



Universidad Nacional de San Martín
Fundación Innovación y Tecnología (FUNINTEC)
Director: Alberto Pochettino

Programa FUTUROS
Escuela de Posgrado: Agua + Humedales

Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI

(Conferencia)

Por Miguel Angel Blesa¹

Filiación:

¹ Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín, Argentina. Email: miblesa7@gmail.com, Argentina

Registro del capítulo del libro digital

Título del capítulo: Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI

Autor capítulo: Blesa, Miguel Angel.

Páginas: 18-33

Título del libro: Agua + Humedales

Edición: 1ª edición

Editor: UNSAM Edita.

Serie: Futuros

Fecha de publicación: junio 2018

Páginas: 485

Derechos: Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos, mencionando la fuente.

Idioma: Español

Identificación y acceso

ISBN: 978-987-4027-68-9

URL: <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>

Cita del capítulo: Blesa, Miguel Angel (2018). Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita.

Área de conocimiento

Área: Recursos naturales

Categoría: Ciencias ambientales e ingeniería

Palabras clave: RECURSOS HÍDRICOS; HIDROLOGÍA; MEDIO AMBIENTE ACUÁTICO; CONTAMINACIÓN DEL AGUA; CALIDAD DEL AGUA

Este documento forma parte de la Colección Programa FUTUROS del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín, desarrollado por la Biblioteca Central. El propósito es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica y con reconocimiento de la fuente.

Disponible en el Repositorio Institucional de la UNSAM

Blesa, M. A. (2018) Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC) (2018). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita. [En línea] Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín: Colección Programa Futuros. (PFAH 2018 CBMA) <http://bit.ly/2gDqQLp> [Fecha de consulta:.....]

Blesa, Miguel A. "Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI"

RESUMEN

El agua como sustancia química ha sido estudiada en mucho detalle y se conocen a fondo sus propiedades. El interés por el agua nace obviamente de su importancia en el funcionamiento del planeta Tierra, como sustento de la vida. Para el hombre, los servicios ecosistémicos que brindan las aguas naturales van mucho más allá de su importancia como sustento vital. El hombre usa el agua como fuente de agua segura para consumo humano, como recurso fundamental para la actividad agropecuaria, como fluido de proceso y de transporte de calor, como vía de comunicación y transporte, como fuente de alimentos, para el esparcimiento y el deporte. Tal uso intensivo conduce a una intervención humana en el ciclo hidrológico, que está tomando dimensiones importantes en un contexto en que el clima también está siendo afectado por la actividad antrópica. Se plantean, entonces, interrogantes sobre la disponibilidad del recurso, y más aún sobre los cambios que se esperan de esa disponibilidad. Los modelos del impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua constituyen un campo de investigación de importancia. Otra área importante es la de las tecnologías de tratamiento de aguas, tanto efluentes de diverso tipo, como aguas para consumo humano, y tecnologías para el uso racional del agua. Sin embargo, no basta con pasar de los estudios básicos a los desarrollos ingenieriles. Se debe prestar especial atención a la dimensión social del tema: derecho del agua, economía del agua, estudios sociológicos vinculados con las decisiones sobre el uso del recurso y consecuente desarrollo de legislación y regulaciones.

Palabras clave: *Agua, I+D, cambio climático.*

ABSTRACT

Water as a chemical has been studied in great detail and its properties are well-known. Interest in water arises from its importance in the functioning of Planet Earth, as a life support system. For man, ecosystemic services provided by water go far beyond its importance as a vital resource. Man uses water as a source of safe water for human consumption, as a fundamental resource for agriculture and cattle raising, as a process and heat transport fluid, for transportation and communication, as food source, for recreation and sports. Its intensive use makes human intervention of the hydrological cycle quantitatively important, in a context in which weather is being influenced by anthropic activities. Hence, questions arise on resource availability and on the expected changes in availability. Modeling the impact of climate change on water availability is a research field of importance. Also important is the field of water treatment technologies, including various effluents, water for human consumption, and also rational water use. It is not enough to include basic research and engineering aspects; social dimension are central: water economy, sociological aspects of water use, legislation and regulations.

