han tocado techo, 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. 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 ya 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, en prensa b).

Sin embargo, no es una panacea para resolver todos los problemas actuales y futuros. Es preciso conocer en cada caso las implicaciones políticas, sociales, económicas y culturales que tiene esta opción política. A eso se van a dedicar las secciones siguientes de este apartado.

6.1. *La seguridad alimentaria*

Los Estados Mayores de todos los países suelen considerar que una estrategia obligada es garantizar la seguridad alimentaria de sus conciudadanos, es decir, la capacidad para proporcionar a sus habitantes alimento suficiente y sano ahora y en un futuro. No puede olvidarse que hasta hace muy pocos siglos la táctica de sitiar una ciudad o una fortaleza incluía tratar de impedir la llegada de agua y alimentos a los sitiados.

El problema de la seguridad alimentaria es especialmente agudo en los países áridos y pobres cuando en esas zonas se da una sequía, que, a su vez, produce una hambruna que suele saltar a los titulares de los medios de comunicación de todo el mundo. Sin embargo, en muchas ocasiones esas hambrunas tienen sobre todo un origen político como han puesto de manifiesto algunos trabajos relativamente recientes (Brunel, 1989).

La seguridad alimentaria de una nación puede conseguirse mediante la producción nacional de alimentos o con una combinación de esta producción nacional con importaciones complementarias. Así pues, la seguridad alimentaria de un país conlleva importantes decisiones políticas en cuanto a la construcción de infraestructuras hidráulicas, al fomento de la agricultura de secano y a las relaciones internacionales de comercio.

Casi siempre los grandes países, como China o la India, desean ser autosuficientes en alimentos y, en general, pueden conseguirlo. 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.

La seguridad alimentaria de algunos países muy pobres está amenazada fundamentalmente por su propia pobreza. Su población suele ser mayoritariamente rural y vive en una economía de subsistencia. Dada la falta de recursos económicos para establecer grandes sistemas de regadío con aguas superficiales, algunos autores como Hofwegen (2004) consideran que el principal esfuerzo en esos países debería estar encaminado a mejorar el rendimiento de la agricultura de secano, directamente alimentada por la lluvia. Sin embargo, es muy probable que en muchos de los países no excesivamente pobres la solución, al menos inicial, esté en el uso intensivo de las aguas subterráneas (Llamas, 2005; Allan,

en prensa b). En los países extremadamente pobres, con menos de un dólar per cápita y día parece poco probable que tengan capacidad para instalar pozos profundos mecanizados. En algunas de estas regiones, en las que parecen vivir unos quinientos millones de personas, la ONG International Development Enterprise (IDE) inició hace ya unos veinte años el rudimentario sistema de la bomba de pedales junto con el uso de modernos y baratos sistemas de riego localizado. El resultado parece haber sido muy positivo y ha permitido en estas zonas pasar relativamente pronto de la bomba de pedales a pequeñas bombas diésel y de ellas a pozos entubados profundos con sistemas de extracción diésel o eléctricos (Polak, 2005). Lo ocurrido en la India en los últimos decenios es sin duda el caso más espectacular de desarrollo de regadío. Este país casi ha duplicado su población en los últimos cuarenta años (de 600 a 1.100 millones de habitantes) y ha pasado a ser un importante exportador de cereales en el mercado mundial. Esto se ha conseguido fundamentalmente mediante la extracción de unos 200 km³/año de aguas subterráneas por medio de unos veinte millones de pozos para regar unos cincuenta millones de hectáreas (Shah, 2005).

No obstante, en algunos países donde la revolución silenciosa del uso de las aguas subterráneas es ignorada y/o la solución de importar los alimentos básicos cuya producción requiere mucha agua no está considerada, sigue predominando la idea de que para conseguir la seguridad alimentaria la mejor o única solución es la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas. No rara vez esta actitud se debe a una mezcla de ignorancia, arrogancia, negligencia y corrupción (Llamas & Delli Priscoli, 2000).

