

**Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil**



**“CONFERENCIAS DE INGENIERÍA CIVIL”**

**LIMA SETIEMBRE 2012**

# ACADEMIA PERUANA DE INGENIERÍA

CONFERENCIA

4 octubre 2011

## EL AGUA VIRTUAL Y LA HUELLA HÍDRICA EN EL SIGLO XXI

**Arturo Rocha Felices**

Académico de Número

"Water by its very nature, is used to extinguish fires, not to ignite them."

(M. J. Haddadin)

### La Importancia del agua

El agua está cada día ante nuestros ojos. Forma parte de nosotros mismos y es absolutamente real y tangible. Entonces, ¿de dónde surge la idea de que pueda haber Agua Virtual, siendo lo virtual aquello que tiene existencia aparente, pero no real? En la presente exposición pretendemos resolver esta paradoja y señalar sus enormes implicancias prácticas y económicas, pues es bien conocida la importancia que tiene el agua para la vida en general y para los seres humanos en particular. El agua no sólo es fundamental para la vida; el agua es la vida misma. Es un recurso vital, imprescindible, insustituible, vulnerable y escaso.

Como el agua es irremplazable para la vida, las naciones crecen y desaparecen en correspondencia con sus éxitos y fracasos en el manejo del agua. La Carta Europea del Agua (Estrasburgo, 1968) estableció que "Sin agua no hay vida posible. Es un bien preciado indispensable a toda actividad humana".



Años después (2003) Naciones Unidas proclamó el decenio 2005-2015 como el Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida”, sosteniendo que el agua es “fundamental para el desarrollo sostenible, en particular para la integridad del medio ambiente y la erradicación de la pobreza y el hambre, y que es indispensable para la salud y el bienestar humanos”.

Sin embargo, como ocurre con muchas cosas de la vida, sólo comprendemos la importancia y el valor del agua cuando la perdemos. Para que esto no ocurra es indispensable su manejo eficiente e ir a una Gestión del Agua; es decir, que se debe manejar el agua de modo que su aprovechamiento actual no impida que también puedan gozar de ella las generaciones futuras. Se trata de un tema sumamente importante para el desarrollo y bienestar de un país, pero también es cierto que origina múltiples conflictos de intereses. En el Perú, la Ley de Recursos Hídricos (Nº 29338), del 30 de marzo del 2009, “tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.”

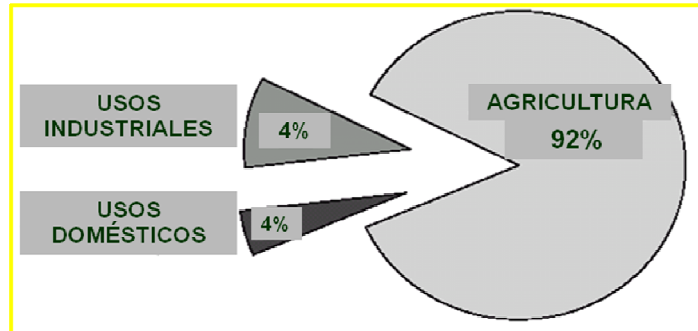
El agua no sólo es indispensable para la vida, sino que es insustituible. No hay nada que la reemplace. Por lo tanto, cuando una nación ocupa un territorio y se organiza como Estado tiene que proclamar para sí la propiedad de los recursos naturales en general, y de los hidráulicos en particular, ubicados en su territorio. De acá la necesidad de recordar y examinar los usos que tiene el agua, que son los que le dan las características antes señaladas.

### Usos del Agua

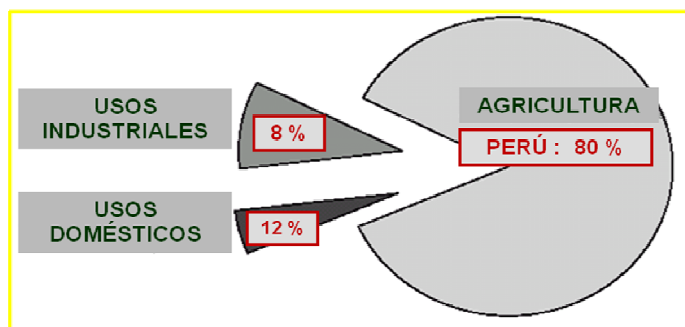
El agua está presente en todas las manifestaciones de nuestras vidas, así es en los aspectos domésticos, ambientales, agrícolas, pecuarios, energéticos, industriales, recreativos y aun religiosos. Sus usos constituyen la expresión del provecho que se obtiene de ella y son tantos y tan variados que no es fácil enumerarlos y clasificarlos. El examen detallado de ellos sería una tarea ardua, pues el agua se caracteriza no sólo por la diversidad de usos, sino por la multiplicidad de usuarios.

Del agua total utilizada en el mundo la mayor parte corresponde largamente a la agricultura y se ubicaba, hace algunos años, entre el 75 y el 90%, con un promedio de 86%. Lo alarmante es que para el periodo 1996-2005 aumentó al 92%. En los países áridos y semiáridos el porcentaje de agua dedicado a la agricultura no sólo es mayor, sino también creciente, por la necesidad de producir alimentos. Pero, la

población necesita también disponer de agua para otros usos, como los industriales, que representan el 4% del total mundial, entre los que está la generación de energía limpia y renovable, como la hidroeléctrica. Los usos poblacionales representan el 4%.



En el Perú, del total de agua utilizada corresponde a la agricultura el 80%, a la industria el 8% (2%, a minería) y a los usos poblacionales el 12%. En consecuencia, para mitigar la escasez del recurso resulta ser fundamental buscar el eficiente manejo del agua de riego.



Los usos del agua antes mencionados son los tradicionales. Sin embargo, también se necesita agua, y ahora más que nunca, para mantener el equilibrio ecológico y para descontaminar el agua que por acción humana ha perdido su calidad.

En la iniciación del siglo XXI las economías de los países están cada vez más dependientes unas de otras y, en consecuencia, tenemos que mirar el agua, recurso por excelencia, como un recurso planetario. En el Perú, lamentablemente, estamos muy lejos de aplicar este concepto. Se considera, generalmente, que el agua no es un recurso que sea, por lo menos, de interés nacional, sino que se le toma como un recurso de interés sólo local, regional o “provinciano”.