Key words: *Water, R&D, climate change.*

Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI¹

Miguel A. Blesa²



1. Introducción

Los 17 Objetivos del desarrollo sustentable de las Naciones Unidas, mostrados en la figura 1, definen una agenda dentro de la cual la gobernanza del agua juega un papel importante. En efecto, la gestión del agua no es solo importante para los Objetivos 6, “Agua limpia y saneamiento”, y 14, “Vida submarina”, sino que atraviesa la gran mayoría –o, mejor dicho, todos– los objetivos restantes. Es así que se ha identificado el llamado “WEF nexus”, que se centra en la fuerte interrelación entre seguridad energética, seguridad alimentaria y provisión de agua segura (Objetivos 2 y 7). También es crucial el aseguramiento de la provisión de agua para alcanzar los Objetivos, llamémoslos “sociales”, 1, 3, 10 y 16 (Fin de la pobreza; Salud y bienestar; Reducción de las desigualdades; Paz, justicia e instituciones sólidas), y los de adaptación al cambio global (que incluye el cambio climático) característicos de lo que se ha dado en llamar “Antropoceno”: Trabajo decente y crecimiento económico (8); Industria, innovación e infraestructura (9); Ciudades y comunidades sostenibles (11); Producción y consumo responsable (12); Acción por el clima (13); Vida de ecosistemas terrestres (15).

1 El presente artículo tomó elementos de una publicación anterior: M. A. Blesa (2015). “El uso del recurso agua”, en: *Horizontes y Desafíos Estratégicos para la Ciencia en Iberoamérica*. Madrid, Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, pp. 363-369.

2 Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín, Argentina. miblesa7@gmail.com.



Figura 1. Los Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. Fuente: Naciones Unidas, <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

Pocas sustancias han sido estudiadas por los químicos con el detalle con el que se analizó y se continúa analizando el agua. No hay aspectos fundamentales de la química de esta sustancia que ofrezcan interrogantes serios en relación con el uso del recurso por parte del hombre. Sus propiedades asociadas con su uso como fluido de procesos industriales son también muy conocidas. En cambio, la gobernanza del recurso requiere de actividades de I&D en todos los ámbitos del conocimiento: las ciencias naturales son necesarias para entender los balances hídricos y su alteración por influencia antrópica (en especial, cambio climático); las ciencias sociales deben proveer respuestas a los derechos de las partes interesadas (*stakeholders*); las ciencias jurídicas deben desarrollar todavía marcos legales y regulatorios que contemplen, además, los aspectos vinculados con la economía del agua.

2. El uso del recurso agua por el hombre

El siglo XXI se caracteriza por la necesidad de marcos regulatorios en todos los campos de la actividad humana, por la escala que han adquirido esas actividades. La gestión del agua no escapa a esa situación general.

El agua es, en buena medida, un recurso renovable. El ciclo hidrológico es un ciclo cerrado que, en su conjunto, prácticamente no tiene vías de pérdidas irreversibles. Sin embargo, ese ciclo distribuye el agua en reservorios cuyos inventarios pueden verse afectados por la actividad antrópica, que también afecta los flujos entre reservorios. La tabla 1 muestra los inventarios de los reservorios de agua, tomado de la referencia de I. Shiklomanov.