6.2. *Precios, subvenciones (¿perversas?) y comercio internacional*

Ramírez-Vallejo (en prensa) hace ver que no es adecuado aplicar una simple teoría económica para explicar el comercio del agua virtual. Este comercio está condicionado por una amplia serie de factores entre los que este autor menciona los siguientes: acuerdos comerciales bilaterales, crecimiento de la economía y/o de la población, innovación tecnológica, subvenciones directas o indirectas a los productos agrarios, las políticas macroeconómicas de los países importadores y exportadores, las políticas nacionales macroeconómicas, y la lucha contra la degradación de los recursos naturales. Este autor hace notar que el comercio del agua virtual es muy complejo y que en la actualidad no está principalmente motivado por la falta de agua o la seguridad alimentarias en los principales países importadores de agua virtual. Así por ejemplo, en el período 1993-1998, el 75% del comercio de agua virtual tuvo lugar entre países pertenecientes a la OCDE.

El comercio de agua virtual depende en buena parte de las reglas del comercio internacional, que, desde hace unos años, la Organización Mundial de Comercio (OMC) está intentado consensuar. Es evidente que estas reglas tienen implicaciones geopolíticas, al igual que el proceso de la globalización del que este comercio es sólo un aspecto. No pocos políticos miran con prevención el comercio del agua virtual pues consideran que puede producir en los países importadores un aumento de dependencia respecto de los países exportadores o de las grandes compañías internacionales que podrían formar oligopolios para controlar el comercio mundial de alimentos.

Los precios de los productos alimentarios dependen en buena parte de las condiciones climáticas y de desarrollo tecnológico de cada región. Ahora bien esos precios suelen estar también fuertemente influenciados por el sistema de subvenciones a los agricultores y por las barreras aduaneras, tal como hoy día existen en los EE.UU., la Unión Europea y Japón. Algunos autores consideran que estos factores constriñen de modo considerable el mercado de agua virtual. Rogers y Ramírez-Vallejo (2003) estiman que las subvenciones a los agricultores de los países de la OCDE (mil millones de dólares al día) tienen un gran

impacto negativo en la producción agrícola de los países en vías de desarrollo. Según estos autores, más de una tercera parte de las rentas de los agricultores de los países de la OCDE proceden de subvenciones gubernamentales. Y estas subvenciones son cinco veces superiores a toda la ayuda que se da para promover el desarrollo en los países pobres; y es dos veces superior a las exportaciones agrícolas que proceden de los países en vías de desarrollo. Otro dato significativo aportado por estos autores es que la subvención por cada vaca en la Unión Europea es mayor de dos dólares diarios. Se estima que actualmente hay unos dos mil quinientos millones de personas que viven con menos de dos dólares diarios, es decir, de lo que la Unión Europea da por cada vaca (PNUD, 2005).

Rogers & Ramírez-Vallejo (*ibíd.*) han estudiado la potencial evolución del mercado del agua virtual hasta el año 2020 en el supuesto de que las cosas sigan como hasta ahora o de que se produzca la liberalización del mercado que propone la OMC. Llegan a la conclusión de que la preponderancia de los EE.UU. en el mercado libre sería todavía mayor que con el sistema actual; también subiría sensiblemente el papel de América Latina.

Como Ramírez-Vallejo (en prensa), pensamos que la relativa escasez de agua (azul o verde) suele agudizar el ingenio humano (agua gris) e incentiva cambios tecnológicos positivos. Ahora bien, es muy difícil que haya concienciación de esa escasez si los precios del agua pagados por sus consumidores están muy alejados de los costes reales. Con muy buen criterio la reducción de este alejamiento entre precios y costes del agua es uno de los objetivos principales de la Directiva Marco del Agua de la UE. Su aplicación en España y en otros muchos países está encontrando una fuerte resistencia. En el fondo es el conocido tema de las subvenciones perversas, es decir, aquéllas que son malas para la economía y para el medio ambiente de un país. Este es un problema mundial que no es fácil de resolver (Myers & Kent, 1998).

El Director General de la FAO, Jacques Diaof, declaraba recientemente (La Vanguardia, 15 de septiembre de 2005): «Con los países industrializados subvencionando sus agriculturas con cerca de mil millones de dólares diarios, los precios internacionales de los productos agrícolas y los campesinos en los países pobres deben hacer frente a una competencia desleal incluso en sus propios mercados».

