

AGUA VIRTUAL, HUELLA HÍDRICA Y UTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Dr. José Luis Batista Silva

Instituto de Geografía Tropical Cuba. E-mail: joseb@geotech.cu; ibatista@ceniai.inf.cu

RESUMEN

Durante las últimas dos décadas, en la búsqueda de soluciones, han surgido dos conceptos importantes, muy ligados entre ellos: “**Agua virtual**” y “**Huella hídrica**”. El primero de estos conceptos data del año 1993 y el segundo recientemente, en 2002, por tanto, los especialistas todavía tienen muchas interrogantes y debaten sobre el desarrollo y la aplicación práctica de los citados conceptos. No obstante, el objetivo de estas ideas está encaminado al uso sostenible del agua, evitando su agotamiento y sobre todo, la contaminación de las fuentes. En este trabajo se describen los rasgos de agua virtual y huella hídrica, así como las características del consumo del agua por distintos usuarios. Al mismo tiempo, la “**Utilización racional de los recursos hídricos**” ha sido siempre una tarea permanente por parte de científicos e instituciones conscientes de la importancia del agua para todas las actividades humanas, principios ya demostrados en cuanto a su implementación y resultados prácticos. Se muestra la efectividad de la utilización racional de los recursos hídricos basado en el principio de no contaminación, eliminando el vertimiento de residuales a todo tipo de corrientes fluviales, lagos, embalses y al mar. Este procedimiento permite proteger los recursos hídricos, actualmente ya escasos en algunas regiones vulnerables por la contaminación de las aguas.

INTRODUCCIÓN

La Cumbre de la Tierra, celebrada por Naciones Unidas en Río de Janeiro en 1992, reconoció la necesidad mundial de conciliar la preservación futura de la biodiversidad con el progreso humano según criterios de sostenibilidad o sustentabilidad. Entre todos los elementos involucrados en la biodiversidad es el agua el más imprescindible ya que la existencia de los seres vivos es imposible sin la presencia de este vital líquido.

Por su parte, en las últimas décadas el tema hídrico a escala planetaria se ha convertido en embarazoso, bien por el impacto de los cambios climáticos, o por la influencia de origen antrópico en determinadas regiones. Muchos países actualmente han debido soportar fuertes sequías, inundaciones y variaciones en la norma de la temperatura del aire, las precipitaciones y los caudales medios anuales en las corrientes fluviales, lo cual ha desestabilizado o alterado el ciclo hidrológico y, por ende, la magnitud de los recursos hídricos disponibles.

Aunque siempre ha sido problemático, el acceso de agua potable para satisfacer las necesidades humanas, desde finales del pasado siglo XX, el asunto está tornándose “desesperante” para las organizaciones encargadas de manejar el suministro de agua a la población, regadío, industria y otras actividades. Por ello, es frecuente encontrar, en la literatura especializada y en la red de Internet, teorías y recomendaciones encaminadas al uso racional del agua y contribuir a que este recurso renovable esté siempre accesible en la cantidad y la calidad requerida.

Durante las últimas dos décadas, en la búsqueda de soluciones, han surgido dos conceptos importantes, muy ligados entre ellos: “**Agua virtual**” y “**Huella hídrica**”. El primero de estos conceptos data del año 1993 y el segundo recientemente, en 2002, por tanto, los especialistas todavía tienen muchas interrogantes y debaten sobre el desarrollo y la aplicación práctica de los citados conceptos. No obstante, el objetivo de estas ideas está encaminado al uso sostenible del agua, evitando su agotamiento y sobre todo, la contaminación de las fuentes.

Al mismo tiempo, la “**Utilización racional de los recursos hídricos**” ha sido siempre una tarea permanente por parte de científicos e instituciones conscientes de la importancia del agua para todas las actividades humanas, principios ya demostrados en cuanto a su implementación y resultados prácticos.

1. Agua virtual y Huella hídrica

Es un hecho innegable la existencia actual de una crisis relacionada con la disponibilidad y utilización del agua dulce. En algunas zonas el agua es abundante y en otras escasea, es decir, se encuentra en lo que muchos llaman un “estrés hídrico”. En su vivir diario el hombre requiere determinada cantidad de agua dulce para satisfacer sus necesidades; generalmente las normas de consumo tienen sus variaciones, en dependencia de la posición geográfica del consumidor y de sus condiciones socioeconómicas, así como la disponibilidad de agua y sus formas de distribución.

Sin embargo, el concepto de “agua virtual”, introducido en el año 1993 por el investigador británico John Anthony Allan, es, en cierta forma, un enfoque comercial: “*es la cantidad real de agua requerida para la fabricación de cualquier bien o producto agrícola o industrial*”. Por tanto, un país que disponga de grandes recursos hídricos – teniendo la infraestructura requerida– se convierte en un “productor” y “vendedor” de agua a quien necesite el producto, ubicado donde el agua escasea, es decir el “comprador”.