Reservorio	Volumen, km ³	F _{dulce}	F _{total}
Océanos, mares y bahías	1.338.000,000	--	96,5
Casquetes de hielo, glaciares y nieve permanente	24.064.000	68,7	1,74
Aguas subterráneas	23.400.000	--	1,69
Dulces	10.530.000	30,1	0,76
Salinas	12.870.000	--	0,93
Humedad del suelo	16.500	0,05	0,001
Hielos superficiales y permafrost	300.000	0,86	0,022
Lagos	176.400	--	0,013
Dulces	91.000	0,26	0,007
Salinos	85.400	--	0,006
Atmósfera	12.900	0,04	0,001
Agua de pantanos	11.470	0,03	0,0008
Ríos	2120	0,006	0,0002
Agua biológica	1120	0,003	0,0001

Tabla 1. Reservorios de agua: inventarios (en volumen) y fracción del agua dulce total y del total de agua del planeta. Adaptado de *USGS Water Cycle*: <http://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Programme-water-governance.pdf>.

Como muestra la figura 2, las precipitaciones introducen alrededor de 37.000 km³ anuales netos de agua en tierra firme (se ha descontado la cantidad que se vuelve a evaporar), que son los que por escorrentía o por aguas subterráneas vuelven al océano. Alrededor de 11.500 km³ son aprovechables por el hombre, y de estos, unos 6000 km³ ya están comprometidos, por las extracciones que hace el hombre y para mantener los caudales mínimos de los ríos. En otras palabras, el hombre está interviniendo usando más del 50% de la capacidad de este servicio ecosistémico.

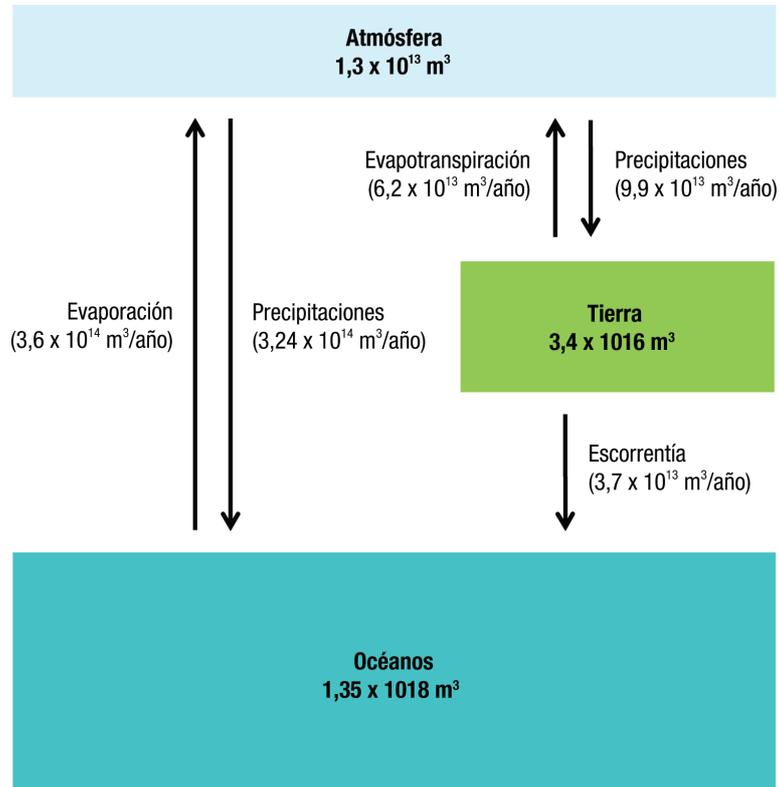


Figura 2. Flujos de agua entre océanos, atmósfera y tierra firme. Fuente: elaboración propia a partir de la información provista por la Universidad de Illinois, [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/hyd/bdgt.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/hyd/bdgt.xml).

Lógicamente, el hombre no consume el agua, en el sentido que esta no es una sustancia perecedera: la toma del ciclo hidrológico, la usa y la devuelve. Sin embargo, hay dos características de esta devolución que generan una fuerte presión antrópica sobre el recurso, que se discuten en los párrafos siguientes.

2.1. La contaminación del agua

Por un lado, el agua que se devuelve está contaminada con sustancias diversas que dependen del uso del agua.

► El agua tomada para consumo humano se devuelve a través de los sistemas cloacales, contaminada biológicamente, con una alta carga orgánica y con una miríada de contaminantes emergentes (detergentes, antibióticos, disruptores endocrinos).