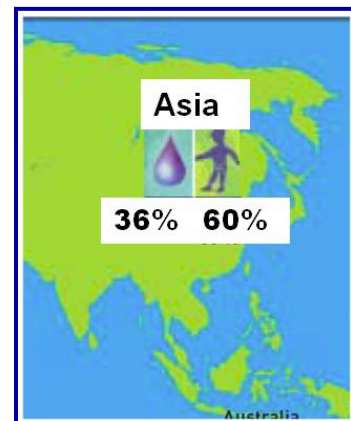
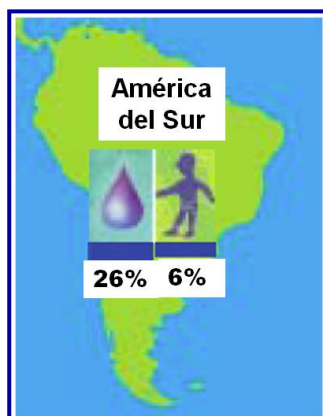
Siendo tantos y tan importantes los usos del agua, necesitamos saber cuánta agua tenemos y cómo está distribuida.

## Distribución del agua en el planeta



En la Tierra hay tanta agua, que bien podría llamarse el Planetagua (1350 millones de  $\text{km}^3$ ). Como el 70% de su superficie está cubierta de agua se le llama el Planeta Azul. El 97% del agua de la Tierra está en el mar. Del 3% restante casi todo está en glaciares y aguas subterráneas profundas. Sólo podemos tener acceso a los ríos y corrientes, lagos de agua dulce y aguas subterráneas poco profundas. Sin embargo, no toda es fácilmente aprovechable, a lo que se añade su desigual distribución espacial y temporal.

Hay países que tienen grandes cantidades de agua y otros la tienen en muy pequeña cantidad. India, China, Pakistán, Rusia y Canadá, los países con mayor cantidad de agua dulce, poseen la mitad de las reservas mundiales. América del Sur, con el 6% de la población mundial, tiene el 26% de los recursos hídricos superficiales mundiales; en cambio, Asia con el 60% de la población mundial, sólo posee el 36% de dichos recursos.



Lo mismo ocurre dentro de un mismo país, en el que hay cuencas, o bien regiones, excedentarias y otras deficitarias. Esto puede verse también desde el punto de vista de los requerimientos de agua: hay países, o regiones dentro de ellos, con gran demanda y otros con pequeña demanda de agua.

La disponibilidad mundial de agua (técnica y económicamente aprovechable, con mucho optimismo) es de 40 000  $\text{km}^3$  por año y es la llamada Agua Azul, constituida básicamente por las aguas superficiales y los acuíferos. Representa el 40% de la lluvia que cae sobre la tierra firme del planeta (Agua Verde). Esto significa en la actualidad cerca de 6000 metros cúbicos por habitante y por año ( $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$ ). Hace pocas décadas era el doble (13 000  $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$ ). Hay países que están muy por

debajo de dicho promedio, como China o España, que no llegan a los 2500 m<sup>3</sup>/hab/año.

En el Perú la disponibilidad de agua es muy alta, aproximadamente 70 000 m<sup>3</sup>/hab/año, cerca de doce veces el promedio mundial. Esto nos coloca en el puesto 17 dentro de 180 naciones. Es cierto, sin embargo, que esta gran cantidad de agua, que representa casi el 5% (2000 km<sup>3</sup> por año) de la escorrentía mundial, se encuentra muy desigualmente distribuida en el tiempo y en el espacio. Es decir, hay escasez relativa de agua. A esto debe añadirse que más del 98% de nuestros recursos hidráulicos superficiales tiene algún grado de compromiso internacional. Pero, debe reconocerse que poseemos una enorme cantidad de agua.

El aumento de la demanda y la desigual distribución espacial y temporal del agua crea su escasez, la que debe ser apreciada debidamente para comprender la necesidad de soluciones alternativas a las tradicionalmente utilizadas.

#### El aumento de la demanda y la escasez de agua



El consumo de agua viene aumentando, pero la oferta de agua, a nivel global, es siempre la misma o aún menor por efecto de la contaminación. Durante el último siglo, la población mundial se ha triplicado, mientras que el consumo de agua se ha sextuplicado. Se calcula que para el año 2015 habrá 21 megalópolis, que son las ciudades que pasan de 10 millones de habitantes.

Los países que poseen una cantidad de agua inferior a 1000 m<sup>3</sup>/hab/año se encuentran en lo que se llama una disponibilidad extremadamente baja, es decir, que la cantidad de agua que tienen no es suficiente para la satisfacción de sus necesidades. Hay una escasez crónica y generalizada. A esta situación se le denomina estrés hídrico.



Algunas cifras requeridas para satisfacer las demandas de agua son muy ilustrativas; así, para la agricultura se necesita por lo menos 1000 m<sup>3</sup>/hab/año. Si sólo se tratase de beber, bastaría con 1 m<sup>3</sup>/hab/año. Hay muchos Estados que sufren el estrés hídrico, como por ejemplo: Jordania (175 m<sup>3</sup>/hab/año), Singapur (149 m<sup>3</sup>/hab/año), Emiratos Árabes Unidos (58 m<sup>3</sup>/hab/año) o Kuwait (10 m<sup>3</sup>/hab/año). Se calcula que hacia el año 2025 la tercera parte de la población mundial sufrirá estrés hídrico, es

decir, que el agua será un bien escaso y, ciertamente, muy valioso y disputado. El año 2050 la población mundial llegará a los 9000 millones. El agua será un bien aún más escaso, pues casi el 80% de la población, ubicado en unos sesenta países, tendrá escasez de agua.



Esto obliga, desde ahora, a la búsqueda de soluciones alternativas para satisfacer la demanda de agua de cada Estado y, eventualmente, de cada región de él. Cada país y cada grupo humano necesitan una determinada cantidad de agua para la satisfacción de sus necesidades, las que son crecientes por el aumento de la población y por sus deseos de alcanzar una mejor calidad de vida, lo que implica el acceso a una mayor cantidad de agua. La creciente escasez de agua es, pues, una realidad.

El acceso al agua es el primer y fundamental derecho humano, pues es el requisito indispensable para acceder a todos los otros derechos. En consecuencia, nadie tiene el derecho de “desperdiciar el agua que otro hombre necesita”. Es, pues, imperativo reexaminar el uso del agua en los proyectos hidráulicos de nuestro país y obtener de ella el máximo rendimiento económico y social. La ingeniería ha buscado formas de enfrentarse a la escasez de agua, como se ve a continuación.

