

GLOBALIZACIÓN DEL AGUA

**Compartir los recursos de agua dulce
del planeta**

Arjen Y. Hoekstra y Ashok K. Chapagain

Fundació AGBAR

Marcial Pons

MADRID | BARCELONA | BUENOS AIRES

2010

Índice

	Pág.
Prólogo a la edición española	11
Prefacio	13
CAPÍTULO I	
Introducción	
CAPÍTULO II	
¿Cuánta agua se utiliza en la producción de bienes y servicios?	
1. Agua virtual.....	24
2. Cómo calcular el contenido de agua virtual de un producto agrícola...	26
3. Uso de agua para productos agrícolas y ganaderos.....	28
4. Uso de agua para productos industriales.....	31
5. Agua para servicios domésticos.....	32
CAPÍTULO III	
Flujos de agua virtual entre países como resultado del comercio de productos agrícolas e industriales	
1. ¿«Comercio» o «transferencia» de agua virtual?.....	36
2. Cómo calcular los flujos internacionales de agua virtual.....	36
3. Flujos internacionales de agua virtual.....	37
4. Flujos de agua virtual entre regiones del planeta.....	39
5. ¿Son los consumidores corresponsables de los efectos del uso de agua?.....	41
6. Relación entre comercio y escasez de agua.....	43
CAPÍTULO IV	
Ahorro de agua a través del comercio internacional de productos agrícolas	
1. Método.....	48
2. Ahorro de agua nacional.....	49

	Pág.
3. Pérdidas de agua nacionales	52
4. Ahorro de agua global	55
5. Ahorro global de agua azul a costa de pérdidas de agua verde	60
6. Ahorro físico frente a ahorro económico	61
7. Inconvenientes de la importación de agua virtual como solución a la escasez de agua	62

CAPÍTULO V

Huella hídrica de los países

1. Dos métodos de estimación de la huella hídrica de un país	65
2. Huella hídrica interna y externa	65
3. Huellas hídricas de los países	66
4. Factores determinantes	73
5. ¿Cómo reducir la huella hídrica?.....	74
6. La huella hídrica como nuevo indicador del uso de agua.....	75

CAPÍTULO VI

Huella hídrica de Marruecos y de los Países Bajos

1. Flujos y balances de agua virtual.....	78
2. Huella hídrica agrícola de Marruecos y de los Países Bajos.....	80
3. Ahorro de agua	81
4. El comercio en el contexto de la gestión del agua	82

CAPÍTULO VII

Transferencias de agua virtual y de agua real dentro de China

1. Estimación de los flujos de agua virtual entre las regiones de China ...	86
2. Contenido de agua virtual por categoría de producto por regiones	87
3. Comercio de alimentos dentro de China.....	88
4. Transferencias de agua virtual dentro de China	89
5. Cómputos de agua virtual frente a cómputos de agua real.....	90
6. Transferencias de agua virtual en relación con la disponibilidad de agua	91
7. Flujos de agua virtual norte-sur en relación con el Proyecto de Transvase de Agua Sur-Norte	93

CAPÍTULO VIII

Huella hídrica del consumo de café y de té

1. Contenido de agua virtual del café y el té en las diferentes fases de producción	97
---	----

	Pág.
2. Flujos de agua virtual en relación con el comercio de café y de té.....	104
3. El agua necesaria para beber una taza de café o de té.....	107
4. Huella hídrica del consumo de café y de té	108

CAPÍTULO IX

Huella hídrica del consumo de algodón

1. Agua verde, azul y gris.....	113
2. Contenido de agua virtual de la fibra de algodón	114
3. Contenido de agua virtual de los productos derivados del algodón	119
4. Impacto en la calidad del agua en la fase de producción agrícola	120
5. Impacto en la calidad del agua en la fase de procesamiento	121
6. Flujos internacionales de agua virtual	125
7. Huellas hídricas en relación con el consumo de productos de algodón.....	127
8. Uso sostenible del agua	133

CAPÍTULO X

El agua como recurso geopolítico

CAPÍTULO XI

Uso del agua eficiente, sostenible y equitativo en un mundo globalizado

1. Equidad y sostenibilidad de las grandes huellas hídricas.....	142
2. Reglas globales del juego.....	144
3. Protocolo internacional sobre fijación de precios del agua	145
4. Etiqueta de agua para los productos intensivos en agua	145
5. Derecho al agua mínimo	146
6. Permisos de huella hídrica (negociables).....	147
7. Acuerdos globales frente al principio de subsidiariedad	148
8. Globalización: ¿a favor o en contra?	149

Mapas..... 151

Mapa 1. Balance de agua virtual por países en el periodo 1997-2001.....	153
Mapa 2. Balances de agua virtual regionales y flujos de agua virtual interregionales netos en relación con el comercio de productos agrícolas.....	153
Mapa 3. Ahorros de agua nacionales en relación con el comercio internacional de productos agrícolas.....	154