La gobernanza racional del agua llama a tratar las aguas cloacales antes de descargarlas en los cursos de agua, pero esa práctica dista de ser general, especialmente en nuestra región.

- Los sistemas de recolección de aguas pluviales urbanas incorporan desde objetos macroscópicos, como bolsas de plástico, hasta contaminantes químicos. Esas aguas, que además pueden contener volcados ilícitos de aguas cloacales, en general no son tratadas antes de su descarga en los cursos de agua.

- La actividad industrial puede descargar productos extremadamente tóxicos, como dioxinas o metales pesados, además de ácidos, como el sulfúrico.

- En áreas rurales, la actividad agrícola incorpora cursos de agua superficiales, y los acuíferos, sustancias agroquímicas, carga orgánica y elementos extraídos de los suelos.

- La actividad minera genera el llamado drenaje ácido de minas, aguas acidificadas que pueden disolver los metales presentes en los minerales. Las rupturas de diques de cola, a su vez, pueden generar volcados masivos de metales y de sustancias químicas usadas en el proceso minero.

Para enfrentar estos problemas, recurrimos a tecnologías de tratamiento de aguas para su remediación o descontaminación. Los efluentes entubados, como los cloacales o los industriales, deben ser tratados antes de su descarga, con un lógico coste asociado.

El tratamiento de efluentes urbanos e industriales es motivo de muchos esfuerzos en investigación, cuyo objetivo de mínima es el de cumplir con los límites contaminantes en las aguas volcadas después del tratamiento. En el caso de los efluentes urbanos, existen intentos de, por un lado, racionalizar el consumo reutilizando las aguas y, por otro, de aprovechar la materia orgánica como fuente de energía. Es así que existe un fuerte énfasis en distinguir entre aguas grises, resultantes del lavado y otras actividades hogareñas pero que tienen una carga microbiológica baja, y las aguas negras, provenientes de los inodoros. Se impulsa entonces la reutilización de las aguas grises, y los efluentes cloacales reciben solo las aguas negras. En estas últimas se busca aprovechar la energía almacenada en la materia orgánica e incluso aprovechar las sustancias químicas valiosas que pueden contener.

Para el tratamiento de efluentes industriales, se encuentran en plena fase de estudio y desarrollo una variedad grande de procedimientos conocidos colectivamente como procesos avanzados

de oxidación (PAO). Estos procesos permiten idealmente destruir la materia orgánica (incluso compuestos que no son biodegradables) sin generar residuos, En este tema hay mucha actividad de investigación y desarrollo en la región, para atender problemas tan variados como el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) o la destrucción de contaminantes orgánicos no biodegradables. Un área de mucha actividad es la de tratamientos combinados, con una etapa de tratamiento biológico (convencional, como el que deriva del uso de lodos activados, o los tratamientos anaeróbicos) y una etapa de PAO.

Para ciertos usos del hombre, en especial para consumo humano, las aguas naturales no son adecuadas. El agua potable se obtiene en las plantas de potabilización; las convencionales tienen una etapa de decantación y eventualmente floculación, seguida por una etapa de desinfección basada habitualmente en el uso de cloro. En la actualidad, es frecuente que las aguas naturales usadas como toma para esas plantas contengan sustancias químicas volcadas por el hombre aguas arriba, y eso genera a veces problemas en el uso del cloro, ya que la reacción de este con compuestos orgánicos aromáticos produce sustancias de olor desagradable. En el mundo están desarrollando tratamientos alternativos del tipo PAO; el más extendido recurre al ozono como sustituto del cloro. En el caso de la ciudad de Nueva York, en 2013 se inauguró una planta que usa radiación ultravioleta para desinfectar el agua.