Para que se comprenda mejor la idea del concepto de agua virtual, si el país “A” es rico en recursos hídricos y tiene condiciones creadas para el desarrollo de ganado bovino, tendría que desarrollar los pastos para la alimentación del animal, además de criarlo; esto significa emplear unos 16 000 litros de agua para producir un kg de carne. Si un país “B”, donde los recursos hídricos son escasos, compra carne vacuna al país “A”, de hecho estaría importando 16 000 litros de “agua virtual” por kg de carne. Por

supuesto, el proceso encarecería los precios de los productos en un mercado basado en los principios del “agua virtual”, si es que en algún momento se decide convertir el “agua virtual” “en agua real”, es decir, en un asunto comercial.

Según A.Y. Hoekstra, experto del Instituto para la Educación relativa al agua UNESCO-IHE (Hoekstra, A. Y., 2003):

- 67% del comercio global de agua virtual está relacionado con el comercio internacional de cultivos;
- 23% está relacionado con el comercio de ganado y productos cárnicos;
- 10% está relacionado con el comercio de productos industriales.

La idea de la “*huella hídrica*” se basa en el concepto del 'agua virtual', de aquí la íntima relación entre ambos. Dado el poco tiempo del surgimiento de estos novedosos conceptos, todavía falta mucho tiempo por investigar y desarrollarlos hasta tanto estas herramientas puedan ser utilizadas para regular un mercado internacional del agua. Hasta ahora son desconocidas las consecuencias socioeconómicas, ambientales y las relaciones futuras entre los países que podrían involucrarse en este intercambio hídrico de carácter comercial.

Según el Manual de huella hídrica (Hoekstra, A. Y., et. al, 2009) *“todavía no existe un consenso sobre el método para calcular la huella hídrica. Cada vez que se aplica la metodología para determinar la huella de un producto, un consumidor individual, una comunidad o una organización comercial, surgen dudas sobre los indicadores que deben incluirse o excluirse. Hasta ahora no se ha definido un método preciso para estimar los impactos locales de una huella hídrica”*.

La “huella hídrica” es un término relativo al agua utilizada para elaborar un producto. En este contexto puede referirse al “contenido de agua virtual” de un producto en lugar de su “huella hídrica”.

Es obligado señalar que las estimaciones o los cálculos del “agua virtual” contenido en determinados productos (Tabla 1) son valores muy aproximados y varían de acuerdo a la localización geográfica, clima, características propias de la región o país, evaluación de los recursos hídricos disponibles, accesibilidad a las fuentes de agua dulce, modos de producción y a una larga lista de factores.

Tabla 1. Contenido de “agua virtual” de algunos productos muy consumidos por el ser humano

PRODUCTO	AGUA VIRTUAL (Litros)
1 vaso de cerveza (250 ml)	75
1 vaso de leche (200 ml)	140
1 taza de té (250 ml)	35
1 porción de pan (30 g)	40
1 porción de pan (30 g) con queso (10 g)	90
1 patata (100 g)	25
1 manzana (100 g)	70
1 camiseta de algodón (talla media, 500 g)	4 100
1 hoja de papel A4 (80 g/m ²)	10
1 vaso de vino (125 ml)	120
1 vaso de zumo de manzana (200 ml)	190
1 vaso de zumo de naranja (200 ml)	170
1 bolsa de patatas fritas (200 g)	185
1 huevo (40 g)	135
1 hamburguesa (150 g)	2 400
1 tomate (70 g)	13
1 naranja (100 g)	50
1 par de zapatos (piel de vacuno)	8 000
1 microchip (2 g)	3

Fuente: Hoekstra, A. Y., et. al (2009): Water Footprint Manual

En todas sus actividades el hombre utiliza determinada cantidad de agua para beber, cocinar y en otras tareas domésticas, pero estos volúmenes son insignificantes si se comparan con la producción de los bienes requeridos en su diario vivir, tales como alimentos, prendas de vestir, edición de diarios en papel, edificaciones, regadío y en diversas industrias altas consumidoras de agua.

La “*huella hídrica*” es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta, tanto el uso directo, como indirecto por parte de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o industria se define como el volumen total de agua dulce empleada para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o

comunidad, así como los producidos obtenidos mediante los procesos industriales y comerciales.

De acuerdo con los planteamientos de Arjen Y. Hoekstra – creador del concepto de huella hídrica en el año 2002 (“Water Footprint”) – *“el interés por la huella hídrica se origina en el reconocimiento de que los impactos humanos en los sistemas hídricos pueden estar relacionados, en última instancia, al consumo humano y que temas como la escasez o contaminación del agua pueden ser mejor entendidos y gestionados considerando la producción y cadenas de distribución en su totalidad”*.