	Pág.
Mapa 4. Pérdidas de agua nacionales en relación con el comercio internacional de productos agrícolas.....	154
Mapa 5. Ahorro de agua global en relación con el comercio internacional de productos agrícolas.....	155
Mapa 6. Ahorro de agua global en relación con el comercio internacional de trigo.....	155
Mapa 7. Ahorro de agua global en relación con el comercio internacional de maíz.....	156
Mapa 8. Ahorro de agua global en relación con el comercio internacional de arroz.....	156
Mapa 9. Huella hídrica media per cápita por países.....	157
Mapa 10. Huella hídrica global de los habitantes de Marruecos (en relación con el consumo de productos agrícolas).....	157
Mapa 11. Huella hídrica global de los habitantes de los Países Bajos (en relación con el consumo de productos agrícolas).....	158
Mapa 12. Importación de agua virtual a los Países Bajos en relación con la importación de café.....	158
Mapa 13. Impacto del consumo de productos de algodón por parte de ciudadanos estadounidenses en los recursos hídricos del planeta.....	159
Mapa 14. Impacto del consumo de productos de algodón por parte de ciudadanos japoneses en los recursos hídricos del planeta.....	160
Mapa 15. Impacto del consumo de productos de algodón por parte de ciudadanos de los 25 países de la Unión Europea en los recursos hídricos del planeta.....	160
Apéndices	161
I. Marco analítico para la estimación del contenido de agua virtual, los flujos de agua virtual, el ahorro de agua, la huella hídrica y la dependencia del agua.....	163
II. Flujos de agua virtual por países en relación con el comercio internacional de productos vegetales, animales e industriales.....	173
III. Ahorro y pérdidas de agua nacionales en relación con el comercio de productos agrícolas.....	183
IV. Huellas hídricas de los países.....	191
V. Huella hídrica frente a escasez de agua, autosuficiencia hídrica y dependencia de la importación de agua por países.....	199
Glosario	207
Bibliografía	211
Índice analítico	219

Prólogo a la edición española

En este libro defendemos dos ideas básicamente. La primera es que cada vez es más importante plantear las cuestiones del agua dulce en un contexto global. Desde la Conferencia de Dublín, en 1992, existe consenso en cuanto a la cuenca hidrográfica como unidad adecuada para analizar la disponibilidad y el uso de agua dulce. Sin embargo, esta perspectiva deja de lado un aspecto. El agua a menudo se utiliza para producir bienes no solo para el consumo dentro de una cuenca hidrográfica, sino también para su exportación. El comercio internacional de bienes implica transferencias de agua virtual a largas distancias. Conocer los flujos de agua virtual que entran y salen de un país o de una cuenca hidrográfica puede mostrar la situación real del agua del país o de la cuenca hidrográfica en cuestión desde una nueva perspectiva. La importación de productos intensivos en agua reduce la demanda de agua nacional; en cambio, la exportación de productos intensivos en agua aumenta su demanda. En el libro presentamos numerosos ejemplos de países con escasez de agua que mitigan la presión sobre los recursos de agua nacionales principalmente importando productos intensivos en agua. Se trata del lado positivo del comercio en cuanto a la gestión de los recursos hídricos. Por otro lado, también exponemos varios casos en los que el agotamiento y la contaminación del agua local están relacionados con los bienes destinados a la exportación. Los beneficios que se puedan obtener tal vez no compensen la degradación ambiental en estos casos.

La segunda idea del libro es que cada vez resulta más pertinente tomar en cuenta los vínculos que existen entre el consumo y el impacto sobre los sistemas de agua dulce. Este enfoque puede mejorar nuestra comprensión de los procesos que generan cambios en los sistemas de agua dulce y ayudar a desarrollar políticas de gobernanza del agua que sean acertadas. La huella hídrica es un instrumento útil para trazar un mapa del impacto del consumo humano sobre los recursos de agua dulce globales. En el libro, revisamos radicalmente el concepto de *uso de agua*. Tradicionalmente, las estadísticas sobre el uso de agua se centran en medir las «captaciones de agua» y el «uso de agua directo». El método de estimación de la huella hídrica considera una perspectiva mucho más amplia. En primer lugar, la huella hídrica mide tanto el uso de agua directo como el indirecto, donde el segundo se refiere al uso de agua en la cadena de suministro de un producto. De este modo, la huella hídrica vincula los consumidores finales, las empresas intermedias y los comerciantes al uso de agua a lo largo de toda la cadena de producción

de un producto. Lo anterior es crucial, porque el uso de agua directo de un consumidor suele ser relativamente reducido en comparación con su uso de agua indirecto. De modo similar, el uso de agua para el funcionamiento de una empresa generalmente es mucho menor que el requerido en su cadena de suministro. El panorama de la dependencia del agua real de un consumidor o una empresa puede cambiar drásticamente. En segundo lugar, el método de estimación de la huella hídrica difiere de las estadísticas de uso de agua tradicionales en la manera de medir dicho uso. La huella hídrica se refiere al «consumo» de agua (por oposición a la «captación de agua»). El consumo se refiere a la parte de agua captada que realmente se pierde por evaporación (por ejemplo, la parte de captación de agua que no vuelve al sistema del cual ha sido captado). Adicionalmente, el método de estimación de la huella hídrica va más allá de una cuantificación del uso del agua subterránea y superficial (huella hídrica azul). Este método también cuantifica el uso de agua de lluvia (huella hídrica verde) y la contaminación del agua (huella hídrica gris).

Ante el creciente interés suscitado por la huella hídrica a lo largo de estos últimos años, en octubre de 2008 se creó la Red de la Huella Hídrica. Al cabo de un año, la red ya contaba con 76 socios de todos los sectores (gubernamental, empresarial, inversores, sociedad civil, instituciones intergubernamentales, consultores, universidades e institutos de investigación) en todo el mundo. Este espectacular crecimiento de la red sigue gracias a la concienciación mundial sobre la huella hídrica. Uno de los países más interesados es España, el primero en adoptar formalmente la huella hídrica para la elaboración de sus políticas. La Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino aprobó una regulación que incluirá el análisis de la huella hídrica como criterio técnico para el desarrollo de los planes de gestión de las cuencas hidrográficas que se deben redactar en el contexto de la Directiva Marco Europea del Agua. El libro originalmente fue publicado en inglés, y la idea de la traducción surgió en conversaciones con el Departamento de Estudios y Publicaciones de la Fundació Agbar durante la Semana Mundial del Agua de Estocolmo en 2009. Como parte de la misión de la Fundació Agbar es fomentar la concienciación social, la reflexión y la difusión del conocimiento, así como estimular la investigación sobre las tendencias, los retos futuros y las cuestiones emergentes, este proyecto fue de gran interés.