2.2. Los desvíos del agua y su uso racional

Al usar el agua, el hombre suele desviarla con respecto al devenir natural. En ciudades, el agua extraída de acuíferos es devuelta a cursos de agua superficiales, y el agua de las precipitaciones encuentra una superficie impermeable que impide su movimiento en profundidad hacia los acuíferos; el escurrimiento superficial puede conducir a anegamientos e inundaciones en zonas urbanas. El agua de lluvia no encuentra sus cauces naturales, que muchas veces han sido entubados y tienen su capacidad máxima disminuida e insuficiente para enfrentar eventos extremos. El agua de riego de la agricultura puede evaporarse en proporciones importantes, generando una extracción neta de acuíferos y aguas superficiales. La explotación minera puede incluso transferir agua de una cuenca a otra, por evaporación en ambientes áridos y cálidos. Es especialmente importante el problema del uso de las aguas

subterráneas. Dice la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés):

Hay claras evidencias [de] que las aguas subterráneas están disminuyendo; se estima que se sobreexplota el 20% de los acuíferos subterráneos del mundo, algunos de forma masiva. Globalmente, la tasa de extracción de aguas subterráneas está aumentando entre 1 y 2% por año.

La herramienta más poderosa para paliar estos efectos es el desarrollo de procedimientos de uso racional del recurso. Por ejemplo, para el riego, el desarrollo de métodos de goteo disminuyen mucho las cantidades de agua usadas y evaporadas. En el caso del agua empleada en minería, existe lugar para mejorar mucho las pérdidas de agua por evaporación; por ejemplo, para la producción de carbonato de litio a partir de las salinas de la región del noroeste argentino (NOA), se están intentando desarrollar técnicas electroquímicas de extracción del litio, que evitan el uso de la evaporación extensiva como forma de extracción. En el caso de aguas urbanas, cabe mencionar que el consumo es muchas veces irracionalmente alto. En India, la norma establece un consumo por habitante y por día de 40 litros, pero este valor aumenta mucho en ciudades con servicios sanitarios, llegando a ser en Mumbai de 300 litros. En algunas ciudades de los Estados Unidos, contabilizando pérdidas, riego de parques y jardines y piscinas, el consumo llega a 650 litros por habitante y por día. En Buenos Aires, Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA) debe producir 619 litros por habitante y por día, de los cuales 150 corresponden a pérdidas en la red. En Europa, los consumidores pagan entre 1 (Lisboa) y 5 (Glasgow) euros por metro cúbico (1000 litros) de agua (provisión y saneamiento). Aplicada en Buenos Aires, la tarifa más baja de Europa implicaría que el coste mensual del consumo de agua sería del orden de los 240 pesos argentinos por persona (sin contar las pérdidas de la red). La factura mensual para una familia tipo (cuatro personas) podría entonces llegar a casi \$1000. Las pérdidas, calculadas en 1€ por metro cúbico, representan en la Ciudad de Buenos Aires un costo de \$76 por habitante por mes, cifra que para una población de 2.900.000 significa más de 220 millones de pesos mensuales. La solución aquí no es la mera aplicación de una política de recaudación, sino de inversiones, por un lado, y de análisis sociológicos, por el otro, para garantizar la viabilidad de las medidas a implementar para racionalizar el uso del agua en la ciudad.

3. La variabilidad espacio-temporal del recurso

Lógicamente, la disponibilidad de agua presenta una distribución espacio-temporal muy amplia.

En lo que se refiere a la distribución espacial, nuestra región, si bien es una de las más ricas en agua, incluye también zonas áridas y semiáridas importantes. Tomando a la Argentina como ejemplo, en cuanto salimos de la pampa húmeda nos encontramos con que la mayoría del territorio tiene déficits hídricos. La gestión del agua en estas regiones es crucial para un correcto uso del recurso escaso. El método tradicional de riego, por inundación, puede conducir a que se evapore el 40% del agua extraída (desde arroyos, lagos, embalses o acuíferos subterráneos), retirándola por lo tanto del ciclo hidrológico prístino. El método por aspersión mejora el uso del recurso, pero no optimiza el control de la evaporación, que se logra mejor por métodos como el del goteo. Un tema interesante de desarrollo es la automatización del control del riego, así como el uso de energía solar para alimentar los sistemas usados.

