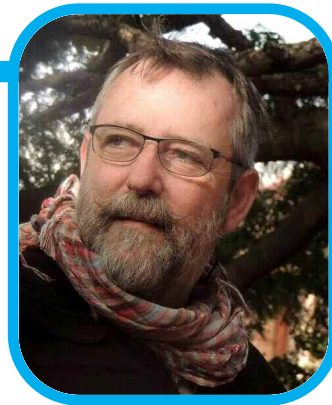




Del cometa a tu vaso



Eduardo L. Piovano
Doctor en Ciencias Geológicas
Investigador independiente del CONICET
Docente de la Escuela de Geología, FCEFYN,
Universidad Nacional de Córdoba

El largo camino del agua

El nuestro es el único planeta del sistema solar que posee la mayor parte de su superficie cubierta por agua en estado líquido. En el medio terrestre ésta se desplaza dentro de cuencas hidrológicas que constituyen una fuente de gran riqueza para el desarrollo de la vida. El agua circula sin reconocer “límites políticos”, por eso, su manejo debe ser realizado de manera conjunta entre los diferentes países, provincias o comunidades que se encuentran dentro de un misma cuenca.

El agua de la Tierra proviene de cometas y asteroides que colisionaron con ésta mientras se formaba hace más de 4.000 millones de años. Al observar la Tierra desde el espacio, los astronautas quedaron sorprendidos al ver que habitamos un maravilloso Planeta Azul, cubierto en gran parte por vastos océanos, continentes verdes, casquetes blancos en los polos y nubes de las más diversas formas a su alrededor. Como resultado de su distancia al Sol, la Tierra es el único planeta en el sistema solar que posee la mayor parte de su superficie cubierta por agua líquida, aunque ésta también se encuentra en estado sólido en los glaciares y casquetes polares y como vapor de agua en la atmósfera. Con respecto a nuestros planetas vecinos, de existir agua en Venus, las altas temperaturas harían que se encuentre como vapor en la atmósfera; mientras que en Marte, más alejado del Sol con respecto a Venus y la Tierra, el agua estaría totalmente congelada.

En nuestro planeta el agua se encuentra aproximadamente hasta los 15 km de altura en la atmósfera y, en promedio, hasta 1 km por debajo de la superficie en un gran número de reservorios o almacenamientos tales como los océanos, lagos, ríos, humedales, agua subterránea, glaciares, casquetes polares, los que en su conjunto constituyen la Hidrósfera (*hydro*: agua y *sphaira*; esfera). El agua permanece a lo largo de diferentes



Figura 1. Vertiente de agua en el nacimiento del río Los Hornillos. Sierras Grande de Córdoba. Foto: E. Piovano.

períodos de tiempo en cada uno de los reservorios que integran la hidrósfera, los cuales están interconectados entre sí. Si observamos lo que ocurre durante una lluvia notaremos que el agua sigue un intrincado laberinto de caminos, pudiendo ser interceptada por las hojas de las plantas, o llegar por goteo a la superficie e infiltrarse en el suelo, aflorar en una vertiente (Figura 1), escurrir y llegar a un arroyo y formar un río, o a un lago y allí permanecer un largo tiempo o volver rápidamente a la atmósfera por evaporación desde su superficie.

En nuestro planeta el agua se encuentra aproximadamente hasta los 15 km de altura en la atmósfera y, en promedio, hasta 1 km por debajo de la superficie en un gran número de reservorios o almacenamientos tales como los océanos, lagos, ríos, humedales, agua subterránea, glaciares y casquetes polares, los que en su conjunto constituyen la Hidrósfera

El camino del agua

El camino que sigue el agua entre los distintos almacenamientos o reservorios se conoce como Ciclo Hidrológico. Podría iniciarse en la evaporación de los océanos o en la transpiración de las plantas hacia la atmósfera y desde allí retornar a la

Figura 2. Ciclo del Agua y los procesos verticales (precipitación, evaporación, transpiración, infiltración en el suelo) y horizontales (escurrimientos) que comunican los reservorios de la hidrósfera. (Tomado de <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>)