Como se expresó anteriormente, existe una estrecha relación entre el “agua virtual” y la “huella hídrica”.

Los valedores del concepto de huella hídrica señalan que *“es un indicador multidimensional, no solo referente a un volumen de agua utilizado, ya que también explica donde está ubicada la huella hídrica, la fuente de agua y cuándo esta fue utilizada. La información adicional es crucial con el objetivo de evaluar los impactos locales de la huella hídrica de un producto”* (Hoekstra, A. Y., et. al, 2009).

Si se mide el agua gastada en un país para producir alimentos y bienes, es decir, el “agua virtual nacional” (AVN), se le suma el “agua virtual importada” (AVI) y se le resta el “agua virtual exportada” (AVE), el resultado es lo que denominan la “Huella hídrica” de ese país:

$$\text{Huella hídrica} = \text{AVN} + \text{AVI} - \text{AVE}$$

A partir de los cálculos realizados en ese “mercado mundial de agua virtual”, los países son clasificados de distintas maneras. Es obvio que en la escala de clasificación los países con abundantes recursos hídricos y con alta posibilidad de producción sean los de mayor huella hídrica, o sea, “los grandes exportadores de agua” (Figura 1).

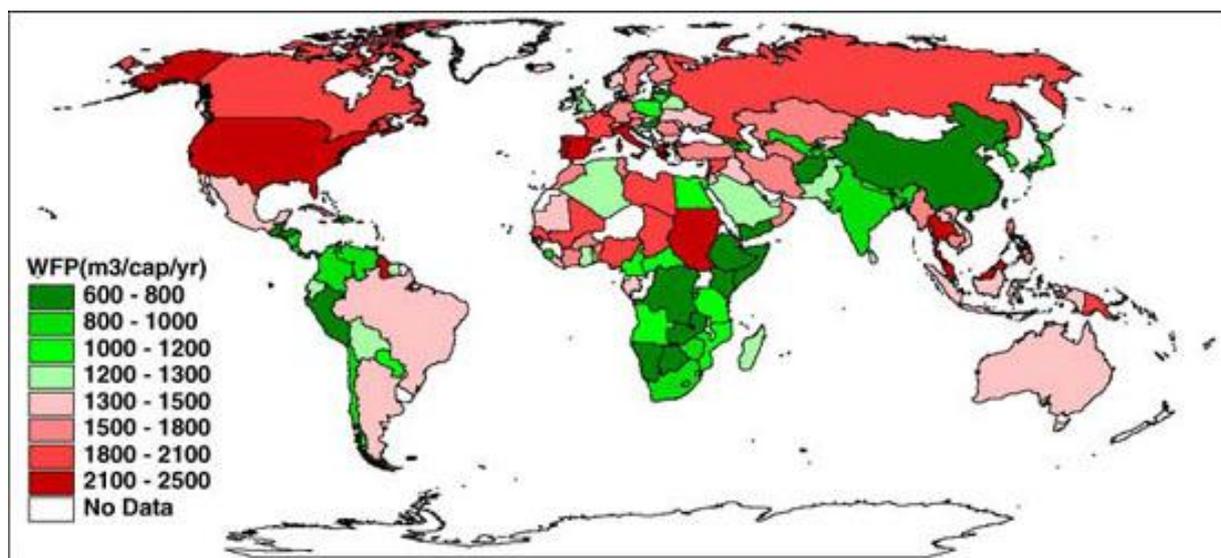


Figura 1. Promedios nacionales de huella hídrica per cápita ($\text{m}^3/\text{persona}/\text{año}$). Verde significa que la huella hídrica del país es igual o menor que la media mundial. Los países con rojo tienen una huella hídrica más allá de la media mundial. (Fuente: Informe de la UNESCO, 2004).

“La Huella Hídrica de Cuba alcanza la cifra de 1 712 m³ por habitante por año y se coloca en el lugar número 30, en orden descendente, del total de países involucrados en la evaluación. La Huella Hídrica de Cuba, se encuentra entre la de Finlandia (HH = 1 727) y la de Suiza (1 682).

Por encima de Cuba se encuentran, entre otros, los Estados Unidos de América (HH =2 483), la mayor, Grecia (HH = 2 389), Italia (HH = 2 322), España (HH = 2 325), Portugal (HH = 2 264), Canadá (HH = 2 049), Francia (HH = 1 875), Federación de Rusia (HH = 1 858), Bélgica (HH = 1 802), Finlandia y países en desarrollo tales como, Malasia (HH = 2 344), Tailandia (HH = 2 223), expresados todos en m³ por habitante por año”, (Tomado de García, J. M. y Cantero, L., 2008).