### Los esfuerzos por satisfacer la demanda creciente de agua

Las soluciones para proporcionar la cantidad de agua requerida por una cuenca, región o país han girado en torno a tres planteamientos:

- a) Aumento de las fuentes
- b) Racionalización del uso
- c) Importación de agua

#### a) Aumento de las fuentes de agua

El progreso de la humanidad está estrechamente vinculado al aprovechamiento del agua. Las más notables civilizaciones de la antigüedad se desarrollaron junto a los grandes ríos; por eso, precisamente, se les llama Civilizaciones Fluviales. En un cierto momento surgió la agricultura. Con sus excedentes económicos aparecieron las ciudades, las industrias y los servicios en general.

Luego que el hombre se instaló en las zonas áridas y semiáridas pasó, en un cierto momento, de un aprovechamiento pasivo a un aprovechamiento activo de los ríos; es decir, construyó obras de ingeniería para llevar el agua hasta el lugar de su utilización y lograr así el aumento de las fuentes de agua. Aparecieron las bocatomas, los canales y los sistemas de distribución de agua. Recordemos, por ejemplo, que los lugares de la costa peruana donde la vida es posible (6% de su extensión) constituyen una inmensa obra de irrigación.

En la costa del antiguo Perú el nacimiento, desarrollo y muerte de las llamadas Culturas estuvo en función del aprovechamiento de los ríos y del dominio del agua. Los primeros desarrollos hidráulicos se hacían dentro de una cuenca. Cuando las necesidades aumentaron hubo que pasar a sistemas de economía abierta y asociar hidráulicamente dos o más cuencas. Aparecieron así los trasvases de cuencas y los de una vertiente a otra. Se ha construido túneles transandinos para traer a la costa las aguas de otras vertientes y larguísimos canales para llevar el agua a los lugares de aprovechamiento. Apareció así el concepto de Comarca Hidráulica. En otras partes del mundo se ha construido obras monumentales para almacenar, regular y conducir el agua hasta el lugar en el que se la necesita.

Hoy día los problemas del agua no pueden examinarse exclusivamente dentro de la problemática de una cuenca o una región. Los problemas del agua son nacionales y, en gran medida, planetarios. De acá la necesidad de estudiar en el Perú muy cuidadosamente la relación entre las Regiones Políticas y las Comarcas Hidráulicas.



Para aumentar el beneficio que obtenemos del agua y satisfacer la creciente demanda de bienestar humano, cada vez se emprende obras de ingeniería de mayor complejidad y se trata, en alguna medida, de manejar mejor el agua. Prueba de ello es que en el mundo existen unas 50 000 grandes presas.

La mitad de ellas está en China; España posee unas 1200 y el Perú, alrededor de 60. Entre 1950 y 1980 China construyó grandes presas a razón de 600 al año. Otra posibilidad es la desalación del agua de mar, muy usada en el Oriente Medio, pero los costos involucrados son bastante elevados. Se ha recurrido también a los recursos hidráulicos internacionalmente compartidos. Así por ejemplo, el Perú y Ecuador



**firmaron un Convenio para el Aprovechamiento Conjunto de las Cuencas Binacionales Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira (27 setiembre 1971).**

#### **b) Racionalización del uso**

**El manejo racional del agua es un modo importante de aumentar la disponibilidad del recurso. En la Carta Europea del Agua se señala que “Cada uno tiene el deber de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla.” Por ello, la Ingeniería de los Recursos Hidráulicos busca que cada hombre pueda disponer de la cantidad de agua que necesita, con la calidad debida, en el momento oportuno y en el lugar preciso.**

**Es en la agricultura bajo riego donde se encuentra el mayor desperdicio de agua. No tiene ningún sentido gastar enormes cantidades de dinero para regular y conducir el agua hasta los lugares de consumo y, luego, distribuirla y usarla con bajísima eficiencia, lo que sucede, lamentablemente, en muchas partes de nuestro país y del mundo. El riego tecnificado es una de las formas de aumentar la eficiencia del uso del agua.**



**Existe consenso de que la “escasez” de agua que sufren algunos países o regiones se debe a un mal manejo del recurso y a la falta de una correcta planificación del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Sin embargo, muchas veces el problema no es la escasez de agua, sino la falta de decisión política para manejarla. De acá que el Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, tan íntimamente vinculado a la ingeniería, sea un asunto de interés público, más aún, si tenemos en cuenta que, por lo general, el aprovechamiento de muchos recursos naturales es inseparable del uso del agua.**

**En consecuencia, el agua no debe ser vista aisladamente, sino en conexión con los demás recursos naturales con cuya explotación y aprovechamiento está estrechamente relacionada. Partimos, por lo tanto, del supuesto general de que debe haber un uso racional, armonioso y coordinado de todos los recursos naturales, mediante un enfoque integral de su aprovechamiento. El aumento de las fuentes de agua y la racionalización del consumo no son soluciones excluyentes, sino complementarias, a pesar de lo cual, en algunos lugares son insuficientes.**

### c) Importación de agua

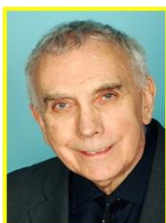
Mediante las soluciones anteriormente señaladas la ingeniería hace posible lo que algunos autores llaman el dominio de la naturaleza. El paso siguiente consistió en resolver las carencias de alimentos mediante su importación. Si observamos el comercio entre los países se verá que tradicionalmente ha habido poco comercio del agua real porque es pesada y costosa para transportarla a lugares distantes. Sin embargo, hay casos extremos en los que se importa agua real. Actualmente en los supermercados de Lima se puede adquirir agua embotellada proveniente de otras partes del mundo (a U. S. \$ 4000 el metro cúbico, o más). Los países árabes y China, entre otros Estados, buscan la solución trasladando desde Alaska bloques de hielo. Israel pensó en el agua de Turquía. Se está intensificando el comercio de agua real y esta actividad se encuentra en manos de la actividad privada, lo que debe constituir motivo de reflexión.



Hace muchos años el Perú importó hielo desde Boston. El primer cargamento de unas 700 toneladas llegó al Callao, según informó el diario “El Comercio” en marzo de 1853, a bordo del vapor “Coquimbo”, luego de una larga navegación que incluyó doblar el Cabo de Hornos. Ese hielo importado costaba la mitad de la nieve que se traía de la Cordillera de los Andes a Lima. Hay otros casos de comercio del agua real. Así, Chile y Bolivia entablaron negociaciones para llegar a un acuerdo, en virtud del cual el primero usaría aguas del segundo (Río Silala) mediante el pago de una compensación económica por parte de empresarios chilenos, que dependería del aprovechamiento que se obtuviese del agua.