Figura 3. El agua presta servicios ecosistémicos vinculando a la hidrósfera con la biota. Los servicios ecosistémicos comprenden una multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad y sus principales causas de degradación están vinculadas con la actividad humana.

superficie por las precipitaciones, para volver por escurrimiento a través de los ríos nuevamente a los océanos, o bien podría quedar capturada en la biósfera, almacenada como agua subterránea o retenida en glaciares durante miles de años (Figura 2). Este ciclo no tiene ni principio ni fin.

Los océanos representan el 96,5 % de la hidrósfera, seguido por los depósitos de hielo que incluyen a los glaciares, nieve y casquetes polares conformando apenas el 1,7 % del total. En lo que respecta al agua dulce, su fuente más importante proviene del reservorio subte-

Diversos estudios sobre cambios recientes en el ciclo hidrológico mundial pusieron en evidencia que en la segunda mitad del siglo XX hubo una mayor tendencia a sufrir escorrentías, inundaciones y sequías, así como otros fenómenos climáticos a nivel regional y mundial, confirmando que el ciclo hidrológico se ha intensificado

rráneo (0,8 %) quedando muy subordinado el porcentaje de agua superficial en lagos, ríos, humedales y suelos.

El camino del agua puede presentar aceleración o retraso en algún sector de sus múltiples recorridos como

resultado de factores naturales (e.g, aumento del efecto invernadero de la atmósfera debido a la actividad volcánica) o por la interferencia producida por la actividad humana (e.g, emisión de gases, modificación de cuencas, entre otros). Diversos estudios sobre cambios recientes en el ciclo hidrológico mundial pusieron en evidencia que en la segunda mitad del siglo XX hubo una mayor tendencia a sufrir escorrentías, inundaciones y sequías, así como otros fenómenos climáticos a nivel regional y mundial, confirmando que el ciclo hidrológico se ha intensificado. La modificación del ciclo hidrológico implica una inevitable repercusión entre el ambiente y el agua, es decir sobre los servicios ecosistémicos, que son la base para el desarrollo sustentable de la humanidad (Figura 3). Hay cuatro requisitos básicos para asegurar la perdurabilidad de la población humana en la Tierra: a) agua dulce, b) alimentos, c) energía y d) disponibilidad de espacio habitable. De todos éstos, la pérdida del agua dulce es el factor de mayor amenaza.

Cambios en el ciclo hidrológico: El aumento de las precipitaciones en el centro de la Argentina

La región ubicada en el sudeste del continente sudamericano está habitada por más de 200 millones de

personas y genera casi la totalidad de la producción hidroeléctrica y cerealera de los países que la integran (Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay). La circulación atmosférica de esta región, controlada por el Sistema Monzónico Sudamericano, ha sufrido un cambio notable desde la década del '70 cuando se produjo uno de los mayores incrementos en las precipitaciones a escala global. El cambio hidroclimático ha tenido un impacto muy profundo sobre las actividades que dependen del recurso agua. Por otra parte, el aumento en las precipitaciones repercutió dramáticamente en algunas localidades ubicadas en el litoral de lagunas de la región Pampeana (por ejemplo, Miramar en Córdoba, Melincué en Santa Fe o Carhué en Buenos Aires) que comenzaron a poblarse desde fines del siglo XIX durante un escenario hidrológico de sequías extensivas. En consecuencia, el nuevo escenario con mayores precipitaciones y aumento de nivel de las lagunas (Figura 4), sorprendió a las poblaciones costeras que se habían desarrollado cuando el agua no era una amenaza para los habitantes.