Por su parte, Hoeskstra y Hung (2002) calcularon los 10 primeros países exportadores e importadores de agua virtual (Tabla 2). Aunque estos son cálculos preliminares, es notorio que casi todos los países exportadores de agua virtual sean ricos en recursos hídricos y capaces de producir bienes de consumo para exportar. No obstante, ya se observan problemas medioambientales con esta exportación de agua virtual. Por ejemplo, EE. UU. es uno de los mayores exportadores de granos en el mundo, pero esto conlleva a la gradual reducción de los recursos hídricos, como ha sucedido en los acuíferos de agua fósil de Ogallala.

Ogallala es el mayor acuífero de los Estados Unidos, con una superficie de unos 500 000 km², desde el norte de Texas hasta Nebraska y Dakota del Sur, constituido por una estructura esponjosa, cuya formación se inició hace 20 millones de años por el deslave gradual de grava y arena de las Rocallosas.

Durante muchos años la agricultura en las planicies de la región dependía de las precipitaciones normales, sin embargo, a mediados de la década de los cuarenta del siglo XX, comenzó una fuerte extracción del acuífero para irrigar más de 6.5 millones de hectáreas dedicadas al maíz, sorgo, soya y trigo. En el presente, la recarga del acuífero es muy lenta y, considerando su origen fósil, se estima que en las próximas décadas descienda aún más el nivel del acuífero, provocando una drástica reducción de la extracción de agua en esa extensa región norteamericana.

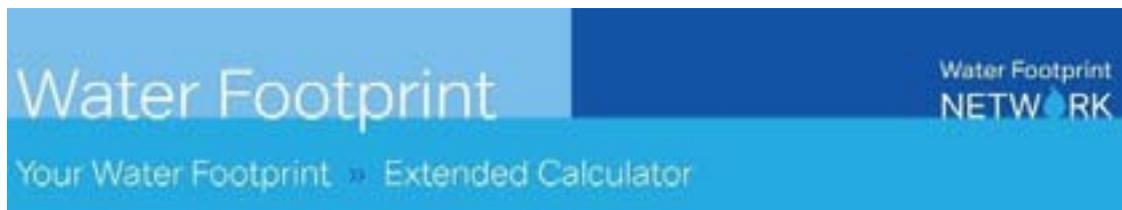
Tabla 2. Los 10 primeros países exportadores e importadores de agua virtual

Los 10 primeros países exportadores de agua virtual (1995 – 1999)		Los 10 primeros países importadores de agua virtual (1995 – 1999)	
PAÍS	VOLUMEN DE EXPORTACIÓN	PAÍS	VOLUMEN DE IMPORTACIÓN

	(10 ⁹ m ³)		(10 ⁹ m ³)
EE. UU.	758,3	Sri Lanka	428,5
Canadá	275,5	Japón	297,4
Tailandia	233,3	Holanda	147,7
Argentina	226,3	Rep. Corea	112,6
India	161,1	China	101,9
Australia	145,6	Indonesia	101,7
Viet Nam	90,2	España	82,5
Francia	88,4	Egipto	80,2
Guatemala	71,7	Alemania	67,9
Brasil	45,0	Italia	64,3

Fuente: A.Y. Hoekstra; P.Q. Hung. Virtual water trade.

En la página web de “Water Footprint” se ha publicado un formulario para calcular rápidamente la “huella hídrica” individual. Entrando los datos requeridos, la Tabla 3, ha sido programada para devolver la “huella hídrica total/año”. El sitio está disponible en Internet, registrado por “© 2005 Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain and Mesfin M. Mekonnen”.



”Su “huella hídrica” individual es igual al agua necesaria para los bienes y servicios consumidos por usted. Por favor, tómese su tiempo y llene el formulario para obtener una única “huella hídrica”. Los cálculos están basados en los requerimientos de agua por unidad de los productos de acuerdo al país en que usted reside”.

Tabla 3. Formulario para calcular la huella hídrica individual

Consumo de alimentos	
Cereales (trigo, arroz, maíz, etc.)	kg por semana
Productos cárnicos	kg por semana
Productos lácteos	kg por semana
Huevos	Cantidad por semana
	Contenido graso
¿Cómo usted prefiere ingerir los alimentos?	- Bajo - Medio - Alto
	Consumo de azúcar
¿Cuál es su consumo de azúcar y dulces?	- Bajo - Medio - Alto
Vegetales	kg por semana
Frutas	kg por semana
Tubérculos	kg por semana
¿Cuántas tazas de café toma al día?	Tazas por día
¿Cuántas tazas de té toma al día?	Tazas por día
Uso doméstico del agua	
Dentro de la vivienda	
¿Cuántas veces usted se baña al día?	Cantidad por día
¿Cuál es la duración promedio de cada baño?	Minutos por baño
¿Tiene instalada ducha estándar o de baja presión?	-Estándar - Baja presión
¿Cuántas veces se baña por semana?	Cantidad por semana
¿Cuántas veces al día usted se cepilla los dientes, se afeita o se lava las manos?	Cantidad por día
¿Deja usted el grifo abierto cuando se cepilla los dientes o cuando se está afeitando?	-Sí -No
¿Cuántas veces a la semana usted lava la ropa sucia?	Veces por semana
¿Tiene usted toilette con inodoro?	-Sí -No - Sin inodoro, utiliza eco toilette
Si usted friega sus platos manualmente, ¿cuántas veces por día?	Cantidad por día
¿Cuánto tiempo corre el agua durante cada	Minuto por fregado