6.3. Cambios sociales inducidos por el comercio del agua virtual

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. La proporción de la población activa en la agricultura y ganadería de España no llega al 6% cuando hace medio siglo era de casi el 50%. Es más, esa proporción varía mucho de una regiones a otras, desde menos del 2% en el Archipiélago Balear hasta más de 10% en Andalucía y Extremadura. Parece prácticamente seguro que esa proporción de población activa dedicada a la agricultura va a continuar disminuyendo en los próximos años tanto en España como en casi todos los países.

Todavía algunas regiones viven en unas condiciones de pobreza extrema (menos de un dólar por persona y año). En estos países una gran parte de la población suele ser rural y practica una agricultura de subsistencia. En estas regiones la importación no bien planificada de alimentos básicos puede causar problemas de todavía mayor desempleo pues los agricultores de esas zonas suelen tener una tecnología agrícola poco avanzada y los costes de sus productos son bastante superiores a los precios de los productos importados, que, además, como antes se ha dicho, suelen estar fuertemente subvencionados en los países de la OCDE.

En principio, aunque no de forma tan aguda, la importación de alimentos también 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. Como es bien sabido, la política proteccionista de la agricultura en la Unión Europea está en revisión y con probable tendencia a disminuir las subvenciones a productos agrícolas básicos, como pueden ser los cereales, el algodón, el arroz, la remolacha azucarera y otros muchos productos típicos de la agricultura continental. Estos cultivos suelen requerir regadío en España para poder competir con los análogos que se cultivan en otras regiones de la UE. Y dentro de la UE no hay barreras proteccionistas. Eso puede suponer que esos cultivos no sean viables, aun cuando sigan teniendo un agua de regadío a unos precios muy bajos.

En España algunos autores consideran que los típicos cultivos mediterráneos (hortalizas, cítricos, aceite de oliva, y otros) que apenas están subvencionados por la UE van a poder resistir el embate de la competencia con los demás países de la UE donde las condiciones climáticas para esas cosechas son menos favorables. Parece oportuno analizar el impacto que sobre este tipo de cultivos van a tener tanto los acuerdos de la OMC como otras regulaciones de la UE, como pueden ser los probables acuerdos preferenciales con los países del Norte de África o con Turquía.

Esto debería llevar a plantear una reconversión de nuestra agricultura en la que el agua es un factor más a considerar, aunque no el más importante. De hecho, muchos agricultores ya están haciendo esa reconversión. Por ejemplo bastantes han pasado de cultivos con uso intensivo de agua y valor bajo a otros cultivos que exigen menor cantidad de agua y tienen mayor valor. Así por ejemplo, es frecuente ver que el maíz o la alfalfa se han sustituido en la España continental por vides u olivos.

Anteriormente se ha aludido al extendido lema internacional «more crops and jobs per drop», es decir, más cosechas y puestos de trabajo por metro cúbico de agua. Este lema está básicamente motivado por las ideas de seguridad hídrica y alimentaria. Dicho en otras palabras por el peligro del «waterstress» de muchos países y por el de los millones de población todavía mal alimentados. Los datos expuestos indican que esta perspectiva debe cambiar. El problema ecológico fundamental de la humanidad es la pobreza. Esto quedó muy claro en la última reunión de la Comisión Mundial para el Desarrollo Sostenible tenida en Johannesburgo en 2002. El último informe de las Naciones Unidas sobre el nivel de desarrollo de todos los países (PNUD, 2005) vuelve a insistir en ello. También este tema ha sido objeto de acalorado debate en la reunión plenaria de las Naciones Unidas tenida en Nueva York en Septiembre de 2005. Lamentablemente la declaración final sobre el tema es una simple formulación de buenas intenciones con poca o nula efectividad.

Así pues, el lema nuevo debería ser **«more cash, and environment (and jobs) per drop»**. El aumento de puestos de trabajo se pone entre paréntesis pues, en algunos sitios, como España, ese no es el problema real. Prácticamente casi todos los puestos de trabajo en la agricultura están siendo cubiertos por inmigrantes legales (o ilegales). Esta política de inmigración, unida a la mísera ayuda que la mayor parte de los estados miembros de la UE, incluida España, dan para el desarrollo del tercer mundo, plantea una serie de problemas éticos y sociales, que ya fueron objeto de una serie de conferencias en esta Real Academia hace tres años (Llamas, 2003) y que no hay tiempo ahora de volver a tratar.