Muy relacionado con los temas de uso del recurso del agua en agricultura, se puede mencionar la necesidad de realizar estudios hidrogeológicos para caracterizar la capacidad del sistema del cual se toma el agua, ya sea superficial o subterráneo, para garantizar que el consumo no supere la capacidad de recarga. Íntimamente vinculado está el tema de la alteración de la recarga por los fenómenos asociados al cambio climático.

El uso de agua en minería metalífera y en extracción de combustibles fósiles es un tema que genera mucha controversia, y que por lo tanto necesita demostración de sustentabilidad. Ya se mencionó el consumo de agua en la extracción de *shale oil* o *shale gas* con la tecnología de *fracking*. En el caso de la megaminería metalífera, los riesgos de afectación de glaciares y el consumo excesivo de agua de acuíferos limitados son dos temas que requieren constante atención.

La distribución temporal también conduce a interrogantes y problemas. Sequías e inundaciones son dos extremos que se desean evitar, o por lo menos gestionar. En el caso de inundaciones de cascos urbanos, existe subyacente un serio problema referido a la ocupación del territorio: las ciudades han crecido de manera poco o nada planificada, y han invadido terrenos inundables. La impermeabilización del suelo por los edificios y la carpeta asfáltica conduce a escurrimientos superficiales que

producen un agravamiento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones urbanas. Lo mismo puede decirse del entubamiento de los arroyos. La construcción de obras hidráulicas sirve para paliar el problema, pero no necesariamente para resolverlo. Se necesita, además de los estudios y obras hidráulicas, el aporte del urbanismo y de las ciencias sociales en general, para gestionar adecuadamente la ocupación territorial. Este tema está estrechamente vinculado con el concepto de ciudades inteligentes.

En estas tierras, el problema vinculado con las sequías afecta muy especialmente la actividad agropecuaria. En regiones muy áridas y densamente pobladas, como gran parte de la península ibérica, puede llegar a afectarse la disponibilidad de agua para consumo humano, y ello requiere muy especialmente de la definición cuidadosa de los derechos del agua. Se intentan también acciones de trasvase entre cuencas, y aquí los temas a estudiar incluyen la hidrogeología, la ingeniería hidráulica y las ciencias sociales. Una de las herramientas para paliar los efectos de la falta de agua sobre el rinde agrícola es el desarrollo de especies vegetales, ya sea por selección o por transgénesis, que resistan mejor el estrés hídrico.

La ingeniería hidráulica es una herramienta muy poderosa para la gestión del agua, por un lado, para la prevención de inundaciones y, por otro, para la generación de electricidad y para el riego.

Los acelerados cambios climáticos indican que es altamente probable que aumenten los eventos meteorológicos extremos, y ello incluye sequías prolongadas e inundaciones severas. El reciente informe del Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC) previene sobre las variaciones que pueden tener lugar en la disponibilidad del agua durante este siglo. Estos cambios incluyen no solo eventos meteorológicos, sino también un importante ascenso del nivel del mar, una acidificación de las aguas oceánicas y una afectación global del ciclo hidrológico por el aumento de energía entregada a la atmósfera. En ese contexto, un área de investigación crucial para la gestión del agua son las acciones tendientes a mitigar el efecto invernadero producido por la liberación de dióxido de carbono y otros gases. Baste consignar aquí que se requerirá una batería de medidas, las cuales contribuyan a la mitigación. Estas medidas incluyen: uso racional de la energía, desarrollo de fuentes de energía primarias que no emitan dióxido de carbono neto (biocombustibles, generación eólica, solar, hidroeléctrica, nuclear), captura del dióxido de carbono. Adicionalmente, se deben desarrollar herramientas para la adaptación a los inevitables cambios que ya están ocurriendo.