En respuesta al interés de la comunidad hispanohablante en el mundo, la Red de la Huella Hídrica también fundó una página web dedicada a la huella hídrica en español (www.huellahidrica.org), desde donde pueden descargarse gratuitamente publicaciones relevantes. Esperamos que el lector disfrute de la traducción al español de este libro que ha suscitado gran interés. De una manera especial, dejamos constancia del agradecimiento a la Fundació Agbar por la financiación, organización y cooperación prestadas, y por asumir la edición del libro, con la voluntad de ponerlo a disposición de estudiosos y lectores en lengua española.

Arjen Y. HOEKSTRA
Enschede, Países Bajos

Ashok K. CHAPAGAIN
Londres, Reino Unido

Prefacio

Parece que los políticos, académicos y activistas que, a partir de finales de la década de 1980 se reunieron en torno al tema del «desarrollo sostenible», son los mismos que a partir de finales de la década de 1990 empezaron a organizarse alrededor del tema de la «globalización». Muchas de las preocupaciones presentes en el debate sobre la sostenibilidad siguen siendo válidas en el discurso actual sobre la globalización. El equilibrio entre el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente, la garantía de subsistencia y la igualdad entre las personas y las generaciones siguen siendo aspectos cruciales. La novedad en el discurso actual sobre la globalización es el reconocimiento de que, debido al intercambio cultural y material cada vez más importante entre personas de diferentes partes del mundo y la creciente movilidad de los negocios, el desarrollo sostenible se ha convertido en un verdadero reto global. En los últimos años se han escrito miles de artículos y cientos de libros sobre la globalización (Lechner y Boli, 2004). El presente libro se centra en los efectos de la globalización en la gestión de los recursos hídricos, un tema que sorprendentemente no se había tratado demasiado hasta ahora. De hecho, se trata del primer libro sobre la cuestión. Pese a que se han publicado muchos libros interesantes sobre los «problemas globales en relación con el agua», en ellos el término *global* se refiere básicamente al hecho de que los problemas descritos se producen en todo el planeta; *global* se usa en el sentido de «generalizado». En efecto, los problemas de escasez del agua, de contaminación del agua y de inundaciones son habituales. Sin embargo, los textos disponibles hasta ahora describen los problemas sobre todo desde un punto de vista local, nacional o de una cuenca hidrográfica concreta. En cambio, este libro muestra que los problemas relacionados con el agua suelen deberse a mecanismos que sólo pueden entenderse a una escala muy superior a la de la cuenca. Mostraremos que el agotamiento y la contaminación de los recursos hídricos a escala local a menudo son problemas estrechamente asociados a la estructura de la economía global. Estamos convencidos de que muchos de los problemas actuales en materia de agua no se pueden resolver a escala de una cuenca hidrográfica, porque están inextricablemente ligados a los procesos que determinan en qué partes del mundo

tiene lugar la producción agrícola e industrial, así como a las normas escritas y no escritas del comercio mundial. Esperamos que este libro ayude al lector a entender los nexos que existen entre un uso inteligente del agua y la forma de organizar nuestra sociedad mundial.

En nuestra investigación sobre la «globalización del agua», iniciada en 2002, hemos contado con la colaboración de muchos de nuestros estudiantes. Damos las gracias a: Pham Quoc Hung, de Vietnam, por su trabajo de cuantificación del comercio mundial de agua virtual; Anat Yegnes-Botzer, de Israel, por su interesante estudio de caso sobre Israel; Zhang Dunquiang y Jing Ma, de China, por sus respectivos estudios de caso sobre la transferencia de agua virtual entre provincias chinas; Xiuying Dong, de China, y Mesfin Mergia Mekonnen, de Etiopía, por su trabajo de desarrollo de una herramienta informática para calcular la huella hídrica de cada persona; Abbas Badawi Ashmage Iglal, de Sudán, y Thewodros Mulugeta Gebre, de Etiopía, por su investigación conjunta sobre los flujos de agua virtual actuales y futuros en la cuenca del Nilo; y Rajani Gautam, de Nepal, por su valioso estudio sobre el algodón.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los participantes en la productiva reunión internacional de expertos sobre el comercio de agua virtual celebrada en el Instituto UNESCO-IHE, en los Países Bajos, en diciembre de 2002 (Hoekstra, 2003). En especial deseamos destacar el papel de Tony Allan, catedrático de la Escuela de Estudios Africanos y Orientales de la Universidad de Londres, creador del término *agua virtual* y cuya obra fue nuestra inspiración para investigar en ese ámbito. Asimismo, estamos muy agradecidos a Huub Savenije, catedrático del Instituto UNESCO-IHE y de la Universidad de Tecnología de Delft, en los Países Bajos, uno de los pocos que desde el principio supo ver que la «globalización del agua» sería un tema importante y quien nos ha apoyado a lo largo de nuestro trabajo con sus estimulantes ideas.

Agradecemos el apoyo económico proporcionado por el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de los Países Bajos para parte de la investigación en la que se ha basado este libro. En concreto, queremos dar las gracias a Ton Bresser, que ha mostrado un interés constante por nuestro trabajo. Estamos también agradecidos a Oxfam Novib por patrocinar el estudio de caso sobre el café y el té. Por último, damos las gracias al Instituto UNESCO-IHE para la Educación relativa al Agua y a la Universidad de Twente por facilitar la investigación.