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. (en prensa) estudian los valores de los diferentes cultivos en las zonas a las que estaba prevista la llegada de agua del trasvase del Ebro (ver 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

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 ³)	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 ³)	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 ³)	232	10	96	24	102
Ingresos (millones €)	1.124	1	67	87	969

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

(Vives, 2003). En resumen, los ingresos brutos obtenidos por metro cúbico de agua de regadío pueden oscilar fácilmente entre 0,1 y 11 euros.

6.4. *Efectos ecológicos*

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. Este es un hecho bien conocido desde hace bastantes años (Llamas et al., 1992). Ahora bien, la valoración de los costes ecológicos no suele ser sencilla. Y depende mucho de la situación económica y cultural del país en cuestión.

Al tratar de la concienciación que cada país tiene sobre el problema ecológico, con relativa frecuencia se suele citar las denominadas «curvas de Simon Kuznets». En síntesis, este premio Nobel estimó que el indicador ambiental o la concienciación ecológica de los países está relacionada con su renta per cápita. La forma de las curvas depende del indicador ambiental considerado. La más general es la que tiene forma de «U». Los países muy pobres suelen tener un sistema de vida basado en gran parte en una economía agraria de subsistencia. Sus habitantes tienen una vida relativamente compenetrada con su medio ambiente y además no tienen apenas medios para causar una agresión a su entorno. La principal preocupación de los gobernantes de esos países es fomentar su desarrollo económico, independientemente de que sea o no ecológicamente sostenible. Esto ocurre hasta que el nivel de vida alcanza un cierto valor. Entonces la relación con otros países industrializados es mayor, la sociedad civil comienza a madurar, aparecen las ONGs conservacionistas, y en consecuencia crece la concienciación ecológica general. Esa concienciación sigue aumentado con el nivel de vida. En un reciente trabajo Mukherji (en prensa) muestra con datos de numerosas regiones la verosimilitud de la curva de Kuznets aplicada al caso de los recursos hídricos.

Hofwegen (2004) estima que la liberalización del comercio de alimentos (y por ello de agua virtual) podría tener efectos negativos en el medio ambiente. Esto podría ocurrir en los países que utilizaran de modo exagerado o insostenible sus recursos hídricos con objeto de producir productos agrarios que pudieran vender en otros países. No es una hipótesis absurda ya que, en cierto modo, esto parece ser lo que ha ocurrido y no precisamente en un país pobre sino en los EE.UU. y más concretamente en el acuífero de Ogallala, también llamado de las High Plains. Este acuífero tiene una extensión algo mayor de 500.000 km², es decir, análoga a la extensión de toda España. En algunas de sus zonas, y especialmente en Tejas, viene siendo intensamente aprovechado desde hace unos sesenta años. En la zona de Tejas se ha producido una auténtica «minería del agua subterránea». Se ha extraído un volumen anual (unos 6 km³) unas diez veces superior a la recarga interanual. El volumen de agua subterránea que a lo largo de milenios se había almacenado en este acuífero (en la zona de Tejas), está actualmente reducido aproximadamente a dos tercios del volumen inicial (Terrell et al., 2002). Estas aguas subterráneas, cuya extracción es relativamente barata, se han empleado fundamentalmente en la producción de algodón, cereales y forrajes para el ganado. Es decir, cultivos de no gran valor. Ahora bien, la producción de carne y productos cárnicos supera unos 6.000 millones de dólares al año y una parte de esa producción ha sido exportada. No puede olvidarse que los EE.UU. son el primer exportador mundial de productos agrarios y también de carne.