fregado?	
Si usted tiene una fregadora de platos, ¿cuántas veces la utiliza semanalmente?	Cantidad por semana
En el exterior de la vivienda	
¿Cuántas veces a la semana lava su automóvil?	Cantidad por semana
¿Cuántas veces riega su jardín en una semana?	Cantidad por semana
¿Cuál es la duración del regado de su jardín cada vez que lo hace?	Minuto por regado
¿Qué tiempo usted emplea cada semana para fregar sus equipos, limpiar las aceras y áreas exteriores de la vivienda?	Minuto por semana
¿Si es que usted tiene una piscina, cuál es su capacidad?	Metros cúbicos
¿Cuántas veces al año usted vacía su piscina?	Cantidad por año
Su huella hídrica total es: -----	Metros cúbicos por año

Fuente: Water Footprint (<http://www.waterfootprint.org>)

2. Aprovechamiento racional de los recursos hídricos

Es cierto que los conceptos de “*agua virtual*” y “*huella hídrica*” contribuyen a un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, bien sean locales, regionales o nacionales, pero no debe olvidarse los problemas de la contaminación de las aguas que produce su propia utilización (abasto a la población, industria, regadío y otros usos) cuando no se toman medidas que mitiguen las afectaciones medioambientales. Mientras más desarrollo, mayor es la contaminación potencial de las aguas, por tanto, no es posible analizar esta situación solamente desde la óptica de la exportación e importación del agua virtual.

La introducción de estos conceptos novedosos muestran la preocupación de investigadores, científicos, empresarios y en general todo aquel interesado en proteger los recursos hídricos –aunque renovables– actualmente ya escasos en algunas regiones y vulnerables por la contaminación de vertimientos de residuales de todo tipo a corrientes fluviales, lagos, embalses y al mar.

En el caso particular de las islas caribeñas existe otro tipo de contaminación que podría convertirse en irreversible: la extracción irracional del agua en fuentes subterráneas ubicadas en las áreas costeras. Está demostrado que las aguas del mar y los acuíferos costeros se mantienen en un equilibrio “natural”, pero cuando las

extracciones del agua subterránea superan la recarga de los acuíferos, ocurre lo que se denomina intrusión salina, es decir, la contaminación del agua dulce por el agua salada.

En cuanto a los volúmenes de agua involucrados en los conceptos de “agua virtual” debe tenerse presente que estos son insignificantes si se compara con la cantidad de agua que se pierde por la distribución en las redes de acueductos y otros usos. En el caso de Cuba –según datos oficiales– las pérdidas del agua, después de extraída de la fuente, superan el 50%. Además de esto, los métodos y sistemas de regadío no siempre son los más eficientes y las industrias emplean grandes volúmenes de agua que luego son vertidos para contaminar los acuatorios y el mar. Por tanto, aunque positivas, las ideas de “agua virtual” y “huella hídrica”, para las características de países con escasos recursos hídricos y económicos, es realmente una solución virtual; la realidad es utilizar racionalmente los recursos hídricos, evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, no verter residuales domésticos e industriales y pasar a la etapa de reutilización del agua y al concepto de “producción limpia”, en dependencia de las posibilidades de cada país.

Uno de los métodos más representativos e interactivos para mostrar el uso del agua en una región, país o en cualquier territorio, es elaborar los esquemas de utilización de los recursos hídricos en sus variantes actual y perspectiva. Para ello resulta imprescindible conocer, en primer término, el volumen de esos recursos, separados en sus componentes superficial y subterránea. Además de esto, es también importante el grado de regulación existente en el país, es decir, el volumen de agua embalsado.

El segundo elemento es el uso del agua por sectores de la economía nacional, es decir, los usuarios del agua podrían ser: “población, industria, turismo, riego y agropecuario”, variando estos, dependiendo del país, región, etc. Todos los datos necesarios para elaborar estos esquemas pueden obtenerse en las organizaciones encargadas del manejo del agua en el territorio.