En la elaboración de este libro, nos hemos basado en algunas de nuestras publicaciones anteriores. Parte del valor de este volumen radica en que reúne publicaciones dispares en una estructura coherente. Para los capítulos II, III y V, nos hemos basado en un informe publicado por el Instituto UNESCO-IHE (Chapagain y Hoekstra, 2004), la tesis doctoral de Chapagain (Chapagain, 2006) y dos artículos publicados en *Water Resources Management* (Hoekstra y Chapagain, 2007a) y *Water International* (Chapagain y Hoekstra, 2007a). El capítulo IV se basa en un artícu-

lo publicado en *Hydrology and Earth System Sciences* (Chapagain *et al.*, 2006a). El capítulo VI se ha elaborado a partir de un artículo presentado en una conferencia sobre el agua con ocasión del 400 aniversario de las relaciones entre Marruecos y los Países Bajos, celebrada en Marrakech en noviembre de 2005 (Hoekstra y Chapagain, 2007b). El capítulo VII sobre China se basa en un artículo escrito con Jing Ma (Ma *et al.*, 2006), publicado en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, la revista científica más antigua del mundo (empezó a publicarse en marzo de 1665). El capítulo VIII sobre el café y el té se basa en un artículo publicado en *Ecological Economics* (Chapagain y Hoekstra, 2007b). El capítulo IX sobre el algodón se basa en otro artículo publicado en *Ecological Economics* (Chapagain *et al.*, 2006b). Por último, los capítulos X y XI se basan en un artículo presentado en una reunión del Global Water System Project celebrada en Bonn en junio de 2006 (Hoekstra, 2006). A menos que se indique lo contrario, los datos presentados en este libro se refieren a promedios del periodo 1997-2001.

Arjen Y. HOEKSTRA
Enschede, Países Bajos

Ashok K. CHAPAGAIN
Katmandú, Nepal

I

Introducción

En el mundo actual, los habitantes de Japón influyen indirectamente en el sistema hídrico de Estados Unidos y los habitantes de Europa tienen un impacto indirecto en los sistemas hídricos regionales de Brasil. ¿Cómo puede ser esto posible? Cualquiera podría responder que se debe al cambio climático, una respuesta probable porque se ha hablado mucho sobre los efectos previstos de las emisiones locales de gases de efecto invernadero del pasado y del presente en los patrones futuros de temperaturas, evaporación y precipitaciones en el planeta. Casi todo el mundo sabe que las emisiones locales de gases de efecto invernadero contribuyen al cambio climático mundial y, por lo tanto, pueden afectar indirectamente a otros puntos del planeta. Sin embargo, poco se sabe sobre un segundo mecanismo a través del cual las personas pueden influir en los sistemas hídricos de otros lugares del mundo. Este segundo mecanismo, tan «invisible» como el cambio climático, pero mucho más significativo hoy en día, es el comercio mundial. El comercio internacional de productos agrícolas e industriales establece una relación entre la demanda de productos intensivos en agua (sobre todo cultivos) en países como Japón, Italia, Alemania o el Reino Unido y el uso de agua para la producción de dichos productos en países como Estados Unidos o Brasil. El uso de agua para producir productos destinados a la exportación para el mercado global influye significativamente en los cambios de los sistemas hídricos locales. Al comprar productos agrícolas importados de Estados Unidos, los consumidores japoneses ejercen presión sobre los recursos hídricos estadounidenses y contribuyen a minar los acuíferos y a agotar los ríos de América del Norte. Ejemplos bien documentados son el acuífero de Ogallala y el río Colorado, ambos exhaustos. Los consumidores europeos contribuyen en grado notable a la demanda de agua de Brasil al comprar productos agropecuarios intensivos en agua importados de ese país. La deforestación de la selva amazónica y sus implicaciones para la biodiversidad, la erosión y la escorrentía son problemas conocidos.

Si bien parece que existe consenso en cuanto a la cuenca hidrográfica como unidad adecuada para analizar la disponibilidad y el uso de agua dulce, en este libro defendemos que cada vez resulta más importante abordar los temas relacionados con el agua dulce en un contexto global. Otros autores ya se han manifestado en este sentido (Postel *et al.*, 1996; Vörösmarty *et al.*, 2000), pero nosotros añadimos una nueva dimensión al debate. El comercio internacional implica transferencias de *agua virtual* a largas distancias, entendiendo por agua virtual el volumen de agua que se ha utilizado para producir un bien y que por lo tanto se encuentra virtualmente en él (Allan, 1998b). Conocer los flujos de agua virtual que entran y salen de un país puede arrojar una luz completamente nueva sobre la escasez real de agua en un país. Por ejemplo, Jordania importa de 5.000 a 7.000 millones de m³ de agua virtual al año, un dato que contrasta con los 1.000 millones de m³ de agua extraídos al año de fuentes internas (Haddadin, 2003; Chapagain y Hoekstra, 2004). Esto significa que los habitantes de Jordania sobreviven aparentemente gracias a la importación de productos intensivos en agua de otros lugares, como por ejemplo Estados Unidos. La escasez de agua de Jordania queda en buena parte cubierta por un comercio inteligente: se exportan bienes y servicios cuya producción requiere poca agua y se importan productos cuya producción necesita mucha agua. La cara positiva del balance comercial de Jordania es que preserva los escasos recursos hídricos internos; la cara negativa es que los jordanos presentan una gran «dependencia del agua». Un caso diferente es el de Egipto, un país que no ha querido depender de las importaciones de agua y en el que la autosuficiencia hídrica es una prioridad en la agenda política. No obstante, aun con una captación de agua total en el país de 65.000 millones de m³ al año, se estima que Egipto importa de 10.000 a 20.000 millones de m³ netos de agua virtual al año (Yang y Zehnder, 2002; Zimmer y Renault, 2003; Chapagain y Hoekstra, 2004). Esto muestra que ni siquiera el balance de agua de Egipto es inmune a su modelo de comercio internacional. De hecho, no existe ningún país cuyo patrón de uso del agua interna esté al margen del esquema comercial. Así pues, no parece muy sensato desarrollar políticas nacionales en materia de agua sin una consideración explícita de las implicaciones del comercio internacional. Sin embargo, ésa es la práctica común. Por otro lado, en países con escasez de agua tampoco parece conveniente formular políticas de comercio exterior sin una consideración explícita de la disponibilidad de los recursos hídricos internos. No obstante, eso es lo que sucede generalmente.

