

Fernández Cirelli, Alicia. (2010). *Los ciclos del agua: su función y protagonismo en el agrosistema argentino*. En: Encrucijadas, no. 50. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubu.sisbi.uba.ar>>

## Gestión de los recursos hídricos

### Los ciclos del agua: su función y protagonismo en el agrosistema argentino

#### Por Alicia Fernández Cirelli

Profesora Titular UBA, Investigadora Principal del CONICET, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. e-mail: [afcirelli@fvet.uba.ar](mailto:afcirelli@fvet.uba.ar)

*El agua como recurso renovable finito tiene su propia dinámica en este ciclo hidrológico. Y es sabido que, a medida que avanza la acción del hombre para modificar el ciclo natural y utilizar el agua para su provecho, no sólo se ha modificado su circulación sino su calidad. Debido al protagonismo del agua en todas las áreas del desarrollo humano, la autora deja claro que los recursos hídricos plantean desafíos significativos en materia de gestión sustentable*

El agua cubre más del 70% de la superficie del planeta, y se la encuentra en océanos, lagos, ríos, en el aire, y en el suelo. Y son los mares y océanos, aproximadamente el 97% del agua del planeta, los que constituyen la reserva más importante del planeta.

Es en esa gran masa de agua donde se produce la mayor evaporación. Luego el agua volverá a la superficie terrestre a través de las precipitaciones, recargando acuíferos subterráneos y escurriendo nuevamente hacia el mar a través de ríos. Se evaporará una vez más y comenzará nuevamente el ciclo hidrológico que renueva continuamente el agua movido por la energía solar.

El agua tiene su propia dinámica en este ciclo hidrológico lo que la convierte en un recurso renovable finito. A medida que el hombre ha modificado el ciclo natural para poder utilizar el agua para su provecho, se han generado diferentes ciclos artificiales o antrópicos que no sólo modifican su circulación sino sus características, ya que en estos nuevos ciclos se altera la calidad del agua. El agua es captada para su uso y luego es devuelta al medio en otras condiciones. En la Figura 1 se sintetizan ambos ciclos, y se indica la relación entre ellos.

La mayor concentración de agua dulce se encuentra en los casquetes polares (2%) y el agua subterránea almacenada hasta los 1000 m de profundidad (0,5%), superando el agua fácilmente accesible de lagos y ríos del mundo (0,02%) (Figura 2).

**Figura 1. Relaciones entre los ciclos natural y antrópico**



**Figura 2. Distribución global del agua**

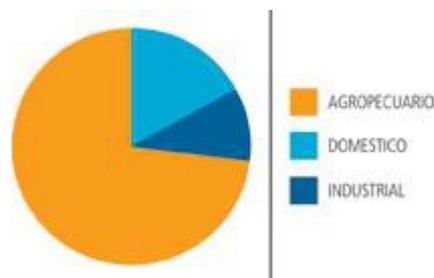


Los recursos hídricos, por su naturaleza, plantean desafíos particularmente significativos en materia de gestión sustentable. Constituyen el equivalente al sistema circulatorio de la biosfera ya que, con una función comparable a la de la sangre en el cuerpo humano, el agua aporta nutrientes y arrastra los productos de desecho.

A través de su intervención en términos físicos, químicos o biológicos, el agua tiene funciones de equilibrio fundamentales sobre el paisaje natural. Tal protagonismo hace que el agua sea a la vez síntesis del estado de salud del sistema ambiental e insumo fundamental para la dinámica de sus distintos componentes y esencial para la vida, en particular del hombre. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima y con su fuerza formidable modela la Tierra. No podemos imaginar la vida sin agua.

La disponibilidad de agua dulce disminuye continuamente debido al crecimiento poblacional, la contaminación y el cambio climático.