Como los tres planteamientos mencionados no han sido suficientes para satisfacer la demanda ha surgido un cuarto planteamiento que se apoya en el concepto de Agua Virtual.

### El concepto de Agua Virtual



Para suplir la escasez de agua muchos países optan por un cuarto planteamiento, cuya trascendencia ha sido reconocida recientemente, que consiste en la importación de alimentos y de otros bienes para cuya producción se usó grandes cantidades de agua en sus lugares de origen. De acá parte el concepto de Agua Virtual (*Virtual water*)

introducido en 1993 por John Anthony (Tony) Allan, de la Escuela de Estudios Orientales y Africanos, de la Universidad de Londres. El Agua Virtual es la cantidad de agua requerida para producir algo, originalmente alimentos de origen agrícola, incluyendo además de la producción propiamente dicha, el embalaje y el transporte. Al establecer el concepto de Agua Virtual un vínculo entre el agua, los alimentos y el comercio exterior tiene gran trascendencia en la Gestión del Agua.

Dice Tony Allan que el Agua Virtual es un recurso “ignorado por los hidrólogos” y que debe verse como una “metáfora útil”. Y añade: “Se dice que el agua es virtual porque, una vez que el trigo ha madurado, la verdadera cantidad de agua utilizada para su cultivo no está contenida en el trigo. El concepto de agua virtual nos ayuda a entender cuánta agua se requiere para producir distintos tipos de bienes y servicios. En zonas áridas y semiáridas conocer el valor del agua virtual contenida en un bien o servicio resulta muy útil para determinar la mejor forma de usar la escasa agua disponible”. En consecuencia, cuando un país importa alimentos, u otros bienes, está importando la cantidad de Agua Virtual equivalente. Por eso algunos autores la llaman Agua Exógena.

Al iniciar Allan sus estudios sobre la vinculación del Agua Virtual con el comercio exterior observó que la región conformada por el Medio Oriente y el Norte de África (conocida como MENA por su sigla en inglés), que incluye unos veinte países, importaba anualmente no menos de 50 millones de toneladas de cereales. Estos productos requerían en sus países de origen unos 50 000 millones de metros cúbicos de agua ( $50 \text{ km}^3$  por año ó  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ), lo que representaba una cantidad prácticamente igual a la que el Nilo aportaba anualmente a Egipto. También puede apreciarse la magnitud relativa de esa cantidad de agua cuando se comprueba que equivale a la tercera parte de los recursos hidráulicos de la región mencionada (MENA).



Resulta claro que esos países del Oriente Medio y del Norte de África (MENA), así como los de otras partes del mundo, buscan la manera de superar su escasez de agua y, en consecuencia, de alimentos, importando cereales. Para producir un kilogramo de granos se requiere una ó dos toneladas de agua. En un país árido se requeriría 4 ó 5 toneladas. El Agua Virtual es, pues, una fuente alternativa de agua. Como esto no siempre es evidente, al Agua Virtual se le llama Agua Invisible.

Para comprender claramente el concepto de Agua Virtual basta con recordar que para producir y procesar 1 kilogramo de arroz se requiere aproximadamente 4 toneladas de agua. En consecuencia, el Agua Virtual representativa de 1 kilogramo de arroz es 4 toneladas de agua.



El conocimiento de la cantidad de Agua Virtual correspondiente a diversos productos puede ayudarnos a comprender mejor el valor del agua y la necesidad de usarla bien.

### El contenido de Agua Virtual

Los productos de origen animal representan una cantidad de Agua Virtual mucho mayor que la de los productos agrícolas y, en general, mientras mayor sea el grado de procesamiento de un producto, mayor será su contenido de Agua Virtual. Se ha determinado que una alimentación basada en productos animales tiene un mayor consumo de agua que una dieta vegetariana (un promedio de 4000 litros de agua al día por persona frente a 1500). Para producir 1 kilogramo de carne de res se requiere 22 toneladas de agua. El contenido de Agua Virtual de una taza de café es de 140 litros.



**1 kg de carne de vacuno:  
22 toneladas de agua.**



**Una taza de café:  
140 litros de agua.**

Mientras mayor sea el grado de procesamiento de un producto, mayor será su contenido de Agua Virtual. En la siguiente Tabla se aprecia el Agua Virtual contenida en diversos productos.

PRODUCTO	AGUA VIRTUAL
1 kg de trigo	1 tonelada
1 kg de arroz	4 toneladas
1 kg de leche	1 tonelada
1 kg de queso	5 toneladas
1 kg de carne de cerdo	5 toneladas
1 kg de carne de res	22 toneladas
1 polo de algodón	4000 litros
1 hamburguesa	2500 litros
1 taza de café	140 litros
1 vaso de cerveza	75 litros
1 hoja de papel A4	10 litros
Un automóvil	150 toneladas
Una tonelada de acero	300 toneladas

### Importancia del Agua Virtual

El tema del Agua Virtual fue tratado ampliamente durante el Tercer Foro Mundial del Agua celebrado en Kioto en marzo 2003, durante el cual se dedicó una sesión al tema “Comercio de Agua Virtual y Geopolítica”, lo que demuestra su importancia. Uno de los objetivos de la sesión era crear un mejor entendimiento de los conceptos de Agua Virtual y de Comercio de Agua Virtual y cambiar ideas sobre su importancia y las consecuencias de su aplicación.

El uso del concepto de Agua Virtual es multidisciplinario y se ha extendido mucho despertando un interés creciente, tanto en los científicos como en los ingenieros especialistas en Recursos Hidráulicos, agrónomos, sociólogos, economistas y expertos en política exterior. Se aplica, por extensión, a productos no agrícolas, bienes y servicios en general y aun a la hidroelectricidad, para la cual el Agua Virtual representa el volumen de agua necesario para generar una unidad dada de energía.

Por su creación se le otorgó al profesor Allan, en marzo de 2008, el Premio Estocolmo del Agua. El Instituto Internacional del Agua de Estocolmo, al otorgarle el premio expresó que: “La aplicación del concepto de Agua Virtual potencia el uso del comercio para aliviar la

escasez de agua en algunas regiones y emplear de forma más eficaz los recursos hidráulicos”.