En este libro tratamos cuestiones como: ¿Es eficiente importar agua virtual si los recursos hídricos internos son escasos? ¿Y cuáles son las implicaciones de importar agua virtual en términos de la «dependencia del agua» resultante? Una vez que se entra en el ámbito del «agua y el comercio internacional» surgen otras cuestiones. Si se importan productos intensivos en agua desde lugares lejanos, los impactos negativos del uso del agua en la zona de producción resultan invisibles para el

consumidor. Si a esto le sumamos el hecho de que normalmente sólo una pequeña fracción del coste total del uso de agua se incluye en el precio de los productos, apenas existen incentivos para que los consumidores cambien sus hábitos de consumo o contribuyan de algún otro modo a mitigar problemas en materia de agua que les resultan distantes. Así surgen nuevas cuestiones: ¿Cuáles son las teleconexiones invisibles entre el consumo intensivo de productos intensivos en agua en algunos lugares del planeta y los impactos del uso del agua en otros lugares? ¿El comercio internacional de productos intensivos en agua contribuye al crecimiento ilimitado del consumo de productos intensivos en agua en un planeta en el que el agua es un recurso cada vez más escaso? Para abordar este tipo de cuestiones, hemos utilizado una serie de conceptos novedosos, como el *contenido de agua virtual* de un producto, la *huella hídrica* de un país y el *ahorro de agua* como resultado del comercio internacional. A continuación presentamos y explicamos estos conceptos.

Allan (1998a,b; 1999a,b; 2001) introdujo el concepto de agua virtual al estudiar la posibilidad de importar agua virtual (en contraposición al agua real) como una solución parcial a los problemas de escasez de agua en Oriente Medio. Allan desarrolló la idea de utilizar la importación de agua virtual (que acompaña a las importaciones de alimentos) como un instrumento para reducir la presión sobre los escasos recursos hídricos internos. Así, la importación de agua virtual se convierte en una fuente de agua alternativa, junto a las fuentes de agua endógenas. Por ello también se denomina agua exógena al agua virtual importada (Haddadin, 2003).

Hoekstra y Hung (2002) introdujeron el concepto de *huella hídrica* cuando buscaban un indicador que pudiese reflejar el impacto del consumo humano en los recursos globales de agua dulce. Los autores de este libro lo desarrollaron posteriormente (Chapagain y Hoekstra, 2004; Hoekstra y Chapagain, 2007a). La huella hídrica muestra el uso de agua en relación con el «consumo» en un país, mientras que el indicador tradicional muestra el uso de agua en relación con la «producción» en un país. Tradicionalmente el uso de agua nacional se ha medido como la captación total de agua dulce para los diferentes sectores de la economía. En cambio, la huella hídrica no solo refleja el uso de agua dulce dentro del país en cuestión, sino también el uso de agua dulce fuera de sus fronteras. Se refiere a todas las formas de uso de agua dulce que contribuyen a la producción de bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país determinado. La huella hídrica de la comunidad holandesa, por ejemplo, también incluye el uso de agua necesario para producir arroz en Tailandia (en la medida en que ese arroz se exporta a los Países Bajos para su consumo allí). Y, al contrario, la huella hídrica de un país excluye el agua que se usa dentro del territorio nacional para producir productos destinados a la exportación, que se consumen en otros países.

La huella hídrica de un país consta de tres componentes: azul, verde y gris. Los términos *azul* y *verde* se refieren al origen del agua (Falkenmark, 2003). El uso de agua verde es el uso de agua de la lluvia, mientras que el uso de agua azul es el uso de aguas subterráneas o superficiales. La agricultura de secano se basa por completo en agua verde, mientras que la de regadío se basa en una combinación de agua verde y azul. Los sectores industrial y doméstico suelen basarse totalmente en agua azul. La huella hídrica azul de un país es el volumen de agua dulce que se evapora de los recursos globales de agua azul (aguas subterráneas y superficiales) para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes. La huella hídrica verde es el volumen de agua que se evapora de los recursos globales de agua verde (agua de lluvia acumulada como humedad del suelo). Nosotros hemos ampliado el concepto de huella hídrica incluyendo una tercera forma de uso del agua: el uso de agua como resultado de la contaminación. Nuestra propuesta consiste en cuantificar esta huella hídrica gris mediante una estimación del volumen de agua necesario para diluir una cierta cantidad de contaminación de modo que se cumplan las normas de calidad ambiental del agua. Desarrollamos esta idea en el estudio sobre el algodón tratado en el capítulo IX.

El fomento activo de la importación de agua virtual en países con escasez de agua se basa en la idea de que un país puede preservar sus recursos hídricos internos importando productos intensivos en agua en lugar de producirlos en su territorio. Así, la importación de agua virtual conduce a un *ahorro de agua nacional*. Oki y Kanae (2004) introdujeron luego la idea de un *ahorro de agua global*. El comercio internacional puede permitir un ahorro global de agua cuando se exporta un producto intensivo en agua desde una zona con una elevada productividad del agua (bajo insumo de agua por unidad de producción) hacia una zona con una menor productividad del agua (mayor insumo de agua por unidad de producción). A la inversa, también puede haber *pérdidas de agua globales* si se exporta un producto intensivo en agua desde una zona con una baja productividad del agua hacia otra zona con una mayor productividad. Todos los estudios sobre ahorro y pérdidas globales de agua como consecuencia del comercio internacional llevados a cabo hasta la fecha indican que el efecto neto del comercio internacional actual es un ahorro de agua global (De Fraiture *et al.*, 2004; Oki y Kanae, 2004; Chapagain *et al.*, 2006a; Yang *et al.*, 2006).