Las aguas subterráneas en Tejas son de propiedad privada (Peck, en prensa). De hecho, el gobierno del Estado de Tejas prácticamente sólo puede hacer propuestas para tratar de convencer al poderoso «lobby» de los agricultores tejanos de que ese planteamiento no es sostenible y que deben reducir sus extracciones (Arroyo, 2004). Sería muy interesante conocer mejor lo ocurrido en el acuífero Ogallala a lo largo del medio siglo largo de desarrollo de sus aguas subterráneas. Y esto no solamente en sus aspectos hidrogeológicos y ecológicos sino especialmente en sus dimensiones económicas tanto en el ámbito local como en el mercado mundial de alimentos. En pocas palabras, sería útil saber hasta qué punto la utilización de esa agua subterránea no renovable ha contribuido a la hegemonía que tienen los EE.UU. en el comercio mundial de alimentos.

6.5. *Transvases intercuenas o importación intranacional de agua virtual*

El comercio de agua virtual puede ser una alternativa a la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas para transferir o exportar agua desde las zonas donde se supone que sobra a las zonas donde se supone que falta. En casi todos estos análisis el principal demandante de agua es el regadío.

El tema de los transvases intercuenas es objeto de debate en muchos países y no sólo en España donde el debate sobre el cancelado transvase del río Ebro hacia el mediterráneo sigue activo, así como el destino de las aguas transvasadas del río Tajo al Segura desde hace veinticinco años (Llamas, 2004). Aquí el debate más que suprimir ese transvase está en el destino de esas aguas. En realidad el tema de fondo es dirimir si el agua de Castilla-La Mancha es para esa Comunidad Autónoma o si puede ser enviada a otra región en la que, al parecer, esa agua es más productiva.

Hofwegen (2004) y Rogers y Ramírez-Vallejo (2003) consideran que sería útil realizar este tipo de análisis en los macrotransvases que en estos momentos se están planeando en la India y en China. En este país se habla de un gran transvase del Sur al Norte del país. En la India se habla de un ambicioso proyecto de interconexión de los grandes ríos del Norte para llevar agua a las zonas más áridas del país. El presupuesto inicial del proyecto indio es de unos 130.000 millones de dólares. Por supuesto, no se trata de dirimir

en esta breve presentación ese debate, de suyo complicado, pero parece muy poco probable que el «River Interlinking» de la India llegue a realizarse ya que es un país con un régimen democrático. Es más difícil opinar sobre lo que pueda suceder en un país con un régimen autoritario, como es el de China.

En cualquier caso, es conveniente no olvidar que en la política del agua los factores emocionales, culturales y las actitudes éticas juegan un papel muy importante (Delli Priscoli et al., 2004).

7. Conclusiones

Los conceptos de agua virtual y de huella hidrológica son relativamente nuevos, aunque las ideas básicas en que se apoyan son conocidas desde hace mucho tiempo.

Los datos cuantitativos disponibles en relación con ambos conceptos sólo deben ser considerados como una primera aproximación. Es preciso mejorar tanto las metodologías de cálculo, especialmente en lo que se refiere al cálculo del agua virtual precisa para los procesos de transformación de productos agrícolas como en la elaboración de los productos industriales. También es necesario contar con mejores datos sobre el comercio internacional y los usos directos del agua azul y el agua verde en cada nación.

El concepto del agua virtual está sirviendo para que comiencen a realizarse balances mucho más completos de las necesidades de agua (huella hidrológica) de cada país. De modo singular se ha visto de modo todavía semicuantitativo la relevancia que juega el agua verde (o del suelo) en la producción de recursos alimentarios. El concepto de huella hidrológica pone de manifiesto que en la mayor parte de los países áridos o semiáridos la política del agua está fundamentalmente condicionada por la política agrícola. Esto es particularmente cierto en España donde la suma del agua azul y del agua verde utilizada para atender las necesidades agrícolas y ganaderas supone casi el 90% de la huella hidrológica española. De ahí parece derivarse un corolario claro: **la política del agua española no debería ser planeada y prácticamente decidida de modo casi exclusivo por la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente.**

El comercio del agua virtual constituye ya un extraordinario elemento para eliminar o mitigar supuestas crisis del agua en casi todo el mundo. No obstante no es una panacea. Además de mejorar los métodos de cálculo y la obtención de datos, parece necesario conocer mejor sus implicaciones económicas, sociales, geopolíticas y ecológicas.