La laguna Mar Chiquita (Córdoba), uno de los sistemas lacustres salinos más grande del mundo, es un claro ejemplo de la modificación del ciclo hidrológico generado por el aumento de las precipitaciones. Su nivel se incrementó a partir de mediados de la década del '70. Las alturas de la línea de costa han sido muy cambiantes, con notables variaciones; por ejemplo, ocurrieron

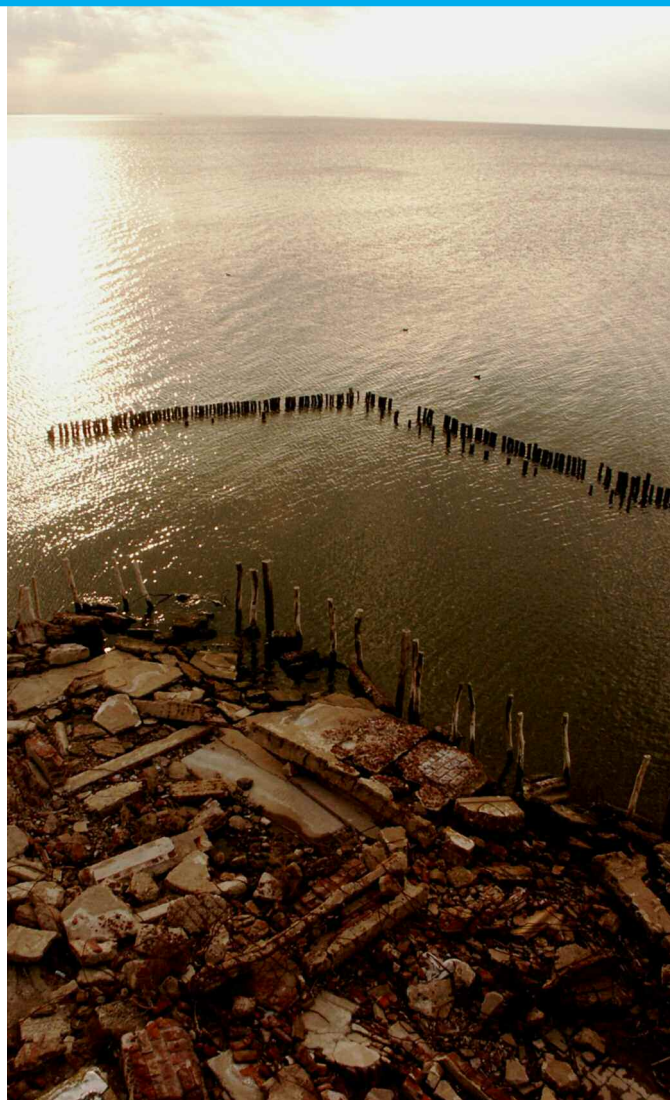


Figura 4. Región costera de Miramar afectada por el aumento de la laguna Mar Chiquita. Pueden verse diferentes protecciones o "empalzados" efectuados durante el aumento de nivel de la laguna para resguardar las construcciones de la erosión por el oleaje. Foto: E. Piovano.