**Figura 3. Uso del agua por distintos sectores**



Los recursos disponibles deben repartirse entre numerosos usuarios además de tener en cuenta las necesidades del medio ambiente. Cuando se considera la distribución del agua, la agricultura es el sector con mayor demanda con las dos terceras partes de los recursos hídricos. También hay una demanda creciente para el turismo y los usos urbanos e industriales que compiten por un acceso a un recurso cada vez menos disponible (Figura 3). Con el 15% del comercio mundial, los productos agropecuarios son uno de los vectores básicos del intercambio de agua y nutrientes.

En el año del Bicentenario, analizaremos los hitos más importantes de la ganadería en la Provincia de Buenos Aires, asociados a los ciclos de sequías e inundaciones, y al cambio sufrido por los humedales pampeanos en estos doscientos años.

A fines del siglo XVIII, en el Río de la Plata aparece el salado de carnes en forma comercial debido a franquicias aduaneras y al abaratamiento de la sal. Sin embargo, la verdadera industria bonaerense surge posteriormente por el libre intercambio y medidas de fomento que implantan los primeros gobiernos nacionales. La exportación de carne salada siguió en constante aumento y Europa era el mercado más importante.

En 1810, la creciente producción de carne salada trajo como consecuencia el aumento del precio de la carne fresca, un alimento de las clases populares. Este hecho, sumado a la gran sequía, preocupó a la Primera Junta que debió tomar medidas, y prohibió la matanza de animales sin permiso de las autoridades.

La sequía no sólo afectaba la provisión de aguas sino que provocó escasez de pastos en los campos. En los comienzos de la patria, ya se mencionan los ciclos de sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires y su impacto en la actividad ganadera.

Entre 1829-1832 se produjo otra importante sequía en la provincia de Buenos Aires que causó la muerte de 11.000 cabezas de ganado en una sola estancia en Chascomús.

Fue en 1832 cuando John Whitakker intentó introducir el primer molino “wind power hydraulic machine”. El inventor recomendaba a los ganaderos su uso para asegurar el continuo suministro de agua para sus haciendas; su invento, sin embargo, generó desconfianza de los ganaderos. En 1858 se realizó la Primera Exposición agrícola rural argentina, y en 1866 se creó la Sociedad Rural Argentina. En 1880, los molinos de viento se exhibieron en sus exposiciones, y en 1901 se introdujo su complemento indispensable, el tanque australiano.

En 1884 Florentino Ameghino publicó su obra “Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe”. Allí criticó las obras de canalización y sostuvo la importancia de las obras de retención para la recarga de acuíferos y reserva para los períodos de sequía.

En esa época no existían los conocimientos actuales de la dinámica del agua subterránea, y resultaba de suma importancia la reserva en lagunas y bajos como aguadas naturales, indispensables para la explotación ganadera y principal limitante a la producción en esos años. Aunque muchas observaciones del ilustre naturalista mantienen vigencia, deben situarse dentro del contexto del conocimiento científico-tecnológico de su época.

Los registros pluviométricos sistemáticos de una serie histórica de 100 años en la llanura pampeana permiten detectar períodos más húmedos y más secos. Pueden mencionarse las grandes sequías de 1920-1930, cuando se produjo el desecamiento de las Lagunas Encadenadas del Oeste.

En contraposición, en la década del 70 del siglo pasado se instaló un período húmedo con algunas interrupciones, y se produjeron grandes inundaciones en la Cuenca del Salado. Durante la inundación de 1980, precipitaron 60 km<sup>3</sup> de agua en un mes, y se evaporaron o escurrieron sólo 5 km<sup>3</sup> en tres meses, por lo que quedó el territorio inundado un largo tiempo.

La llanura pampeana tiene una superficie aproximada de 600.000 km<sup>2</sup>, una exigua pendiente 10 – 30 cm / km y escaso desarrollo de red de drenaje. Por lo tanto, prevalecen los movimientos verticales de agua sobre los horizontales. La transferencia horizontal, en la cual se moviliza por arroyos, ríos y canales hasta llegar al mar, se dificulta por su escasa pendiente. La transferencia vertical está dominada por la evapotranspiración y la infiltración.