Mención aparte merecen los problemas de seguridad alimentaria e hidrológica de los países más pobres (menos de un dólar por persona y día), que suponen algo más del 10% de la población mundial. De acuerdo con lo aprobado en la Conferencia de 2002 sobre el Desarrollo Sostenible, la pobreza extrema es el principal problema ecológico de este planeta. Al mismo tiempo es un tema ético de la máxima entidad. Su resolución requiere algo más que pomposas declaraciones internacionales, de las que muchos comienzan a estar saturados, por no decir hartos.

A pesar de su carácter todavía aproximado, los datos disponibles indican que con gran probabilidad se van a introducir pronto cambios importantes tanto en las políticas de seguridad hídrica y alimentaria de muchos países como en el planteamiento de la supuesta crisis mundial del agua. Puede afirmarse que no existe una crisis global de escasez de agua ni con la población actual ni con la prevista hasta mediados de este siglo.

Para finalizar, vale la pena transcribir en este auditorio lo que en Tokio en el año 2000, en la reunión del Interacademy Panel, cuyo tema era «La transición hacia la sostenibilidad», dijo el ya mencionado Profesor Heap, de la Royal Society:

«La red actual de las Academias de Ciencias sabe mucho acerca de la reducción de la población mundial, pero sabe mucho menos sobre la reducción y sustitución del con-

sumo que perjudica al medio ambiente. Y todavía sabe menos sobre la complejidad de la conducta humana cuando se trata de las decisiones personales y de los autoindulgentes aspectos del consumismo. Yo espero haberles convencido de que, aunque el logro del consumo sostenible sea exigente, es un aspecto crucial de la transición hacia la sostenibilidad; y de que las Academias de Ciencias del Mundo estamos bien ubicadas para convertirnos en agentes de ese cambio en vez de ser sus sujetos pacientes».

Muchas gracias por su atención.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a las muchas personas que han enviado sugerencias y observaciones sobre los sucesivos borradores que han precedido a este documento final. Entre ellos, merecen especial mención José Albiac, Emilio Custodio, Vicente Carcelén, José Javier Etayo, Alberto Garrido, África de la Hera, José J. Perlado y Fermín Villarroya. Obviamente este agradecimiento no hace responsables a esas personas de las ideas o posibles errores de este documento. Esa responsabilidad corresponde exclusivamente a su autor.

Bibliografía

- Albiac, J.; Tapia, J.; Mema, M.; Meyer, A.; Hanemann, M.; Calatrava, J.; Uche, J. y Calvo, E. (en prensa): «Los problemas económicos de los Planes Hidrológicos Nacionales», enviado a la Revista *Economía Aplicada*, Madrid, preprint 30 pp.
- Aguirre, M. S. (en prensa): «The value of water and the theory of economic growth» en *Water Crisis: Myth. Or Reality?* (Rogers, Llamas and Martínez, eds.), Balkema Publishers, preprint 10 pages.
- Allan, 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, A. (en prensa a): «Virtual Water, Part of an invisible synergy that ameliorates water scarcity» in *Water Crisis: Myth or Reality?* (Rogers, Llamas and Martinez, eds.) Balkema Publishers, preprint, 20 pp.
- Allan, A. (en prensa b): «Rural economic transitions: groundwater uses in the Middle East and its environment consequences, chapter for the book *The agricultural Groundwater Revolution 2005*», IWMI-TATA Workshop. Preprint 19 pages.
- Arroyo, J. A. (2004): «Experiencia Internacional en la Gestión del Agua: Tejas» en *El agua: Nuevas Fronteras. Nuevas Visonos* (Bru y Pedauyé, eds.) Caja de Ahorros del Mediterráneo. Alicante, Resumen, pp. 29-32. Existe además una versión en Power-Point de la conferencia que se puede obtener de internet (<http://www.twdb.state.tx.us/desalination/españa>).
- Brichieri-Colombi, J. S. (2004): «Hydrocentricity: A limited Approach to achieving food and water Security», *Water International*, Vol. 29, N0. 3, pp. 318-328.
- Brunel, S. (1989): «Geopolitics of Hunger», Press Universitaires de France, Paris, 200 p.
- Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2004): «Water Footprints for Nations» Two Volumes with about 300 pages. Values of Water- Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands.
- Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. and Savenije, H. H. G. (2005): «Saving Water through Global trade», Values of Water Research Report Series, No. 17, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