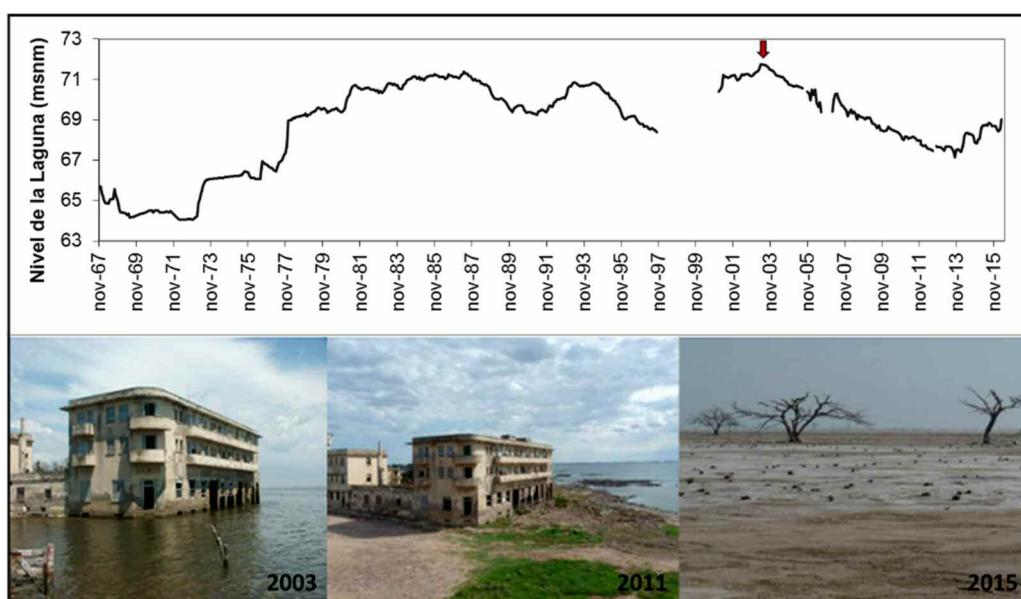


Figura 5. Curva de variación de la altura de línea de costa de la Laguna Mar Chiquita para el período Noviembre 1967 - Abril 2016. Nótese el máximo alcanzado en el año 2003 y la tendencia creciente luego del año 2013. Parte de la información ha sido tomada de Promar, Centro de Zoología Aplicada, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC. Mitad inferior de izquierda a derecha. Fotografías que ilustran la variación reciente. Año 2003 y 2011 y exposición de sectores inundados previamente. Fotos: E. Piovano.

El aumento en las precipitaciones repercutió dramáticamente en algunas localidades ubicadas en el litoral de lagunas de la región Pampeana (por ejemplo, Miramar en Córdoba, Melincué en Santa Fe o Carhué en Buenos Aires) que comenzaron a crecer a fines del siglo XIX durante un escenario hidrológico de sequías extensivas. El nuevo escenario sorprendió a las poblaciones costeras que se habían desarrollado cuando el agua no era una amenaza para los habitantes



Figura 6. Cuenca del río Los Hornillos. Traslasierra. Córdoba. Las mayores alturas que se observan en la parte superior de la fotografía corresponden a la divisoria de aguas de la cuenca. Foto E. Piovano.

bajantes durante los años 1990, 1997-98, un nivel máximo histórico en el 2003, seguido por un marcado descenso hasta el 2013, momento a partir del cual comenzó un nuevo aumento (Figura 5). La variación en los niveles de la laguna Mar Chiquita está principalmente regulada por los cambios en las precipitaciones. Esto no es sólo una característica de esta época. El estudio de su registro sedimentario indica una gran variabilidad durante los últimos 20.000 años de historia como resultado del cambio en las precipitaciones regionales en el SE de Sudamérica.

Sociedad y cuencas hidrológicas

Si observamos el comportamiento del agua en el medio terrestre, advertimos que ésta se desplaza dentro de un espacio denominado cuenca hidrológica. Este espacio está limitado por sus mayores altitudes, que definen la divisoria de aguas (Figura 6), mientras que bajo la superficie el agua se mueve siguiendo las características de los acuíferos. La cuenca en su conjunto incluye los ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares, entre otros) y acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.).

Las cuencas hidrológicas son una fuente de gran riqueza para el desarrollo de la vida. En gran medida han determinado el desarrollo de distintas culturas a lo largo

de la historia de la humanidad, favoreciendo su florecimiento (Antiguo Egipto) o su colapso durante períodos de escasez prolongada (Civilización Maya Clásica).

Hace aproximadamente 10.000 años, la llegada de población humana al sector austral de las Sierras Pampeanas se produjo a través de los ríos de llanura de la cuenca del Paraná y los valles de los ríos Carcarañá y Ctlamochita (Tercero). El empleo de los ríos como rutas migratorias se vio favorecido por la gran variedad de fauna y vegetación y, en consecuencia, la oferta de alimentos y agua jugaron un rol fundamental en el poblamiento pasado.