Todo este desarrollo sobre el significado e importancia del Agua Virtual implica reconocer que el agua no es sólo un bien social y ambiental, sino también un bien económico, lo que no significa que sea una mercancía. Allí donde el agua es escasa resulta indispensable tratarla como un bien económico y, en consecuencia, planificar su uso y cobrar los costos involucrados para lograr su aprovechamiento.

*“La aplicación del concepto de Agua Virtual potencia el uso del comercio para aliviar la escasez de agua en algunas regiones y emplear de forma más eficaz los recursos hidráulicos”.*

INSTITUTO INTERNACIONAL DEL AGUA, DE ESTOCOLMO

Desde hace varios años se viene diciendo que las guerras del futuro no serán por el petróleo, sino por el agua. Pero, ahora se señala también que ellas no se desarrollarán con tanques y cohetes en los campos de batalla, sino en las mesas de negociaciones de “los mercaderes del Agua Virtual”.

El concepto de Agua Virtual es necesario para calcular qué parte de los recursos mundiales de agua usa un país determinado.

### La Huella Hídrica

El año 2002 el Dr. Arjen Y. Hoekstra, ingeniero civil, graduado en Delft, profesor de Gestión Multidisciplinaria del Agua en la Universidad de Twente, Holanda, estableció un concepto muy interesante al que llamó Huella Hídrica o Hidrológica (*Water footprint*). La Huella Hídrica “de un país (o industria, o persona) se define como el volumen de agua necesario para la producción de los bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicho país (o industria, o persona).” Es, pues, la cantidad total de agua utilizada para el sostenimiento de una unidad poblacional y es un indicador más útil que los tradicionalmente utilizados. Generalmente se le expresa en forma anual.



Según los cálculos de Mekonnen y Hoekstra, para el periodo 1996-2005, la Huella Hídrica total de nuestro planeta fue de 9087 km<sup>3</sup>/año (en la actualidad el 10% del Agua Verde, aproximadamente), lo que representaba alrededor de 1385 m<sup>3</sup>/hab/año. Hay países como Estados Unidos que estaban por encima de ese promedio, con 2842 m<sup>3</sup>/hab/año, y otros por debajo como India (1089 m<sup>3</sup>/hab/año) o China (1071 m<sup>3</sup>/hab/año). La Huella Hídrica de una nación tiene dos componentes: a) La interna, producida en el país, y b) La externa, producida fuera del país.

La Huella Hídrica Interna es la cantidad de agua generada dentro de un país, y usada en la producción de bienes y servicios. La Huella Hídrica Externa considera la cantidad de agua que se utilizó en el exterior para la producción de determinados bienes que en forma de Agua Virtual llegaron importados y fueron consumidos en ese país. La Huella Hídrica de un país es la suma del agua usada producida internamente más la importación neta de Agua Virtual.

Como hay países en los que muchos de los alimentos que se consumen se producen fuera, resulta que el consumo real de agua es mayor que la cantidad de agua existente en el país. También puede ocurrir lo contrario. El concepto de Huella Hídrica es útil para determinar cuanta agua de los recursos mundiales usa cada país. En consecuencia, el Agua Virtual “constituye una herramienta para el cálculo del uso real de agua por parte de un país determinado”. Todo esto contribuirá a un mejor manejo del agua, considerada como un recurso planetario.

La UNESCO señala que “El concepto de huella hídrica fue desarrollado de manera análoga al de “Huella Ecológica” (*Ecological footprint*), que fue introducido durante la década de los 90. La huella ecológica de una población representa el área de tierra productiva y ecosistemas acuáticos necesarios para producir los recursos empleados por dicha población y para eliminar sus residuos, tomando en consideración un determinado nivel de vida, e independientemente del lugar geográfico en que dichas tierras se encuentren. Por tanto, si este concepto indica la cantidad de terreno que necesita una comunidad para satisfacer todas sus necesidades, el de huella hídrica representa la cantidad de agua que hace falta para sostener la actividad de una población.”

### Importación y Exportación de Agua Virtual

Dado que el cuarto planteamiento antes mencionado busca compensar las carencias de alimentos mediante su importación, los problemas del agua no pueden examinarse exclusivamente dentro de la problemática de una cuenca o una región, sino como parte del comercio entre las naciones. Usualmente, los países escasos de agua tienden a importar productos con un alto contenido de Agua Virtual y a exportar productos con un bajo contenido de ella.

Para la satisfacción de la demanda de alimentos agrícolas en las zonas áridas y semiáridas hay dos posibilidades. Una, es transportar el agua requerida hasta las áreas de riego, lo que implica, por lo general, un

costoso sistema de presas, canales y túneles, como se ha mencionado anteriormente.



La otra posibilidad es producir los alimentos en el lugar en el que hay agua y transportarlos al lugar de consumo. Surge entonces la pregunta ¿no es más barato transportar 1 kilogramo de arroz que 4 toneladas de agua? No puede dejar de tenerse presente que en el mundo contemporáneo el transporte de mercaderías se ha abaratado y agilizado muchísimo.

Como se ha expuesto, hay zonas habitadas de la Tierra en las que el agua es muy escasa. Se sabe que esta escasez irá en aumento por el crecimiento exponencial de la demanda. Es entonces cuando aparece la otra forma de solucionar la escasez, que consiste en importar bienes en cuya producción se empleó grandes cantidades de agua. Es así como se importa Agua Virtual. Aparecen entonces los países que podrían llamarse “hidrodependientes”. No es agua lo que se comercia, dice Allan, sino alimentos. Se produce un flujo de Agua Virtual entre las naciones lo que da lugar al correspondiente mercado.

**“AGUA ESCASA, AGUA CARA”**

### El Mercado de Agua Virtual

En muchos países se importa alimentos, eventualmente subvencionados, principalmente trigo, soya, arroz y maíz. El trigo representa alrededor del 30% del comercio mundial de alimentos (expresado en función de la cantidad de agua involucrada). Sucede lo mismo en el Perú, pues somos importadores de muchos productos agrícolas. Aparece entonces algo así como un mercado de Agua Virtual. Podría considerarse también que el Agua Virtual de un bien corresponde a la cantidad de agua que demandaría su producción en el país de destino y no en el de producción, puesto que las condiciones son diferentes en ambos escenarios.

El comercio de Agua Virtual se realiza continuamente entre los países y representa alrededor de un 20% del agua que se usa en el mundo. En general, Norteamérica exporta Agua Virtual y Asia la importa. Hay países como Australia, Estados Unidos, Canadá, Argentina, Brasil y Tailandia que exportan grandes cantidades de Agua Virtual, en tanto que otros, como Sri Lanka, Japón, Italia, el Reino Unido, Alemania, Corea del Sur, China y los Países Bajos la importan también en grandes cantidades.