A partir de la reunión internacional de expertos sobre el comercio de agua virtual celebrada en Delft, en los Países Bajos, en diciembre de 2002 (Hoekstra, 2003), y de la sesión especial sobre comercio de agua virtual y geopolítica que tuvo lugar durante el Tercer Foro Mundial del Agua, celebrado en Japón en marzo de 2003, ha aumentado notablemente el interés en los conceptos de *agua virtual*, *huella hídrica* y *ahorro de agua global*. A modo de continuación del Foro Mundial del Agua de Japón, el Consejo Mundial del Agua organizó una conferencia en línea sobre comercio de agua virtual y geopolítica (CMA, 2004). Durante tres meses, en otoño de

2003, unas 300 personas participaron en un debate en Internet en torno a cuestiones como:

- ¿El comercio de agua virtual contribuye a mejorar la disponibilidad de agua y, por consiguiente, la seguridad alimentaria local, los medios de subsistencia, el medio ambiente y la economía local?
- ¿En qué condiciones debe fomentarse el comercio de agua virtual?
- ¿El agua virtual contribuye a la resolución de conflictos o más bien aumenta las tensiones y el potencial de conflicto en los países que dependen del comercio?
- ¿Qué estructuras de gobernanza serían necesarias para facilitar un comercio justo de agua virtual?
- ¿Cómo pueden los conceptos de *agua virtual* y *huella hídrica* ayudar a concienciar sobre el consumo y el ahorro de agua mediante una modificación de la dieta?
- ¿Qué se necesita y por parte de quién para avanzar hacia la introducción y el uso apropiado y justo del concepto de *agua virtual*?

Tras la conferencia en línea diversas entidades organizaron talleres en torno al comercio de agua virtual y la huella hídrica: la Universidad de Stanford (noviembre de 2004 y marzo de 2005), el Instituto de Desarrollo Alemán (Bonn, septiembre de 2005), el Cuarto Foro Mundial del Agua (México DF, marzo de 2006), el Global Water System Project (Bonn, junio de 2006) y el Instituto de Investigación Socio-Ecológica (Fráncfort, julio de 2006), entre otras. Además, numerosos estudiantes de todo el mundo han empezado a dedicar sus estudios de máster y doctorado a la materia. Parece ser que, de repente, el problema del «comercio y el agua» se ha reconocido como una prioridad política y un campo de investigación interesante. En este libro pretendemos resumir nuestros conocimientos actuales en la materia, labor un tanto complicada, dado que las investigaciones constantemente arrojan nuevos resultados.

En el capítulo II explicamos la manera en que se puede calcular el contenido de agua virtual de un producto y mostramos las estimaciones resultantes para diversos productos. En el capítulo III explicamos cómo se pueden cuantificar las transferencias internacionales de agua virtual y describimos el balance de agua virtual de todos los países. En el capítulo IV mostramos cómo el comercio internacional puede conseguir un ahorro de agua tanto nacional como global, aunque en ocasiones también puede provocar pérdidas globales de agua. En el capítulo V describimos cómo calcular la huella hídrica de un país y mostramos las estimaciones resultantes para todos los países del mundo. El capítulo VI presenta un estudio de caso en los Países Bajos, de clima húmedo, y Marruecos, de clima árido-semiárido. En el capítulo VII desarrollamos el tema de las transferencias de agua virtual dentro de China, que sorprendentemente van del norte —donde el agua es un recurso escaso— al sur —con recursos hídricos abundantes—. En el capítulo VIII mostramos la

huella hídrica del consumo de café y té, y en el capítulo IX realizamos un ejercicio similar, aunque más detallado, con el algodón. En el capítulo X mostramos cómo el comercio internacional ha generado una gran «dependencia del agua» en muchos países y cómo el agua se ha convertido así en un recurso geopolítico. En el último capítulo exploramos qué tipo de acuerdos institucionales globales se necesitan para garantizar que el comercio internacional contribuya a un uso del agua no solo eficiente, sino también sostenible y equitativo en todo el planeta.

II

¿Cuánta agua se utiliza en la producción de bienes y servicios?

En 2003, Novib, la sección holandesa de Oxfam Internacional, nos encargó que calculásemos el volumen total de agua que se utilizaba para producir una taza de café, y lo mismo para una taza de té. Se trataba de averiguar el origen del café y del té, y calcular los volúmenes de agua empleados en las diversas fases de producción. Aunque estudiamos los usos del agua durante toda la cadena de producción, desde el principio estaba claro que la fase agrícola, en la que las plantas del café y del té crecen y dan sus frutos, sería la de mayor consumo de agua. Debíamos estudiar los diferentes orígenes del café y del té, pues las necesidades de agua no son las mismas en distintos lugares. En el caso del café, también teníamos que traducir el uso de agua por hectárea de cultivo a uso de agua por tonelada de frutos de café producida, y luego a uso de agua por tonelada de café tostado, y, por último, a uso de agua por taza de café. En otras palabras, teníamos que averiguar, para cada país productor de café, cuántas tazas de café se podían obtener de una hectárea de cultivo al año y establecer una relación entre ese dato y el uso de agua por hectárea. Constatamos que, de promedio, para producir una taza de café se necesitan 140 litros de agua, en su mayor parte agua de lluvia para el cultivo del cafeto. Nuestra conclusión costaba de creer dondequiera que la presentásemos. Primero dejamos que amigos, colegas y estudiantes intentasen adivinarlo; casi nadie se aproximó ni siquiera al orden de la magnitud. En cierta medida nos hemos hecho famosos por nuestro número mágico de 140 litros, un dato curioso que a la gente le gusta recordar, para sacarlo a colación a la hora del café. Si bien mayoritariamente hemos recibido elogios por nuestra habilidad para realizar el cálculo, algunos colegas también nos han acusado de engañar a la gente presentando un número carente de sentido. En esencia la crítica argumentaba que, incluso aunque tuviésemos razón, ¿qué importaba? La mayor parte del agua utilizada para producir el café, y también el té, es agua de lluvia, que es gratis, ¿no?