No sorprende entonces que el aumento de la población y la consecuente falta de agua potable sea la gran amenaza de esta época. Las ciudades no se pueden considerar sostenibles si no garantizan el acceso fiable al agua potable. Por primera vez en la historia de la humanidad la mayoría de la población, 3.300 millones de personas, vive en ciudades. Dentro de dos décadas, casi el 60% de la población mundial habitará núcleos urbanos. Quienes más sufren la problemática del agua son los sectores pobres y marginados que, por lo general, viven en zonas suburbanas en rápido proceso de expansión. Es precisamente allí donde no están cubiertas las necesidades más básicas para la vida como lo son la disponibilidad de agua potable, condiciones adecuadas de

Las cuencas hidrológicas son una fuente de gran riqueza para el desarrollo de la vida. En gran medida han determinado el desarrollo de distintas culturas a lo largo de la historia de la humanidad, favoreciendo su florecimiento (Antiguo Egipto) o su colapso durante períodos de escasez prolongada (Civilización Maya Clásica)

saneamiento, el acceso a servicios de salud y a una vivienda duradera y segura (http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cities.shtml). En la actualidad más de 663 millones de personas viven sin suministro de agua potable cerca de su vivienda lo que les obliga a pasar horas haciendo cola para llenar un bidón o a trasladarse hasta fuentes lejanas. Sin duda, estos sectores son los más vulnerables frente al consumo de agua no potable. De acuerdo a la Organización Mundial de la

Salud, el acceso a servicios de agua, saneamiento e higiene sin riesgos podría evitar que muchas personas sufran enfermedades.

Debemos tomar conciencia que la cantidad de agua en el planeta es siempre la misma. La disponibilidad cambia a lo largo del tiempo principalmente por el deterioro de su calidad lo que determina su aptitud para el uso. Del total presente en la hidrósfera sólo un 3% es agua dulce, o sea, apta para los distintos usos de la humanidad. Con el incremento de la población inevitablemente el consumo también crece. Este hecho, en

En la actualidad más de 663 millones de personas viven sin suministro de agua potable cerca de su vivienda lo que les obliga a pasar horas haciendo cola para llenar un bidón o a trasladarse hasta fuentes lejanas. Sin duda, estos sectores son los más vulnerables frente al consumo de agua no potable



El agua que no se ve

En los productos y servicios que consumimos a diario se encuentra una gran cantidad de agua. El agua virtual representa la suma del total usado para obtener un producto e incluye aquella que se emplea durante el cultivo, crecimiento, procesamiento, fabricación, transporte y venta de los productos. La huella hídrica (HH) se refiere al volumen total de agua necesaria para producir los bienes y servicios que consumimos.

Por ejemplo:

- 1 kilo de tela de algodón: 10.800 litros de agua.
- 1kg de azúcar: 1.500 litros de agua. La caña de azúcar consume alrededor de 220 mil millones de metros cúbicos de agua al año, lo equivalente al 3.4% del consumo mundial de agua para la producción agrícola.
- 100 gramos de chocolate: 2.400 litros de agua.
- 1 kilo de café tostado: 21.000 litros de agua.
- La HH de una vaca para producción de carne es de 3.100.000 litros tomando un promedio tres años para que el animal sea sacrificado y para producir unos 200 kg de carne deshuesada.
- 1 kilogramo de queso: 5.060 litros.
- 1 huevo (40 g): 135 litros.
- 1 vaso de leche (200 ml): 200 litros.
- 1 par de zapatos (piel de bovino): 8 mil litros.
- 1 hoja de papel A4 (80 g/m²): 10 litros.

Tomado de CONAGUA Mexico (<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Infograf%C3%ADa%20Huella%20H%C3%ADrica.pdf>)

Video de Huella Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina: <https://www.youtube.com/watch?v=bq6DRTHuS7Q>.

Calculá tu Huella Hídrica: <http://ocs.frm.utn.edu.ar/huella/>

general es atendido parcialmente, sólo desde un punto de vista tecnológico; es decir, planificando obras para llevar el agua de una zona a otra. Si bien este procedimiento resulta un paliativo para las áreas que reciben el agua, perjudica a otras, afectando su disponibilidad y, en consecuencia, a los ecosistemas y a la población del área de donde se la extrae.