Dado que hay países que exportan e importan Agua Virtual se debe calcular, en cada caso, el valor neto correspondiente.



Generalmente se piensa que los países que tienen escasez de agua no deberían exportar bienes en cuya producción se emplea gran cantidad de agua. Es así como se decía que Israel no debería exportar frutas; sin embargo, el problema debe mirarse desde una perspectiva más amplia: Israel exporta 0,7 km<sup>3</sup> de Agua Virtual anualmente, pero importa 6,9 km<sup>3</sup>, según señalan Hoekstra y Hung. Naturalmente, que esto debe examinarse a la luz del valor de los bienes involucrados.

El ingeniero Mamdouh Shahin, estudioso de los problemas hidrológicos del Medio Oriente, manifiesta que “Las importaciones de alimentos son más estratégicas que las importaciones de petróleo. Se puede vivir sin petróleo, pero no sin comer. Si los países productores de trigo decidieran dejar de subvencionar a sus agricultores, el alza consiguiente de los precios tornaría aún más vulnerables a los países importadores.”

### Dos casos críticos

Es interesante, sólo para presentar dos casos, empezar con lo que sucede en la lejana Jordania, país muy árido que sólo dispone de 175 m<sup>3</sup>/hab/año. Su consumo total de agua (Huella Hídrica) es de 7000 millones de m<sup>3</sup> por año (7 km<sup>3</sup>/año) y las fuentes propias (internas) le suministran sólo 1000 millones de metros cúbicos por año. La

diferencia, el 86% de su consumo total (6 km<sup>3</sup>/año), la obtiene importando Agua Virtual.

CONSUMO DE AGUA (HUELLA HÍDRICA) DE JORDANIA	
Consumo total:	7 000 millones de m <sup>3</sup> por año
Propias fuentes:	1 000 millones de m <sup>3</sup> por año (14%)
Agua Virtual Imp. :	6 000 millones de m <sup>3</sup> por año (86%)

La interpretación económica de este desbalance tiene que examinarse bajo la consideración de que Jordania importa grandes cantidades de Agua Virtual asociada a los cereales, cuyo valor es bajo, y exporta cítricos y hortalizas de alto valor en el mercado. Pero, ¿cuánto tiempo se mantendrá esta situación?

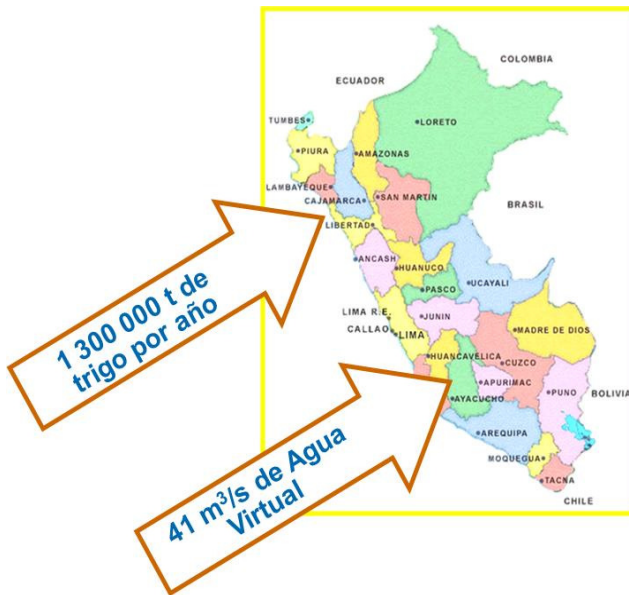


El otro caso crítico, aunque de diverso origen, es el del Perú en el que como una muestra de la desigual distribución espacial del agua, o de la ocupación territorial, bastaría con recordar que la costa peruana, donde vive largamente más de la mitad de la población nacional, dispone de menos del 2% de los recursos hidráulicos superficiales del país. Si hiciéramos un cálculo de la disponibilidad de agua para la costa peruana llegaríamos a la alarmante cifra de 1500 a 2000 m<sup>3</sup>/hab/año. Y, como si esto fuera poco, se podría añadir que Lima, la ciudad capital, donde vive casi la tercera parte de la población nacional, sólo cuenta con los 5/10 000 de la disponibilidad nacional de agua superficial.

El caso de Lima es interesante, y preocupante. Las escasas aguas de sus tres ríos (Rímac, Chillón y Lurín) se dedican casi íntegramente al abastecimiento poblacional (salvo pequeñas cantidades, decrecientes, que van a la industria y a la agricultura). Para satisfacer las necesidades de la población se ha pensado en trasvases, manejo de la demanda y otras soluciones. Se recurre en gran medida al Agua Virtual que ingresa a Lima, asociada a los alimentos y a los productos industriales.

A esta situación se ha llegado paulatinamente. En el diario “El Comercio” de Lima, del 31 de agosto de 1850 leemos lo siguiente: “La cantidad de agua que suministra el río Rímac es insuficiente para el cultivo de los siete valles que fertiliza con su riego.” “Lo escaso y aun precario de nuestra agricultura en los valles que rodean a nuestra capital, ha hecho pensar en distintas ocasiones en la forma de aumentar las aguas de su río, el Rímac, viendo el modo de traer agua de las lagunas y

vertientes que forman las nieves que de diciembre a marzo caen todos los años en la cordillera de los Andes. El gran problema de la capital y sus valles, dentro de pocos años, será la falta de agua.” Este párrafo debería interpretarse dentro de la idea del Agua Virtual en el mundo del siglo XXI sujeto al anunciado Cambio Climático.



El Perú, a pesar de la gran cantidad de agua que posee, importa anualmente cientos de miles de dólares en alimentos. Importa alrededor de 1 300 000 toneladas de trigo, el 90% de su consumo, lo que representa un Flujo de Agua Virtual de 41 m<sup>3</sup>/s (1320 millones de metros cúbicos de agua por año). A esto se añade que importa el 75% de los aceites vegetales y el 27% de la leche que consume. Algunos de estos productos son

subsidados en sus países de origen, lo que distorsiona fuertemente nuestra economía. De acá que las súbitas alzas de los productos agrícolas en el mercado mundial nos impacten fuertemente. En consecuencia, los sistemas hidráulicos no pueden independizarse de la política económica internacional, pues están involucrados dentro de ella y no sabemos qué ocurrirá en el futuro, por lo que es necesario hacer un balance del flujo de agua real y Virtual.