En esta región, se encuentran las lagunas pampásicas con características singulares que cumplen importantes funciones y brindan múltiples servicios a los pobladores de la zona. Algunas de las funciones y servicios son la descarga y recarga de acuíferos, el control de inundaciones, la regulación del clima, la provisión de agua, su utilización con fines recreativos y, en algunos casos, la recepción de aguas servidas domésticas. En las últimas décadas, los cambios en el uso de la tierra en la región pampeana y, más concretamente, la intensificación de las actividades agropecuarias contribuyó al deterioro de estos cuerpos de agua.

Las lagunas pampásicas, componente central del humedal pampeano, poseen orígenes geomorfológicos diversos y un perfil de sartén: tienen una profundidad media de 1,5 m y poseen sedimentos limosos. Esto permite que la columna de agua no posea estratificación térmica, lo que se manifiesta con una circulación y oxigenación continua de la columna de agua como el patrón de circulación de los lagos polimícticos.

Estos cuerpos de agua se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de material particulado en suspensión y de sustancias húmicas y baja transparencia. Estas características, sumadas al aporte de nutrientes producto de las actividades agropecuarias, la escorrentía y el vertido de efluentes domésticos sin tratamiento, hacen que estos cuerpos de agua sean generalmente eutróficos y en épocas de escasas precipitaciones puedan colmatarse.

Experimentan profundos cambios en la superficie, la profundidad y la salinidad de sus aguas en función de los ciclos de sequía-inundación. Las lagunas más conservadas son las que se encuentran en la zona denominada Pampa Deprimida. Este área presenta un rango medio de temperaturas anual de 13-16 C y una marcada diferencia de temperatura estacional entre los veranos (21-23 C) y los inviernos (7-9 C).

Las características químicas más relevantes de estos cuerpos de agua son la alcalinidad sin la presencia de un anión dominante, salinidad menor a 3 g/L, una alta dureza (sobresaturación de calcita y dolomita) y una alta demanda química de oxígeno (DQO) como indicador del contenido de materia orgánica.

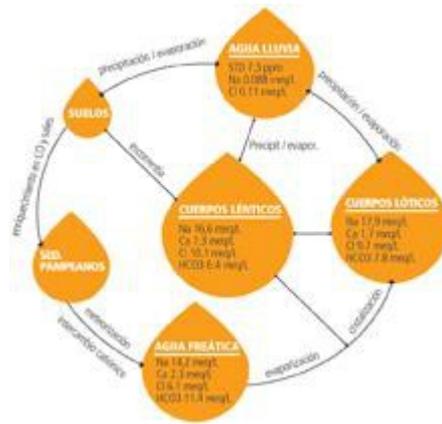
Al considerar la abundancia relativa de los diferentes iones, todas las lagunas tienen elevada concentración de Na, de haluros solubles y de bicarbonatos de modo que son bicarbonatadas sódicas o cloruradas sódicas bicarbonatadas. Estas particularidades hacen que estos cuerpos de agua sean singulares con respecto a otros cuerpos de agua en el ámbito mundial, donde la salinidad es de 120 mg/L y los iones presentes son generalmente  $Ca > Mg > Na > K$  y  $HCO_3 > SO_4 > Cl$ . Los procesos de meteorización y de cristalización- evaporación no pueden por sí solos explicar la composición química de estos cuerpos de agua, en las cuales el proceso de intercambio iónico es muy importante (Figura 4).

Estos procesos fueron analizados a través de relaciones iónicas, y se determinó que el intercambio catiónico entre Ca y Na posee una importancia en la evolución hidroquímica del agua subterránea a través de los sedimentos loésicos, siendo ésta una de las fuentes de agua superficial. Los estudios isotópicos permitieron confirmar la relación entre las aguas subterráneas someras y las superficiales.