El Agua ¿recurso renovable o no renovable?

Casi todas las personas que nos beneficiamos con la provisión de agua domiciliaria, tomamos como un acto natural abrir una canilla y que ésta fluya. Salvo quienes han atravesado crisis hídrica y sufrido su escasez,



Figura 7. El Embalse San Roque es una fuente que abastece el 70% del agua potable para la ciudad de Córdoba con 1.5 millones de habitantes, además de tener uso multipropósito destinado a riego y energía hidroeléctrica para la región, atenuación de crecidas, desarrollo de actividades recreacionales y turismo. Foto: E. Piovano.

existe en general muy poca conciencia del gran esfuerzo y conocimiento necesario para realizar la planificación y distribución del agua.

Debido a que el flujo del agua responde a leyes físicas, las cuencas hídricas superficiales y subterráneas constituyen la única unidad territorial apta para planificar la gestión del agua. Por eso, el hecho de considerar los límites políticos para definir el manejo del agua es y ha sido un gran error en la planificación.

Muchas veces se dice erróneamente que el agua es un recurso “renovable” cuando en realidad es un recurso finito, es decir, disponible en cantidades limitadas. El concepto de recurso y su clasificación en renovables y no renovables, proviene de una concepción moderna donde impera la idea antropocéntrica de que la naturaleza es exterior al hombre

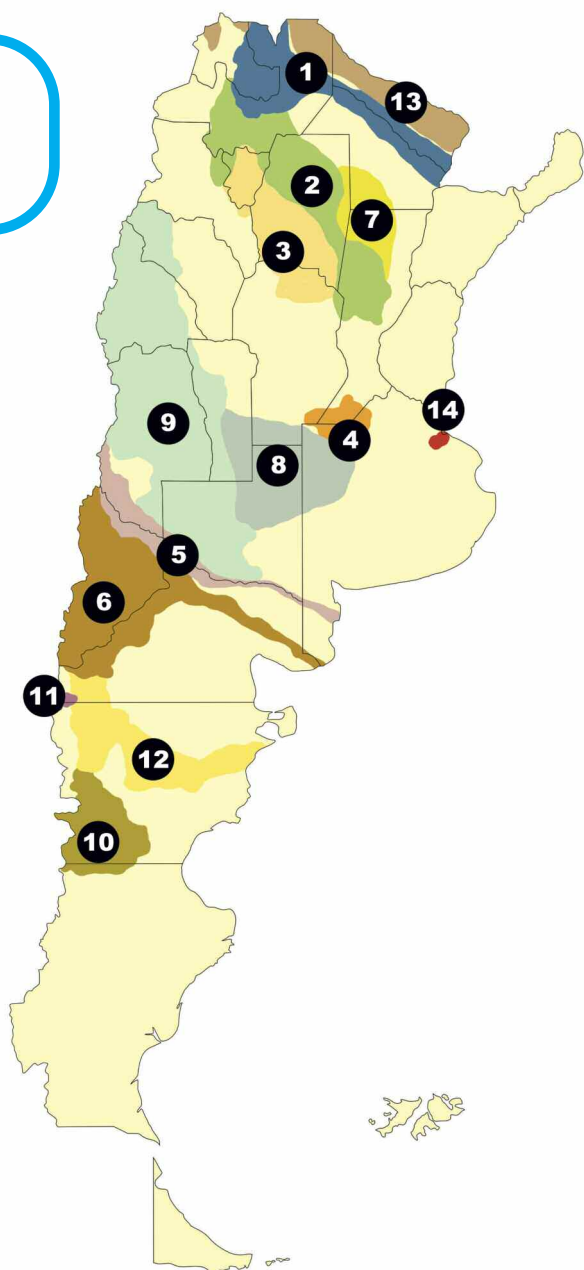
Muchas veces se dice erróneamente que el agua es un recurso “renovable” cuando en realidad es un recurso finito, es decir, disponible en cantidades limitadas (Figura 7). El concepto de recurso y su clasificación en renovables y no renovables, proviene de una concepción