Por su parte, si la “huella hídrica” es igual al agua necesaria para producir los bienes y servicios consumidos, entonces podría afirmarse que el agua consumida por los distintos usuarios (población, industria, turismo, riego y agropecuario) es un concepto muy similar, ampliamente utilizado en los procesos de gestión de los recursos hídricos. En el Atlas Nacional de Cuba, elaborado en el año 1989, se aplicaron estos conceptos, incluyendo además, principios importantes: no verter contaminantes a los acuatorios y reciclar el agua utilizada. Esta es una vía real para evitar el agotamiento cualitativo y cuantitativo de los recursos hídricos.

Para lograr un desarrollo perspectivo de una utilización racional de los recursos hídricos es necesario introducir el concepto de “no verter” contaminantes a objetivos hídricos sin que hayan sido tratados previamente mediante la aplicación de otras variantes como son la construcción de fábricas que funcionen con los sistemas de industrias “cerradas” o “secas” (producción más limpia), es decir, reutilizar la misma agua o reducir su consumo en el proceso de producción; que los residuales domésticos sean tratados hasta niveles exigidos por las normas internacionales y reincorporados a otros usos como el regadío, al igual que las aguas de la actividad agropecuaria se destinen a la irrigación.

Algunos especialistas distinguen dos tipos de reutilización: directa e indirecta a través de cursos naturales. *“En los sistemas de explotación interiores en los que las aguas residuales, con más o menos tratamiento, se vierten en ríos o embalses, y las aguas sobrantes de riego que drenan los suelos pueden retornar a cauces a través de canales o azarbes o alcanzar acuíferos, las aguas residuales son diluidas con los caudales circulantes y son parcialmente reutilizadas en zonas aguas abajo para nuevos usos urbanos, agrícolas e industriales”.*

“No ocurre lo mismo en zonas costeras donde las aguas residuales son evacuadas al mar a través de emisarios o acuíferos y cauces sin posibilidad de aprovechamiento. Consecuentemente, es en las zonas costeras y en zonas interiores con problemas de abastecimiento, donde más beneficio se puede obtener de la reutilización directa y planificada de agua residual tratada mediante su almacenamiento y transporte hasta el punto de aprovechamiento, sin dilución previa en un curso natural de agua”, Prats Rico, (www.bvsde.paho.org).

En los esquemas prospectivos de la utilización de los recursos se proponen soluciones basadas en el principio de no vertimiento de aguas residuales contaminadas a objetivos hídricos, partiendo de la reutilización de las aguas de origen doméstico y agrícola. En el caso de las industrias –precisamente las potencialmente más contaminantes– se requiere fuertes inversiones económicas para evitar el vertimiento de sus residuales a los acuatorios y al mar.

La literatura relacionada con este tema presenta muchos ejemplos, algunos de ellos muy evidentes, donde industrias a punto de ser cerradas por la autoridad ambiental, fueron convertidas en eficientes, sin vertimientos nocivos.

En la actualidad se aboga por el tratamiento de las aguas residuales, lo más cerca posible de la fuente, mediante sistemas descentralizados hasta niveles que cumplan con el destino de reutilización solamente. Un ejemplo de los nuevos planteamientos de manejo de las aguas en las ciudades (Figura 2) lo ilustran Gikas y Tchobanoglous (www.elsevier.com/locate/jenvman) en el artículo “The role of satellite and decentralized strategies in water resources management”, 2007.



Fuente: Gikas y Tchobanoglous, 2007

Figura 2.- Aplicación de los sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales en áreas densamente pobladas

Entre las medidas que podrían tomarse para la utilización racional y la conservación de los recursos hídricos, es muy importante el control y la economía del agua en la industria, la agricultura y en su uso doméstico. Grandes pérdidas, que en algunos países podrían llegar a la mitad o más del total extraído de las fuentes tendrían su origen fundamentalmente en los acueductos y redes de distribución; esto estaría relacionado con el estado del sistema, a pesar de todo el esfuerzo que se lleve a cabo para evitarlo.

Las perspectivas en la economía del agua durante el riego pueden ser amplias con el aumento de la mecanización y la introducción de tecnologías eficientes, por ejemplo, el riego por goteo, mediante el cual prácticamente no existen aguas de retorno y el rendimiento de estos sistemas aumenta hasta 0,9.

La cantidad de agua necesaria para la producción industrial depende en gran medida de las tecnologías para el abasto de agua. La transformación de las industrias, con el abasto de agua directo es una considerable reserva en la economía de los recursos hídricos para el sistema de trabajo de circulación en ciclo cerrado. Enormes posibilidades económicas se presentan en la introducción de tecnologías que permiten no utilizar agua en el proceso productivo, como la industria procesadora del petróleo.

En muchos países, como Cuba, se ha logrado una notable economía de agua fluvial mediante la utilización de agua del mar para el enfriamiento de los generadores de termoeléctricas situadas a la orilla del mar.