Además de realizar un relevante aporte a las lagunas pampásicas, manteniendo su volumen de base, las aguas subterráneas de la región presentan un mayor contenido de sílice que las aguas superficiales. El ciclo del silicio es fundamental para algunos organismos como las diatomeas que utilizan a este elemento en la síntesis de sus frústulos.

El análisis de las diatomeas presentes en la Laguna de Chascomús evidencia una abundancia estacional de diatomeas ligada a la concentración de sílice, aunque la dominancia de los taxones específicos se mantiene constante. Las diatomeas compiten por los nutrientes con otras algas, algunas de las cuales son tóxicas.

**Figura 4. Procesos geoquímicos en la cuenca baja del Río Salado.**



Las sustancias húmicas son componentes normales de la materia orgánica soluble que se originan fundamentalmente como producto de la descomposición de vegetales y que, en concentraciones elevadas, imparten a las aguas un color marrón característico.

Estas sustancias presentes en todas las lagunas pampásicas son importantes en los cuerpos de agua ya que complejan iones metálicos a través de sus porciones hidrofílicas. Así reducen la concentración de los iones libres y por lo tanto su toxicidad. Se asocian a contaminantes hidrofóbicos y, en general, juegan un rol fundamental en los ciclos biogeoquímicos. Además, pueden interactuar con sustancias orgánicas polares como los hidratos de carbono y con sustancias no polares como los hidrocarburos aromáticos policíclicos de manera reversible influyendo en su biodisponibilidad.

El proceso de eutrofización de estos cuerpos de agua está intensificado por la influencia antrópica, a causa de las actividades agropecuarias e industriales y de vertidos de efluentes domésticos que aumentan el aporte de nutrientes a los mismos.

Sin embargo, la velocidad de eutrofización depende de las características hidrogeoquímicas de cada ambiente. En los cuerpos de aguas con elevada dureza, la velocidad de eutrofización se encuentra atemperada debido a la posibilidad de formación de carbonato de calcio que induce la coprecipitación de fosfato, y como consecuencia provoca la disminución de la biodisponibilidad de este nutriente responsable de la proliferación algal desmedida.

Con relación al carbonato de calcio, las sustancias húmicas tienen la propiedad de absorberse sobre la superficie del carbonato e inhibir el crecimiento de los núcleos, dificultando de esta manera su precipitación. Como resultado, el fenómeno de co precipitación de fosfato está disminuido y, por lo tanto, ese nutriente tiene mayor posibilidad de ser asimilado por los organismos.

Estos estudios constituyen un aporte importante al conocimiento de estos ecosistemas frecuentes en una zona de gran importancia económica en Argentina. Además, pueden servir de modelo para comprender otros cuerpos de agua de dinámica muy susceptible a influencias climáticas, cuyo tratamiento difiere notablemente del que se aplica a los grandes lagos del hemisferio Norte. La hidroquímica de las lagunas pampásicas es compleja debido a las características singulares de dichos cuerpos de agua y a los diferentes procesos que intervienen. A su vez, dichas lagunas están afectadas en diverso grado por las actividades que se desarrollan en el área. Estas modificaciones alteran las funciones y servicios que desempeñan estos cuerpos de agua. Las medidas de mitigación y la gestión que se planifiquen para revertir su deterioro, deben considerar la hidroquímica de las lagunas así como los procesos involucrados para garantizar un eficiente manejo.

Es importante señalar que una gestión ambiental deficiente de los agroecosistemas y las urbanizaciones pampeanas aumentará el nivel de eutrofización del humedal y sus lagunas. Y que

la restauración de las lagunas turbias no vegetadas hacia un estado de aguas más claras no es fácil ni barato.