moderna donde impera la idea antropocéntrica de que la naturaleza es exterior al hombre. De esta manera, “Naturaleza y Sociedad” son concebidas como entidades independientes, siendo los recursos naturales utilizados con la concepción de que la naturaleza es un ámbito por fuera de la cultura al cual recurrimos para satisfacer necesidades. Cuando sustituimos la idea de naturaleza exterior al hombre por el concepto de ambiente, la concepción de “recursos naturales” que distingue naturaleza y cultura, se torna obsoleta.

Si nos reconocemos parte de la naturaleza, podremos entonces comprender que existe una unidad integrada llamada socioecosistema la cual está compuesta por sistemas naturales que se vinculan de forma dinámica e interdependiente con los sistemas sociales. Este nuevo concepto permite comprender la complejidad que involucra la gestión del agua, donde la toma de decisiones debe considerar de manera integrada el conocimiento de cómo está formada y cómo funciona una cuenca con todos los aspectos económicos, sociológicos y políticos que actúan sobre ella. Surge así la concepción de cuenca social, que es una composición compleja integrada por la cuenca geográfica y sus zonas de influencia, determinada por los usuarios del agua. De esta manera, una cuenca social suele implicar un traslape de varias cuencas geográficas las cuales están entrelazadas entre sí por el tejido social que construyen sus múltiples usuarios.

La gestión de los recursos hídricos en Argentina

En nuestro país los recursos hídricos superficiales cuentan con un caudal medio de 26.000 m³/s. Sin embargo, esa media distorsiona la real distribución espacial



y temporal de los recursos hídricos, ya que el 85% del total de éstos corresponden a la Cuenca del Plata (30% del territorio y 22.000 m³/s), en tanto que las cuencas de zonas áridas y semiáridas disponen de menos del 1% del total de los recursos hídricos superficiales (11% del territorio y 223 m³/s). En total, más del 75% del territorio nacional presenta condiciones áridas y semiáridas. Incluso, hay extensas regiones cuya disponibilidad hídrica está por debajo del índice de estrés estipulado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1.000 m³/año x habitante). Consecuentemente, las

Más del 75% del territorio nacional presenta condiciones áridas y semiáridas. Incluso, hay extensas regiones cuya disponibilidad hídrica está por debajo del índice de estrés estipulado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1.000 m³/año x habitante). Consecuentemente, las aguas subterráneas tienen un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de las regiones áridas y semiáridas, como fuente de abastecimiento a la población, la industria y el riego

aguas subterráneas tienen un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de las regiones áridas y semiáridas, como fuente de abastecimiento a la población, la industria y el riego.

Frecuentemente las cuencas atraviesan más de una provincia por lo que es necesario plantear su manejo de forma coordinada. Por este motivo y con el objetivo de coordinar la planificación hídrica del país, el 27 de marzo de 2003 los representantes de distintas jurisdic-

Figura 8. Argentina tiene una organización política federal en la que corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos hídricos, aunque existen comités de cuenca interjurisdiccionales para efectuar la gestión del agua en las cuencas hídricas que abarcan varias provincias. En el mapa se pueden ver los 14 comités regulados por el COHIFE.