Más adelante veremos que, aunque en general efectivamente el agua es gratis, eso no significa que no tenga un valor. La cantidad de agua de lluvia sobre la tierra varía con el tiempo y en función del lugar, pero el volumen global anual es más o menos constante y determina un nivel máximo de uso de agua dulce mundial al año. Dado que el agua es un bien escaso, tiene un valor (por definición económica). Además, el agua de lluvia tiene un valor si hay usos encontrados que no se pueden satisfacer simultáneamente. Un economista diría: cuando se aplica agua de lluvia para la producción de un cultivo, el coste de oportunidad del agua de lluvia es igual al valor que habría generado si se hubiese aplicado para la producción de otro cultivo más valioso. Sin embargo, ahora no vamos a continuar esta línea de argumentación, sino que consideraremos las necesidades de agua de otros productos, a fin de disponer de cierta base fáctica.

1. AGUA VIRTUAL

Pero primero tratemos algunas cuestiones terminológicas. No somos los únicos en plantear la pregunta de cuánto insumo se necesita para producir algo. Por ejemplo, los expertos en energía hablan de la *energía incorporada* de un bien o un servicio, en referencia a la cantidad de energía directa e indirecta necesaria para producirlo (Herendeen, 2004). Del mismo modo, podríamos hablar de la cantidad de suelo o de mano de obra necesaria para elaborar un producto, y denominarlo *suelo incorporado*, *mano de obra incorporada*, etcétera. Así, aquí podríamos hablar del volumen de *agua incorporada* en un producto. Tony Allan utilizó originariamente el término *agua integrada* (*embedded water*), pero como el concepto no fue bien entendido, después optó por *agua virtual* (Allan, 2003). El término *agua virtual* a menudo se define grosso modo como el agua necesaria para producir un producto. Esta definición se refiere al agua «necesaria», que no es necesariamente lo mismo que el agua «realmente utilizada». La «necesidad de agua» puede ser mayor o menor que el volumen real de agua utilizado, dependiendo de cómo se interprete qué es necesario. El concepto de *necesidad* de agua es hipotético por naturaleza y, por lo tanto, difícil de manejar. De ahí que prefiramos referirnos al volumen real de agua utilizado, lo cual permite realizar medidas y validaciones empíricas. En nuestros estudios aplicamos la siguiente definición: el *contenido de agua virtual* de un producto es el volumen de agua utilizado para producirlo, medido en el lugar o los lugares donde efectivamente se ha producido. Algunos estudiosos, como Taikan Oki, de Japón, sostienen que el contenido de agua virtual de un producto no debería calcularse en el lugar de producción, sino en el lugar de consumo (Oki y Kanae, 2004). Su justificación reside en que resulta especialmente útil saber cuánta agua se habría necesitado en el país importador si los bienes se hubiesen producido en su territorio en lugar de haberse importado. En ese contexto, el término *agua virtual* se definiría como el

volumen de agua que se habría necesitado si el producto se hubiese producido en el país de consumo. Aquí, pues, el agua virtual es de nuevo una «necesidad» hipotética, no un volumen real, por lo que resulta difícil de establecer empíricamente.

En nuestros estudios nos ceñimos a la definición de contenido de agua virtual basada en el uso de agua real. Sobre todo a la hora de determinar la huella hídrica de un país, lo que más nos interesa es el uso de agua real de los productos consumidos. Para ello necesitamos conocer el contenido de agua virtual de los productos en los países productores. Solo retomaremos esta cuestión en el capítulo IV, al analizar el ahorro de agua en los países que importan agua virtual, pues compararemos el agua que se habría necesitado en un país importador si el producto se hubiese producido allí con el agua que se utilizó realmente en el país exportador. En el resto del libro seguiremos el principio de medir el contenido de agua virtual de los productos en el lugar de producción. El adjetivo *virtual* hace referencia al hecho de que, en última instancia, el producto no contiene la mayor parte del agua utilizada en su producción. El contenido de agua real de los productos suele ser insignificante en comparación con el contenido de agua virtual. Por ejemplo, el contenido (medio global) de agua virtual del trigo es de 1.300 m³/t, mientras que su contenido de agua real no llega a 1 m³/t.

Pese al éxito del concepto —la mayoría de los expertos en gestión de la escasez del agua ya están familiarizados con él—, el término *agua virtual* ha generado una confusión y un debate considerables. Expertos como Stephen Merrett, que no aprueban el concepto, bromean y lo tildan de ser virtual en sí mismo (Merrett, 2003). Si bien nosotros mismos hemos contribuido a la popularización del concepto, reconocemos que el término, en apariencia atractivo, no es muy transparente. Sin embargo, algunos términos alternativos que se han propuesto no son mucho mejores. La ventaja de un término como *agua incorporada* o *agua integrada* sería su paralelismo con el término *energía incorporada*, que se emplea en otra rama de los estudios ambientales. No obstante, hablar de *agua incorporada* en un producto resulta confuso, ya que la mayor parte del agua utilizada para elaborarlo no se incorporará literalmente en el producto. De hecho, el término *agua incorporada* parece referirse al contenido de agua real de un producto, que, tal como hemos explicado, es muy diferente de su contenido de agua virtual. Munther Haddadin, ex ministro de Agua e Irrigación de Jordania, ha utilizado el término *agua exógena* como alternativa a *agua virtual*, en referencia al hecho de que la importación de productos intensivos en agua puede considerarse una fuente externa de agua para el país importador (Haddadin, 2003). También ha empleado el término *agua sombra* (*shadow water*) (Haddadin, 2006). Ambos términos se inspiran en el contexto en el que se utilizan: el discurso sobre ahorro de agua nacional gracias a la importación de productos intensivos en agua. Pero son términos menos útiles en un contexto más genérico, donde simplemente queremos referirnos al volumen

de agua usado para elaborar un producto. Así pues, el argumento más decisivo para elegir el término *agua virtual* en este libro fue que, de lo contrario, nos habríamos desviado de la terminología habitual entre los expertos en materia de agua.