Las medidas que garanticen el manejo ambiental del agroecosistema evitarán un futuro sombrío de lagunas hipereutrofizadas, altamente turbias, con sedimentos anóxicos, con comunidades vegetales y animales simplificadas, con altos niveles de materia orgánica en ambientes altamente reductores, con mortandades masivas de peces y aves, y riesgos para la salud pública (Figura 5).

**Figura 5. Cambios en la llanura pampeana en los últimos doscientos años.**

PASADO	PRESENTE
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pasturas naturales</li><li>• Drenajes naturales</li><li>• Densidad animal relativamente baja</li><li>• Lagunas dominadas por macrofitas</li><li>• Sedimentos ácidos no saturados en P</li><li>• Bajo contenido de MO en aguas (ambientes + oxidantes)</li><li>• Bajos niveles de nutrientes</li><li>• Muy altos niveles de nutrientes</li><li>• Comunidades vegetales y animales en equilibrio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asentamientos urbanos, agrícolas, industriales</li><li>• Drenajes modificados</li><li>• Densidad animal relativamente alta</li><li>• Lagunas dominadas por fitoplancton</li><li>• Sedimentos hipoxicos o anoxicos saturados en P</li><li>• Alto contenido de MO en aguas (ambientes más reductores)</li><li>• Comunidades vegetales y animales simplificadas</li><li>• Mortandades de aves y peces</li><li>• Riesgos para la salud pública</li></ul>

Las ciencias permiten detectar y analizar los problemas, identificar soluciones y asegurar la adopción de directrices de política y acciones adecuadas para la mayor parte de los actuales problemas ambientales y del desarrollo. En este contexto, es imprescindible el rescate de la función del espacio universitario, como ampliación de horizontes teóricos y conceptuales.

La importancia crucial de los recursos de agua dulce para una nación plantea desafíos e interrogantes al sistema científico-tecnológico. Los progresos en el manejo de los sistemas acuáticos continentales dependen y dependerán del conocimiento de los principios de funcionamiento de estos sistemas, y serán sostenibles si se realizan integradamente en el contexto de la cuenca hidrográfica, la unidad territorial adecuada para la gestión integrada del agua.

La generación de conocimientos en ciencias del agua requiere la priorización de actividades que sean capaces de unir el sistema científico tecnológico con la educación, manteniendo un sistema plural desde la ciencia y la tecnología hacia el desarrollo social.

La problemática del agua involucra una estrecha relación entre la naturaleza, la ciencia, la tecnología y la sociedad. La producción de conocimientos científico-tecnológicos debe estar acompañada por las estrategias y mecanismos de vinculación con los actores sociales que aplicarán esos conocimientos para que los primeros sean efectivamente un aporte a la solución de problemas.

### **Bibliografía**

1. Fernández Cirelli A. y P. Miretzky, 2004. Ionic relations: a tool for studying hydrogeochemical processes in Pampean shallow lakes (Buenos Aires, Argentina). *Quaternary International* 114:113-121.
2. Fernández Cirelli, A. 2007. Hidroquímica de las lagunas pampásicas. 295-304. En: Milka Castro y L. Fernández Reyes (eds). *Gestión Sostenible de Humedales*. Ed., Santiago de Chile, Chile.
3. Giberto, H.C.E. 1954. *Historia económica de la ganadería argentina*. Editorial Raigal, Buenos Aires, 204 pp
4. Quirós, R., M.B. Boveri, C.A. Petracchi, A.M. Rennella, J.J. Rosso, A. Sosnovsky y H.T. von Bernard. 2006. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. 1-16. En: J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi, C. Sidagis Galli (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*, Instituto Internacional de Ecologia, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Inter -

- Academy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences. 531p
5. Volpedo, A.V., N. Schenone y A. Fernández Cirelli. 2009. El proceso de eutrofización en la región pampeana (Argentina). 110-126. En: Eds. A. Fernández Cirelli y L. Amaral. Los recursos hídricos en la Región del Mercosur: estudios de caso. Jaboticabal FUNESP. 140 pp