Referencias del mapa: 1- Comité Regional del río Bermejo (COREBE); 2- Comité de la Cuenca del río Juramento Salado; 3- Comité de la Cuenca del río Salí Dulce; 4- Comité de Cuenca de la Laguna La Picasa; 5- Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); 6- Autoridad Interjurisdiccional de la Cuenca de los ríos Neuquén, Limay y Negro (AIC); 7- Comité de la Región Hídrica Bajos Submeridionales; 8- Comité Interjurisdiccional de la Región Hídrica del Noroeste de la Llanura Pampeana (CIRH-NOP); 9- Grupo técnico del río Desaguadero; 10- Comité de Cuenca del río Senguer; 11- Autoridad de Cuenca del río Azul (ACRA); 12- Comité Interjurisdiccional de la Cuenca del río Chubut; 13- Comité Interjurisdiccional del río Pilcomayo; 14- Autoridad de Cuenca del río Matanza Riachuelo (ACUMAR <http://www.cohife.org.ar/ComiteCuenca.html>).

ciones, suscribieron el Acta Constitutiva del Consejo Hídrico Federal (COHIFE) para lo cual se han establecido Comités de Cuencas y Organizaciones Interjurisdiccionales. Un ejemplo es el Comité de la Cuenca del río Salí Dulce formado por las provincias de Córdoba, Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca y Salta (Figura 8, número 3). Dentro de los objetivos del comité se encuentra preservar los Bañados del Río Dulce, la laguna Mar Chiquita y otros cuerpos de agua, los cuales constituyen uno de los humedales más importantes del mundo y han sido declarados como Sitios Ramsar por su de gran valor natural no solo para nuestro país sino para la humanidad en su conjunto (<http://www.ramsar.org/es>).

Consideraciones finales

El agua es un elemento valioso y maravilloso sin el cual nuestro planeta sería completamente diferente. En todo lo que observamos a nuestro alrededor, el agua ha

cumplido un rol fundamental. Desde nuestros alimentos, la ropa que utilizamos, la construcción del lugar que habitamos, todo ha sido producido utilizando agua.

Gran parte de la legislación para reglamentar su manejo ha sido escrita, sólo se necesita la voluntad política de implementarla rigurosamente integrando ambiente, cultura y medio socioeconómico. Es importante que las decisiones en materia de su uso estén basadas en el conocimiento de los expertos y del nuestro como usuarios, pero sin escindirnos del ambiente.

Afortunadamente, como sociedad estamos comprendiendo que la toma de decisiones en la gestión del agua debe considerar la interdependencia entre cuenca y sociedad. Es nuestro deber reclamar la aplicación de criterios de equidad, integridad ecológica y eficiencia en el manejo del recurso hídrico, aunque debemos reconocer que el primer desafío empieza por lo personal.

Mucho ha ocurrido para que esa molécula de agua que llegó en un cometa hace millones de años ahora esté en nuestro vaso. El viaje ha sido muy largo. Sumémonos al desafío diario de su cuidado.

RB

Bibliografía/Lecturas sugeridas

Carabias, J. y Landa, R. 2008. Los recursos hídricos y la gestión de cuencas en México. En: L. Paré, M.A. González y D. Robinson. *Gestión de cuencas y servicios ambientales: perspectivas comunitarias y ciudadanas*. INE-ITACA-Raises-Sendas-WWF, México.

Duarte, C. 2006. *Cambio global; impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra*. Consejo superior de investigaciones científicas, CSIC, Madrid.

Mastrangelo, A. 2009. Análisis del concepto de recursos naturales en dos estudios de caso en Argentina. *Ambiente & Sociedade*, 12(2), 341–355.

Paré, L. 2012. *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiác, Veracruz*. Instituto Nacional de Ecología.

Paris, M del C., Zucarelli, G.V. y Pagura, M.F. 2009. Las miradas del agua. Ediciones UNL, Secretaría de Extensión, Universidad Nacional del Litoral. http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/LasMiradasdelAgua_MartaParis.pdf

Documentales en la web

Recursos naturales. El agua. Canal Encuentro
<https://www.youtube.com/watch?v=THAIOX9zsnQ>

Glosario Hidrológico Internacional:

<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862m.pdf>

SITIOS RELACIONADOS CON EL AGUA:

Día mundial del agua <http://www.un.org/es/events/waterday/>

Programa hidrológico Internacional

<http://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia>

AQUASTAT – FAO

<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>

UN WATER

<http://www.unwater.org/>

Base de datos hidrológicos de Argentina

<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/#>