2. CÓMO CALCULAR EL CONTENIDO DE AGUA VIRTUAL DE UN PRODUCTO AGRÍCOLA

El contenido de agua virtual (m^3/t) de cultivos primarios puede calcularse como el uso de agua en el campo (m^3/ha) dividido por el rendimiento del cultivo (t/ha). El uso de agua del cultivo depende de las necesidades de agua del cultivo, por un lado, y del agua disponible en el suelo, por otro lado. El agua del suelo se repone de forma natural a través de la lluvia o de forma artificial a través del riego. Las necesidades de agua del cultivo equivalen a la cantidad total de agua necesaria para la evapotranspiración en condiciones de crecimiento ideales, medidas desde la siembra hasta la cosecha. Por *condiciones ideales* se entiende el mantenimiento de una humedad del suelo adecuada gracias a la lluvia o la irrigación de modo que ni el crecimiento de las plantas ni el rendimiento del cultivo se vean limitados. Las necesidades de agua de un cultivo determinado bajo circunstancias climáticas particulares se pueden calcular con los modelos desarrollados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Allen *et al.*, 1998; FAO, 2006b). El uso de agua real del cultivo es igual a las necesidades de agua del cultivo si el agua de lluvia es suficiente o si su escasez se compensa mediante irrigación. En caso de déficit de agua de lluvia y ausencia de riego, el uso de agua real del cultivo es igual a la precipitación efectiva. En la mayoría de nuestros estudios suponemos que el uso de agua real es igual a las necesidades de agua del cultivo, ya que no es fácil disponer de los datos de irrigación especificados por cultivos y por países. En cambio, en el estudio sobre el algodón tratado en el capítulo IX, analizamos con detenimiento si las necesidades de agua de la planta de algodón se satisfacían realmente en cada país. En algunos casos observamos que el uso de agua real era inferior a las necesidades de agua del cultivo.

Para calcular las necesidades de agua del cultivo, se necesitan diversos datos sobre el clima y sobre el cultivo. En los cálculos realizados para este libro, hemos tenido en cuenta las medias por país de la presión atmosférica real, las temperaturas máxima y mínima diarias, y el porcentaje de nubosidad de la base de datos en línea del Centro Tyndall de Investigaciones sobre el Cambio Climático (Mitchell, 2004). Esta base de datos contiene promedios del periodo 1961-1990. Los datos sobre los promedios de altitud, latitud y velocidad del viento se han tomado de la base de datos CLIMWAT de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006c). Los coeficientes de cultivo y los calendarios de cosecha también se han tomado de la FAO (Allen *et al.*, 1998; FAO,

2006a). Los datos sobre el rendimiento medio del cultivo (t/ha) y la producción anual (t/año) por cultivo primario para cada país proceden de la base de datos en línea FAOSTAT (FAO, 2006e).

Cuando un cultivo primario se procesa en un producto agrícola (por ejemplo, arroz con cáscara en arroz integral), suele producirse una pérdida de peso, ya que sólo se utiliza una parte del producto primario. En casos así, para calcular el contenido de agua virtual del producto procesado se divide el contenido de agua virtual del producto primario por la fracción de producto. Se entiende por *fracción de producto* el peso del producto agrícola en toneladas obtenido por tonelada de cultivo primario. Si un cultivo primario se procesa en dos o más productos diferentes (por ejemplo, de la soja se obtiene harina de soja y aceite de soja), debemos repartir el contenido de agua virtual del cultivo primario entre sus diferentes productos, de forma proporcional al valor de cada uno de ellos. Cuando se utiliza agua durante el procesamiento, el uso de agua del proceso se suma al contenido de agua virtual del producto raíz (el cultivo primario) antes de distribuir el total entre los diversos productos raíz. De forma similar podemos calcular el contenido de agua virtual de productos resultantes de una segunda o tercera fase de procesamiento. El primer paso consiste siempre en obtener el contenido de agua virtual del producto de entrada (raíz) y el agua utilizada en su procesamiento. El total de estos dos elementos se distribuye luego entre los diversos productos de salida, en función de su fracción de producto y su fracción de valor (para una descripción detallada, véase el apéndice I).

El contenido de agua virtual de animales vivos puede calcularse a partir del contenido de agua virtual de su alimentación y del volumen de agua de boca y para servicios que consumen a lo largo de toda su vida (Chapagain y Hoekstra, 2003). Es preciso conocer la edad del animal en el momento del sacrificio y la dieta del animal durante las diferentes etapas de su vida. En nuestros estudios hemos incluido ocho categorías principales de animales: vacuno para carne, vacas lecheras, cerdos, ovejas, cabras, aves de corral (para carne), gallinas ponedoras y caballos. El cálculo del contenido de agua virtual de los productos ganaderos también se basa en fracciones de producto y fracciones de valor, del mismo modo que en el método descrito anteriormente.

Las fracciones de producto se han tomado de los árboles de productos disponibles a través de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2003b). Las fracciones de valor se han calculado a partir de los precios de mercado de los diferentes productos. Los precios de mercado medios globales de los distintos productos para el periodo 1997-2001 se han calculado a partir de los datos del Centro de Comercio Internacional (CCI, 2004).