### El Balance Comercial Hídrico

La idea de Balance Hidrológico, o Hídrico, corresponde a la comparación entre la oferta y la demanda de agua para un país, región o comarca. La oferta incluye todas las posibilidades utilizables, como la lluvia (Agua Verde), el agua superficial, subterránea y de cualquier otro origen. La demanda corresponde a todos los usos del agua, tales como abastecimiento poblacional, riego, energía, industrias y el tan olvidado uso ecológico (biológico o sanitario). Como consecuencia de ese Balance se obtiene una situación que puede ser de equilibrio, de déficit o de excedentes de agua. Usualmente, el déficit ha venido siendo resuelto mediante la ejecución de obras de ingeniería (presas, regulaciones,

trasvases). Más recientemente se ha intentado un mejor manejo del agua.

Surge así la necesidad de realizar una eficiente Gestión de la Oferta y de la Demanda de Agua, a las que se les debe prestar particular atención. Es una tarea que nos compete a todos en la medida en la que nadie está exento de los usos y aprovechamiento del agua. Por ello el 22 de marzo de cada año ha sido declarado “El Día Mundial del Agua”.

Cuando se trata de determinar la cantidad total de agua que usa un país (es decir, su “Huella Hídrica”) es indispensable introducir el concepto de Agua Virtual, añadiendo al agua producida y consumida dentro de él, la diferencia entre la importación y exportación de Agua Virtual. Se obtiene así el Balance Comercial Hídrico, como se muestra a continuación:

$$\text{AGUA UTILIZADA} = \text{AGUA PRODUCIDA} + \text{AGUA VIRTUAL IMPORTADA} - \text{AGUA VIRTUAL EXPORTADA}$$

La cantidad de agua utilizada es la Huella Hídrica. Como se ve, el balance completo debe incluir tanto las importaciones como las exportaciones de Agua Virtual que realiza un país o una región. A esa diferencia se le llama importación o exportación neta de Agua Virtual. Este balance resulta muy útil para que un país conozca sus necesidades totales de agua y su disponibilidad nacional de agua. La consideración del Agua Virtual hace que el balance sea útil y realista y que pueda proyectarse a futuro bajo diversos escenarios del clima, de la economía y de la política mundial. En algunos países puede resultar útil realizar un Balance Comercial Hídrico Interno entre sus regiones áridas y húmedas. En el Perú, sería muy útil para comprender y ayudar a resolver sus desequilibrios hidráulicos internos.

En los Cuadros Nº 1 y Nº 2 se aprecia los diez principales países exportadores e importadores netos de Agua Virtual, respectivamente, para el periodo 1997-2001, según los estudios realizados por Chapagain y Hoekstra (UNESCO). Estos valores son fluctuantes en el tiempo y, por lo tanto, dichos cuadros son solo referenciales. Así por ejemplo, las circunstancias climáticas o económicas en uno o más países pueden introducir cambios importantes en el flujo de Agua Virtual. Los anunciados efectos del Cambio Climático cambiarían radicalmente la situación existente. Las guerras, los terremotos, el Fenómeno El Niño, las sequías y otros eventos suelen introducir cambios temporales en el flujo de Agua Virtual.

## CUADRO N° 1

### PRINCIPALES PAÍSES EXPORTADORES NETOS DE AGUA VIRTUAL

#### Flujos de Agua Virtual (Gm<sup>3</sup>/año)

Países con exportación neta	Exportación	Importación	Exportación neta
Australia	73	9	64
Canadá	95	35	60
Estados Unidos	229	176	53
Argentina	51	6	45
Brasil	68	23	45
Costa de Marfil	35	2	33
Tailandia	43	15	28
India	43	17	26
Ghana	20	2	18
Ucrania	21	4	17

## CUADRO N° 2

### PRINCIPALES PAÍSES IMPORTADORES NETOS DE AGUA VIRTUAL

#### Flujos de Agua Virtual (Gm<sup>3</sup>/año)

Países con importación neta	Importación	Exportación	Importación neta
Japón	98	7	91
Italia	89	38	51
Reino Unido	64	18	46
Alemania	106	70	36
Corea del Sur	39	7	32
México	50	21	29
Hong Kong	28	1	27
Irán	19	5	14
España	45	31	14
Arabia Saudita	12	1	11

Lo expuesto nos lleva al convencimiento de que la Oferta y Demanda de Agua deben estudiarse en nuestro país teniendo en cuenta los escenarios futuros que puedan presentarse. Lamentablemente, hemos avanzado muy poco en este aspecto del problema.

### Reflexiones finales

1. Es un hecho innegable que la demanda mundial de agua sigue aumentando cada vez más rápidamente, lo que se debe al incremento de la población y a su deseo de tener una mejor calidad de vida, lo que obliga a manejos cuidadosos de la Oferta y de la Demanda de Agua.
2. Muchas naciones buscan compensar su escasez de agua importando bienes, principalmente alimentos, en cuya producción se empleó grandes cantidades de agua; es decir, importando Agua Virtual.
3. Estas consideraciones llevaron al profesor Allan a relacionar el agua, los alimentos y el comercio y a expresar que el concepto de Agua Virtual fue desarrollado para explicar cómo es que la escasez de agua de los países áridos se mitiga mediante la importación de productos agrícolas de altos requerimientos de agua.
4. El concepto de Agua Virtual resulta indispensable para calcular la Huella Hídrica, es decir, para determinar qué parte de los recursos mundiales de agua toma para su uso la población de un país determinado.
5. Teóricamente, un país con escasez de agua podría no desarrollar grandes proyectos hidráulicos y, en cambio, importar todo lo que necesita en materia de productos agrícolas y de otros bienes y así dependería totalmente del Agua Virtual. Sería un país “hidrodependiente”.
6. Es muy grave que un país tenga una fuerte dependencia de la importación de Agua Virtual. Esto no es social ni políticamente aceptable; cada país debería tener “autonomía hídrica” (“independencia hidrológica”) y “soberanía alimentaria” (“autosuficiencia alimentaria”).