El problema más crítico y actual podría ser, no solo el agotamiento cuantitativo, sino el cualitativo de los recursos hídricos, lo cual originaría la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por residuales domésticos e industriales, y por la intrusión

salina debido a la sobreexplotación de cuencas subterráneas, en el caso de islas caribeñas.

En la actualidad, sería conveniente incluir en los proyectos de construcción la utilización secundaria de las aguas residuales, ya que estas, después de su correspondiente tratamiento, pueden ser usadas de nuevo para regar cultivos destinados a los forrajes, así como a los cultivos técnicos.

De esta forma se resolverían dos problemas al mismo tiempo:

- ✓ La depuración de las aguas residuales es mucho más intensa en el suelo que en el agua de los ríos y los embalses.
- ✓ Los fertilizantes contenidos en las aguas residuales en forma de elementos orgánicos, son mejor absorbidos por las plantas.

A su vez se solucionaría un tercer problema: son devueltos al suelo aquellos elementos que se han extraído con las cosechas. Esta tarea se soluciona por medio de la depuración de las aguas residuales en los llamados campos de irrigación; de esta forma se reducen los gastos de las plantas de tratamiento por una parte y, por la otra, los campos de irrigación dan la posibilidad de aumentar la productividad agrícola. Además de lo antes expuesto, este método conlleva un considerable ahorro de agua, ya que disminuye el gasto de agua de los ríos para la dilución de las aguas contaminadas.

Otro de los problemas es la lucha por evitar el agotamiento de las aguas subterráneas, esto es posible por medio de recargas artificiales, lo cual se lleva a cabo, en algunos países, con la construcción de embalses subterráneos. Es necesario investigar y evaluar el escurrimiento subterráneo que va directamente al mar, sin correr por el sistema de cauces fluviales, analizar la posibilidad de su utilización y al mismo tiempo evitar su contaminación.

2.1. Esquema perspectivo de la utilización de los recursos hídricos

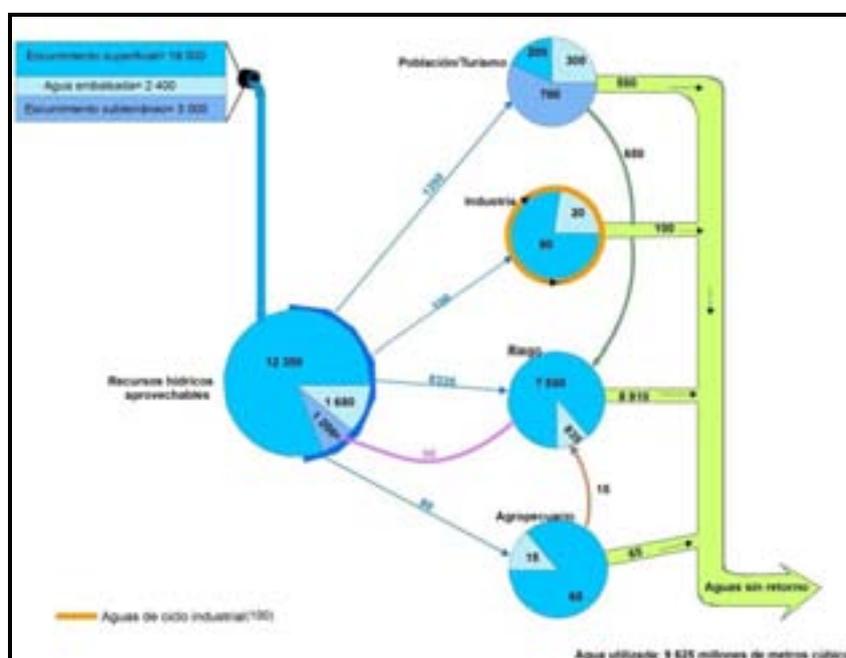
Tomando como ejemplo datos aproximados de un país "X", se presenta un esquema perspectivo de utilización de los recursos hídricos, asumiendo un ulterior (teórico) desarrollo y las medidas resumidas en el epígrafe anterior.

Los recursos hídricos del mencionado país se han evaluado en un volumen de escurrimiento total (**R**) igual a 22 000 millones de metros cúbicos anuales como promedio, distribuido en 19 000, para el escurrimiento superficial (**S**) y, 3 000 millones de metros cúbicos del escurrimiento subterráneo (**U**).

La capacidad actual embalsada es de unos 2 200 millones de metros cúbicos, distribuidos en 34 presas, sin embargo, mediante el aumento de la capacidad de embalse, podría llegarse a 2 400 millones de m³ de agua embalsada. Esto significa construir presas que permitan almacenar aproximadamente un 10% más del agua existente actualmente, elemento muy importante en la utilización racional del agua, reduciendo así la extracción de los volúmenes de agua subterránea, reserva estratégica para el abasto a la población.