- Clark, C. (1967): «Population Growth and Land Use», McMillan, London, 416 pp. Traducción al español como «Crecimiento demográfico y uso de la tierra» (1967), Alianza Editorial, 464 pp.
- Delli Priscoli, J., Dooge, J. and Llamas, M. R. (2004): «Overview». Series on Water and Ethics, Essay 1, UNESCO, Paris, 31 pp.
- Dietz, T., Ostrom, E. and Stern, P. C. (2003): «The Struggle to Govern the Commons», *Science*, Vol. 302, 12 December, pp. 1907-1912.
- FAOSTAT (2004): «FAOSTAT on line database» (<http://apps.fao.org/default.jsp>).
- FAO-AQUASTAT (2003) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy (<ftp://ftp.fao.org/ag/aglw/aquastat/aquastat2003.xls>)
- Fornés, J. M.; Hera, A. de la, Llamas, M. R. (2005 a): «The Silent Revolution in Groundwater Intensive Use and its Influence in Spain», *Water Policy*, Vol. 7, No. 3, pp. 253-268. ISSN: 1366-7017.
- Fornés, J. M.; Hera, A. de la, Llamas, M. R. (2005 b): «La propiedad de las aguas subterráneas en España: la situación del Registro y del Catálogo», *Ingeniería del Agua*, Vol. 12, No. 2, junio 2005, pp. 125-136.
- Garrido, A. (2005): Comentarios escritos sobre un previo borrador de este trabajo, enviados el 13-9-2005.
- Hardin, G. (1968): The Tragedy of the Commons, *Science*, Vol. 162, p. 1243.
- Heap, R. B. (2000): Toward Sustainable Consumption: Vision or Illusory? Tokyo Conference, Interacademy Panel, May 2000, pp. 83-90.
- Hernández-Mora, N. y Llamas, M. R. (editores) (2001): «La economía del agua subterránea y su gestión colectiva». Fundación Marcelino Botín y Mundi-Prensa. Madrid, 550 p.
- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. (2002): «Virtual Water Trade: A quantification of virtual Water Flows between nations in relation to international food trade», Value of Water Research Report Series, No. 11, UNESCO-IHE, delft. The Netherlands.
- Hofwegen, P. van (2004): World Trade-Conscious Choices, Synthesis of E-mail Conference on Virtual World Trade and Geopolitics, World Water Council (<http://www.worldwatercouncil.org>). Esta versión ha sido algo modificada en el World Water Council (2004) referenciado.
- Juan Pablo II (1990): «Paz con Dios, paz con la tierra, paz con el hombre», Mensaje para la Jornada Mundial de la Paz, 1 de enero de 1990.
- Llamas, M. R. (1976): «Historia de la Hidrogeología», en *Hidrología Subterránea* (Custodio & Llamas, eds.) Omega. Barcelona, pp. 247-258.
- Llamas, M. R. (1992): «A água - escassez ou mau uso?» *Coloquio/Ciencias. Revista de Cultura Científica*. Fundação Calouste Gulbenkian - Lisboa, Vol. 4, núm. 12.
- Llamas, M. R. (1995): «La Crisis del Agua: ¿Mito o realidad? *Atti dei Convegni Lincei*, Academia dei Lincei, Roma, No. 114, pp. 107-115.
- Llamas, M. R. (2003): «El desarrollo sostenible del agua en España», *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 97, N.º 1, pp. 129-141.
- Llamas, M. R. (2004): «La Gestión de las Aguas Subterráneas y los Conflictos Sociales Relativos al Plan Hidrológico Nacional», *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, Madrid, Vol. 98, N.º 2, pp. 235-254.
- Llamas, M. R. (2005): «Groundwater and Human Development», in *Groundwater and Human Development* (Bocanegra, Hernández and Usunoff, eds.) Selected Papers on Hydrogeology, N.º 6, Balkema Publishers, Leiden, pp. 3-8.
- Llamas, M. R., Back, W. and Margat, J. (1992): «Groundwater use: equilibrium between social benefits and potential environmental costs», *Applied Hydrogeology*, Heise Verlag. Vol. 1, núm. 2, pp. 3-14.