7. Frente a la escasez creciente de agua podría llegar el momento en el que los países exportadores de Agua Virtual dejen de serlo, por imposibilidad física o por decisión política. Es entonces cuando se vería las graves consecuencias de depender de la importación de Agua Virtual. Podemos, pues, preguntarnos: ¿Qué pasará en el futuro con los precios de los productos agrícolas? ¿Es que determinados países siempre estarán dispuestos a exportar Agua Virtual?
8. Algunos analistas sostienen que los ingenieros son opuestos a depender del Agua Virtual porque con ella desaparece la necesidad de construir obras de aprovechamiento hidráulico como presas, canales y túneles. Sin embargo, lo que los ingenieros desean es que su país tenga independencia hidrológica, que genere su propia energía, que transforme sus desiertos en tierra fértil, y que la población y la industria puedan satisfacer cómodamente sus necesidades de agua.
9. En un país como el Perú, a pesar de los grandes recursos hidráulicos que tiene, es indispensable ir al uso racional del agua. Esto implica la Gestión de la Oferta y de la Demanda de Agua considerando escenarios futuros asociados a fenómenos naturales y a eventos originados por el hombre que puedan ocasionar situación de desastre.
10. En el Perú deberíamos conocer la Huella Hídrica del país y de cada Región y las implicancias del Agua Virtual en nuestro abastecimiento de agua futuro bajo diversos escenarios.
11. La labor que realiza la ingeniería en la transformación del territorio árido para hacer posible la agricultura mediante la construcción de obras de irrigación, no es sólo una forma de producir alimentos, sino de obtener el máximo beneficio del agua mediante los proyectos de propósito múltiple, así como de ocupar el territorio y de evitar la desertificación. Debemos, pues, aspirar a la independencia hidrológica y a la soberanía alimentaria, para lo que es indispensable hacer un uso racional del agua. He ahí un gran reto para la ingeniería y para el desarrollo nacional en un mundo esencialmente cambiante.

### Referencias

1. ALLAN J. A. **Los peligros del agua virtual**. El Correo, UNESCO.
2. ALLAN J. A. **A convenient solution**. El Correo, UNESCO, February 1999.

3. ALLAN J. A. (Tony) **Virtual Water-the Water, Food and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?** IWRA, Water International, Volume 28 Number 1, March 2003.
4. CHAPAGAIN A. K. y HOEKSTRA A. Y. **Water Footprints of Nations.** UNESCO-IHE, Delft, November 2004.
5. CHAPAGAIN A. K. y HOEKSTRA A. Y. **Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows in Relation to the International Trade of Agricultural Products.** UNESCO-IHE, Delft, Institute for Water Education.
6. CHAPAGAIN A. K. **Globalization of water: Opportunities and Threats of Virtual Water Trade.** UNESCO-IHE Institute, Delft, 2006.
7. "EL COMERCIO". **Nota periodística.** Lima, 18 de marzo de 1853.
8. GONZÁLEZ Jadlyn y GUEVARA Edilberto (Facilitador). **Huella Hídrica.** Dirección de Postgrado de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela, abril 2009.
9. HADDADIN Munther J. **The War that Never Was.** The Brown Journal of World Affairs. Volume IX, Issue 2, Winter/Spring 2003.
10. HOEKSTRA Arjen Y. **The Water Footprint of Food.** University of Twente, Holanda.
11. HOEKSTRA A.Y. y HUNG P.Q. **Virtual Water Trade - A Quantification Of Virtual Water Flows Between Nations In Relation to International Crop Trade.** IHE Delft, 2002.
12. INSTITUTE FOR SOCIAL-ECOLOGICAL RESEARCH. **Virtual Water Trade. Documentation of an International Expert Workshop.** Frankfurt/Main, Germany, 2006.
13. IZA Alejandro. **Agua Virtual.** Centro de Derecho Ambiental-Bonn-UICN.
14. LLAMAS MADURGA Manuel Ramón. **Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos.** Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Discurso Inaugural del Año Académico 2005-2006, Madrid, España, 2005.
15. MEKONNEN M. M. y HOEKSTRA A.Y. **National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption.** UNESCO-IHE, May 2011.
16. OTCHET Amy. **Un espejismo económico.** El Correo, UNESCO, 1999.
17. QUINN Frank **Water Diversion, Export and Canada-US Relations: A Brief History.** Munk Centre for International Studies, University of Toronto, Canada, August 2007.
18. RENDON SCHNEIR Eric. **Exportaciones agrarias y gestión sostenible del agua en la Costa Peruana: el caso del valle de Ica.** XXVIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Estudios Latinoamericanos. Rio de Janeiro – Brasil. Junio 2009
19. ROCHA FELICES Arturo. **Regiones Políticas y Comarcas Hidráulicas.** Revista Técnica del Capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros del Perú-CDL, Año 9 N° 40, 2009.
20. ROCHA FELICES Arturo. **El Agua Virtual en el mundo del siglo XXI.** XVII CONEIC, UNI, Lima, 2009.
21. ROCHA FELICES Arturo. **¿Qué hacer con los grandes proyectos hidráulicos de la costa norperuana?** Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional, Revista INGENIERÍA, N° 2, octubre 2007.
22. ROCHA FELICES Arturo. **El agua, manantial de vida, propiedad de todos.** Conferencia Magistral. Día del Ingeniero. Colegio de Ingenieros del Perú- Consejo Nacional, Lima. junio 2007.
23. ROCHA FELICES Arturo. **El agua, fuente de vida.** TUM Alumni Seminar 2006. Die Verbesserung der Lebensqualität durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen in städtischen und ländlichen Bereichen Lateinamerikas. Lima, setiembre 2006.



24. ROCHA FELICES Arturo. **Gestión y valoración del agua en relación con el ambiente y el desarrollo nacional.** Universidad Nacional de Ingeniería, octubre 2005.
25. ROCHA FELICES Arturo. **El agua, recurso vital propiedad de todos.** Revista Técnica del Capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros del Perú-CDL, Año 6 N° 27, 2002.
26. ROCHA FELICES Arturo. **Agua para Lima en el Siglo XXI.** Libro publicado por el Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú, 1996.
27. ROCHA FELICES Arturo. **Recursos Hidráulicos.** Libro publicado por el Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingeniería Civil. Colección del Ingeniero Civil, Lima, 1993.
28. TAIKAN OKI y otros. **Virtual Water Trade to Japan and in the World.** Research Institute for Humanity and Nature, Japón.
29. TURTON, A. R. y otros. **An Analysis of the Role of Virtual Water in Southern Africa in Meeting Water Scarcity: an Applied Research and Capacity Building Project.** World Conservation Union (IUCN) NETCAB, Pretoria University. Republic of South Africa.
30. TURTON Anthony. **Getting Back to Basics: The Hydrological Cycle Revisited From a Virtual Water Perspective.** University of Pretoria, Republic of South Africa.■