4. El nexo agua-energía-alimentos

En el contexto del cambio climático, se ha vuelto cada vez más evidente la existencia de fuertes intervenciones en diversos aspectos de la seguridad ciudadana. Es por eso que se habla del nexo entre provisión de agua, provisión de energía y seguridad alimentaria (WFE nexus, por sus siglas en inglés). El nexo entre agua y energía tiene aristas interesantes. La prolongada sequía en California hizo que en 2015 se estableciera en objetivo de ahorro en el consumo de agua de 25% con respecto a 2013, y prácticamente se logró alcanzar ese valor. En febrero de 2016, por ejemplo, se estimó un ahorro de 377.000 L. Pero lo más notable es el ahorro de energía que acompañó el ahorro de agua (923 MWh). El menor consumo de agua también estuvo asociado con una disminución en la emisión de gases del efecto invernadero de casi 220.000 MT de CO₂, equivalente solo en febrero de 2016. Entre julio y septiembre de 2015, el ahorro de agua fue acompañado de un ahorro de 460 GWh de electricidad, la misma cantidad que la ahorrada por todos los otros programas de eficiencia energética (<https://cwee.shinyapps.io/greengov/>).

La National Science Foundation de EE. UU. ha lanzado la iniciativa “Innovations at the Nexus of Food, Energy and Water Systems” (INFEWS), con un presupuesto de 75 millones de dólares en 2016. El nexo entre agua y energía es, sin duda, un problema importante en el futuro próximo: se requiere cada vez más energía para tratar el agua, y más agua para generar energía. Como ejemplo extremo, el estado de Idaho, en EE. UU., dedica aproximadamente el 40% de todo su consumo eléctrico al tratamiento de aguas. La potabilización por desalación, común en el Medio Oriente, requiere altos consumos de energía. A la inversa, se estima que para activar un pozo en la tecnología de *fracking* se requiere entre 5000 y 30.000 m³ de agua, de la cual solo el 10% regresa (contaminada) a la superficie, y se desconoce el destino del 90% restante.

En lo que al nexo con la producción de alimentos se refiere, Bruce Logan, editor de *Environmental Science and Technology* se preguntaba recientemente:

Si el cambio climático afecta negativamente la producción de alimentos, como se espera a corto y largo plazo, ¿cómo se afectará el consumo de energía? ¿Cómo cambiará la producción de alimentos en Estados Unidos y en el mundo en

respuesta a estas cuestiones de agua y energía? Y ¿cuáles serán los impactos ambientales de estos cambios?³

Argentina es el octavo productor de alimentos del mundo y, como se dijo, extensas regiones del país son semiáridas. No podemos menos que advertir la relevancia en nuestro país de las preguntas que suscita Bruce Logan.

El Belmont Forum, que está formado por las agencias financiadoras de investigaciones sobre el cambio climático, también ha lanzado una convocatoria alrededor del “WFE nexus”. Argentina está ingresando al Belmont Forum a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

5. La gobernanza del agua

La figura 3 muestra la variedad de temas que deben mejorarse para lograr una gobernanza del agua acorde con los problemas que plantea el actual uso del recurso. Puede advertirse que los huecos (*gaps*) identificados se refieren esencialmente a temas políticos, económicos y legales.

En el fondo, la gobernanza debe garantizar la seguridad del agua, definida en el Second World Water Forum (La Haya): La seguridad del agua involucra su uso sostenible y la protección de los sistemas hídricos, la protección contra riesgos hídricos (inundaciones y sequías), el desarrollo sostenible de los recursos hídricos y la protección de (el acceso a) las funciones y servicios del agua para los seres humanos y el ambiente.