Es necesario aclarar que la elaboración del esquema perspectivo (Figura 3) se ha diseñado en base a experiencias de otros países y a las tendencias de desarrollo socioeconómico de carácter normal. Dada la importancia que tiene el uso racional y la reutilización de los recursos hídricos se han agrupado los principales usuarios por sectores de la forma siguiente:

Millones de m³	
Recursos hídricos aprovechables.....	15 230
Usuarios del agua	
Población/Turismo.....	1 200
Industria	200
Riego.....	9 000
Agropecuario.....	80



Fuente: elaborado por el autor

Figura 3. Esquema perspectivo de utilización de los recursos hídricos (cifras en millones de metros cúbicos)

El sector de la Población/Turismo tendrá garantizado casi el 60% de los volúmenes de agua provenientes de fuentes subterráneas, es decir, de mayor calidad (700 millones de m³). El resto de la demanda se obtendrá desde el agua embalsada (300 millones de m³) y por las tomas directas de las corrientes superficiales y otros acuatorios (200 millones de m³).

La industria requiere unos 200 millones de m³ de agua anuales para poder funcionar, pero solo recibirá el 50% desde los recursos hídricos aprovechables, a partir de la escorrentía superficial (80 millones de m³) y el agua embalsada (20 millones de m³); el resto –100 millones de m³– después de una entrega inicial, será un volumen de agua a

usar por parte de la industria en “ciclo cerrado”. De esta forma las industrias no verterán sus desechos a los ríos, embalses y al mar. Es evidente que la implementación de este proceso es un objetivo altamente dependiente de la economía de cualquier país.

Comparando la demanda actual del agua para el riego, en el esquema prospectivo se considera un aumento de casi el 20%, no obstante, recibirá 650 millones de m³ a partir de la entrega de las aguas vertidas por la población y el turismo (previamente tratadas) y 15 millones de m³ directamente de la actividad agropecuaria. Es obvio, que la mayor cantidad de volúmenes de agua para el riego se obtendrá de los recursos aprovechables: 7 500 millones de m³ del escurrimiento superficial y 835 millones de m³ a partir del agua embalsada. Es notorio que se ha aumentado la demanda para el riego, pero, considerando las medidas de reutilización del agua, en la perspectiva se podrá regar más, prácticamente con la misma cantidad de agua que se extrae actualmente para este sector.

Es importante señalar que una parte de las aguas del regadío son devueltas a la componente subterránea del ciclo hidrológico, mediante el proceso natural de infiltración. En algunos países se canalizan y vierten a pozos de recarga. Esto contribuye al aumento de las aguas subterráneas y por tanto, la entrega desde el riego sería aproximadamente en un volumen de 90 millones de m³ como promedio a anual.

La actividad agropecuaria utilizará 65 millones de m³ por acceso directo a fuentes superficiales y unos 15 millones de m³ del agua embalsada.

CONCLUSIONES

Puede observarse, en el esquema prospectivo (Figura 3), que no existe vertimiento de aguas residuales contaminantes a los ríos, embalses y al mar. Por ejemplo, un simple balance de la demanda del agua para Población/Turismo, muestra 550 millones de m³ retornando al ciclo hidrológico mientras el resto es entregado a la actividad del regadío.

Los conceptos de no vertimiento de residuales a los cuerpos de agua y el reciclaje de las aguas utilizadas por distintos usuarios, constituyen medidas efectivas y denotan un correcto manejo de los recursos hídricos desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. El único impedimento para implementar estos métodos son la disponibilidad de recursos económicos y la voluntad política de cada territorio para hacerlos realidad.

REFERENCIAS

Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, R., Tchobanoglous, G., (2007): Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, New York.

Batista, J. L. (1989): Utilización actual y perspectiva de los recursos hídricos de Cuba, en: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba e Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid.

García, J. M. y Cantero, L. (2008): Indicadores globales para la evaluación del uso sostenible del recurso agua: Caso cubano (Voluntad Hidráulica No. 100, Año 46, diciembre 2008. ISSN 0505-9461).

Hoekstra, A. Y. (2003): Virtual water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water. IHE.

Hoekstra, A. Y., et. al (2009): Water Footprint Manual, The Netherlands, 131 p.

Hoekstra, A. Y.; Hung, P. Q. (2002): Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. IHE Delft.

Prats Rico, D. (www.bvsde.paho.org): Conceptos generales sobre reutilización y calidad del agua y usos posibles.

Informe UNESCO, 2004: http://www.unesco.org/water/index_es.shtml.

UNESCO-IHE (<http://www.waterfootprint.org>).

Water Footprint (<http://www.waterfootprint.org>).