- Llamas, M. R. & Delli Priscoli, J. (2000): «Water and Ethics», *Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas*, Fundación Marcelino Botín, Santander, Serie A, N.º 5, 99 p.
- Llamas, M. R. & Martínez-Santos, P. (2005): «Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential source of Conflicts», Invited editorial in *Journal on Water Resources Planning and Management*, American society of Civil Engineers, September-October, pp. 337-341.
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (2000): *Libro Blanco del Agua en España*. 637 pp.
- Mukherji, A. (en prensa): «Is intensive use of groundwater a solution to World's Water Crisis? en *Water Crisis: Myth or Reality?* (Rogers, Llamas and Martinez, eds.), Balkema Publishers, preprint, 16 pp.
- Myers, N. & Kent, J. (1998): «Perverse subsidies», International Institute for sustainable Development, Winnipeg, Canada, 210 pp.
- Naciones Unidas (U.N.) (2003): *Water for People. Water for Life. World Water Assessment Programme*. UNESCO, 576 pp.
- Naciones Unidas Programa para el Desarrollo (UNDP) (2005): *Informe anual sobre el Desarrollo Humano* (8 de septiembre de 2005) 400 pp.
- Olcina, J. (2002): «Nuevos retos de la Reutilización y Desalación del agua en España», *Investigaciones Geográficas*, Universidad de Alicante, No. 27, pp. 5-34.
- Peck, J. C. (en prensa): «Groundwater Management in the High Plains Auifer in the U.S.: Legal Problems and Innovation» Chapter for the book *The Agricultural Groundwater Revolution*, 2005 IWMI-TATA Workshop, preprint 20 pags.
- Polak, P. (2005): «Water and the other three Revolutions needed to end rural poverty», *Water Science and Technology*, Vol. 8, pp. 133-146.
- Selborne, J. (2001): «The Ethics of Freshwater Use: A Survey», Commission on the Ethics of Science and Technology, (COMEST), UNESCO, Paris, 62 pp.
- Ramírez-Vallejo (en prensa) *Virtual Water: Comments on Allan's article en Water Crisis: Myth or Reality* (Rogers, Llamas and Martínez, eds.), Balkema Publishers.
- Rogers, P. and Ramírez-Vallejo (2003): *Water in the world. The effects of Agricultural trade liberalization on the Water economy of nations*, International Water Resources Association Congress, Madrid October 2003, preprint 11 páginas.
- Shah, T. (2005): «Groundwater and Human Development: Challenges and Opportunities in Livelihoods and Environment», *Water Science and Technology*, vol. 8, pp. 27-37.
- Shamir, U. (2000): «Sustainable Management of Water Resources», Transition towards Sustainability, Intercademy Panel Tokyo Conference, May 2000, pp. 62-66.
- Simon, J. (1996): «The ultimate Resource 2. Princeton University Press.
- Terrell, B. L.; Johnson, P. N. and Segarra, E. (2002): «Ogallala Aquifer Depletion: Economic Impact on the Texas High Plains», *Water Policy*, Vol. 4, pp. 33-46.
- World Water Council (2004): E-Conference synthesis. *Water Virtual Trade-Conscious Choices*, March 2004, 24 pages (www.worldwatercouncil.org/virtual_water/documents/virtual_water_final_synthesis.pdf)
- Vives, R. (2003): «Economics and Social Profitability of Water for Irrigation in Andalusia», *Water International*, Vol. 3, pp. 326-333.
- Wilchems, D. (2004): «The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages» *Agricultural Water Management*, Vol. 66, pp. 49-63, Elsevier.
- Zimmer, D. and Renault, D. (2003): «Virtual Water in food production and global trade: Review of Methodological issues and preliminary results», *Proceedings of the International Expert meeting on Virtual Water Trade, Value of Water-Research Rapport Series*, no. 12, IHE-Delft. The Netherlands pp. 93-109.