Está claro, entonces, que los aspectos de la gobernanza del agua que se muestran en la figura 3 cobran importancia en buena medida por la incerteza sobre cómo se comportarán los sistemas acuáticos naturales en condiciones de cambio climático. Se debe garantizar la seguridad de provisión de agua en condiciones cambiantes y difíciles de predecir. Esas condiciones no se refieren solo al cambio climático, sino también al cambio global, que involucra los cambios en los paradigmas de producción

³ “If climate change adversely impacts food production, as is expected in the near and long term, how will energy consumption be affected? How will food production across the United States, and the world change in response to these water and energy issues? And what will be the environmental impacts of these changes?”.

agropecuaria e industrial, la explotación minera y la degradación de sistemas hídricos superficiales por contaminación.



Figura 3. El enfoque multinivel para la gobernanza del agua de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) con identificación y diagnóstico de los huecos de gestión y herramientas para resolverlos. Fuente: Adaptado de OECD. *Water Governance Programme*, <http://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Programme-water-governance.pdf>.

6. La educación

El problema básico está relacionado con los hábitos de consumo de una población mundial superior a 7000 millones de habitantes. La educación, no ya ambiental, sino educación a secas, que comienza en la escuela primaria (por no decir en el jardín de infantes) es crucial para una adecuada gestión del agua. Nuestro planeta no contiene tanta agua como a veces se dice. Es cierto que en la llamada zona crítica, esa delgada capa de cebolla de no más de 20 km de espesor a la cual tiene acceso el hombre, hay una alta fracción de agua. Sin embargo, las extracciones de agua que hace el hombre han alcanzado un nivel preocupante, ya que una vez usada, el agua vuelve contaminada y desviada de su devenir natural. Para frenar el derroche del recurso por el hombre se requiere críticamente de la ilustración de todos los ciudadanos del mundo. En su nivel más sencillo, la educación

permite el uso racional del recurso; los problemas de la dimensión educativa de la cuestión del agua son, sin embargo, mucho más globales y se pueden resumir hablando de la educación para la convivencia, en democracia y en un mundo altamente poblado, donde los que más tienen son los que también más responsabilidades tienen.

Bibliografía

Academias Nacionales de Ciencias Económicas, Ingeniería y Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina (2010). *La Cuestión del agua: consideraciones sobre el estado de situación de los recursos hídricos de la Argentina*, Buenos Aires, ANCEF. N.

Blesa, M. A. y Sánchez Cabrero, B. (2004). *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea*. Madrid, CIEMAT.

Depetris, P. J. (2014). "Medio siglo investigando la zona crítica", *Ciencia e Investigación*, vol. 2, nº 3, pp. 31-46.

Litter, M. (2005). "Tecnologías avanzadas de oxidación: tecnologías solares", en Blesa, M. A. y Blanco Gálvez, J. (eds.): *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. Buenos Aires, UNSAM.

Liu, H., Ramnarayanan, R. y Logan, B. (2004). "Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell", *Environmental Science and Technology*, vol. 38, nº 7, pp. 2281-2285.

OECD-Organisation for Economic Co-operation and Development (2015). *OECD Principles in Water Governance*. Disponible en: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/OECD-Principles-on-Water-Governance-brochure.pdf>.

Paulino, C. et al. (2010). "La contaminación biológica del agua y la desinfección solar", *Ciencia e Investigación*, vol. 60, nº 4, pp. 12-29.

Shiklomanov, I. (1993). "World fresh water resources", en Gleick, Peter H. (ed.): *1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York, Oxford University Press. Disponible en: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>.

Stocker, T. F. et al. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

UNESCO-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2014). *The United Nations World Report 2014*. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf>.

Vidic, R. D. et al. (2013). "Impact of shale gas development on regional water quality", *Science* 340, pp. 826-835.

Sitios web

http://www.aysa.com.ar/Media/archivos/448/INFO_Uso_Racional.pdf

<http://www.iagua.es/noticias/economia/13/12/11/estudio-aeas-aga-2013-%C2%BFque-precio-pagan-los-usuarios-del-servicio-del-ciclo-integral-de-agua-en-espa-ESPACIOS>

<https://cwee.shinyapps.io/greengov/>