

Cómo están y adónde van los lagos y arroyos uruguayos

Por Mariana Meerhoff y sus colegas*

Se está desarrollando una investigación en lagos de poca profundidad y arroyos uruguayos cuyo objetivo principal es contribuir a comprender y predecir la respuesta de ecosistemas acuáticos vulnerables, frente al cambio climático y cambios en el uso del suelo. Este conocimiento es fundamental a la hora de diseñar planes de conservación o de manejo de dichos ecosistemas, y para la preparación frente a un futuro escenario de cambios en el clima y de mayor intensificación en el uso del suelo.

La creciente población humana y el consecuente aumento en el consumo de bienes y servicios asociados a los ecosistemas, han generado una serie de cambios ambientales globales de enorme magnitud. Todos los tipos de ecosistemas están sufriendo importantes modificaciones a nivel mundial, y se prevé que la intensificación de la urbanización, la agricultura y otras actividades humanas llevarán a que no haya ecosistemas naturales sin perturbación en la segunda mitad de este siglo. Los ecosistemas de agua dulce brindan servicios fundamentales para la vida humana, entre los que se encuentran la provisión de agua para riego, consumo animal y humano, generación de energía, navegación, pesca, recreación, contemplación y conservación de la biodiversidad, pero también la recepción de efluentes domésticos e industriales.

Tanto los lagos de poca profundidad como los arroyos están dentro de los ecosistemas naturales más fuertemente impactados. Estos ecosistemas suelen sufrir diversas presiones que han deteriorado su calidad ambiental, tales como la contaminación química con nutrientes provenientes de fertilizantes, agroquímicos y/o efluentes industriales y domésticos, contaminación térmica (por efluentes con altas temperaturas producidos por fábricas o centrales térmicas), extracción de grandes volúmenes de agua para riego y consumo, introducción accidental o deliberada de especies exóticas y modificación del hábitat por la construcción de embalses o canalizaciones.

Uruguay, donde lagos y arroyos constituyen los principales ecosistemas de agua dulce, no es ajeno a los procesos de deterioro que ocurren en el mundo. En particular, en la última década ha tenido lugar una importante expansión e intensificación sin precedentes de la agricultura, caracterizada por emprendimientos agrícolas a gran escala y el uso de nuevas tecnologías, desde maquinaria hasta la ingeniería genética que genera nuevas semillas.

Eutrofización

El aumento de la cantidad de nutrientes en los ecosistemas acuáticos (predominantemente de nitrógeno y fósforo), denominado eutrofización, constituye uno de los mayores problemas ambientales a nivel mundial. Estas sus-



Estación de monitoreo en arroyo Puntas del Pantanoso. Contiene la estación meteorológica, el equipo programado para tomar muestras de agua del arroyo en forma automática, y las baterías que alimentan estos equipamientos

tancias llegan en el agua que ingresa por flujo superficial y subterráneo, y son generadas a partir de las actividades desarrolladas en todo el territorio que drena hacia el ecosistema acuático, tales como industrias, aguas residuales de pueblos y ciudades, tambos, agricultura, ganadería, etc. El aumento de estos nutrientes genera un aumento excesivo de la fertilidad de los ecosistemas que supera su capacidad natural de captación y reciclaje.

Este aumento de la fertilidad provoca el desarrollo de los organismos que anteriormente estaban naturalmente limitados. Las consecuencias suelen ser un crecimiento masivo de plantas acuáticas, tanto de aquellas que se encuentran sumergidas como aquellas que flotan sobre la superficie (tales como repollitos de agua, camalotes, etc.), y/o el aumento de la turbidez del agua por el desarrollo de algas microscópicas y la ocurrencia de floraciones de cianobacterias, en muchos casos tóxicas (comúnmente llamadas aguas verdes o verdín). Dicho crecimiento masivo de plantas y/o algas genera variaciones muy grandes de la concentración de oxígeno con frecuente falta de oxígeno en el agua en la noche y/o en verano, cuando la temperatura es alta, con efectos drásticos como mortan-

dad masiva de peces en casos extremos. Este proceso no sólo disminuye la biodiversidad sino que afecta muchos de los servicios que dichos ecosistemas brindan a la sociedad en condiciones naturales, en particular la potabilización de agua para consumo humano.

Trama trófica

Ante el aumento en la cantidad de nutrientes, también suelen ocurrir cambios en la conformación y dinámica de la trama trófica, comúnmente llamada cadena alimentaria. En los lagos templados del hemisferio norte estos procesos han sido muy estudiados. Sin embargo, la comprensión del funcionamiento de lagos de zonas cálidas, como Uruguay, es menor. Las investigaciones realizadas hasta el momento sugieren que la conformación de la trama trófica de los lagos y arroyos cálidos, independientemente del ingreso y concentración de nutrientes, se parece a la de lagos y arroyos templados que tienen alta concentración de nutrientes.

Esto significa que los ecosistemas cálidos tienen una mayor vulnerabilidad a las perturbaciones externas que ecosistemas templados similares, además de los problemas causados por la eutrofización. Esto tiene serias implicancias para el manejo y conservación de estos cuerpos de agua, y para la aplicación exitosa de programas de restauración o rehabilitación.

Cambio climático

A estos impactos sobre los sistemas acuáticos mencionados, sumamente documentados e innegables, se suman los efectos potenciales del cambio climático. Un aumento de la temperatura ambiente, así como un cambio en el patrón de precipitaciones, pueden afectar a los ecosistemas naturales de muchas formas. Los organismos pueden responder con alteraciones genéticas, fisiológicas, cambios en su distribución espacial, tanto expandiéndose a zonas donde antes la temperatura baja inhibía su desarrollo como emigrando de zonas donde las mayores temperaturas les resultan desfavorables; o modificando el inicio y la duración de procesos como la reproducción, hi-



Arroyo Chal Chal. De izquierda a derecha: Franco Teixeira de Mello, Mariana Meerhoff, Ivan Gonzalez Bergonzoni y Guillermo Goyenola, retirando del lecho del arroyo el equipo que mide características del agua



Franco Teixeira de Mello midiendo el caudal del arroyo Puntas del Pantanoso en evento de crecida

bernación, floración, migración, etc. En muchos casos las especies no pueden responder a estos cambios ambientales, lo que lleva a su extinción local.

Estos cambios tienen consecuencias sobre las demás especies con las que interactúan, como son los depredadores, sus presas, los parásitos, especies competidores, etc., con posibles repercusiones sobre el funcionamiento global de los ecosistemas. Por otra parte, cambios en el clima pueden afectar procesos de erosión en la cuenca, además del ciclo hidrológico, modificando el patrón de ingreso de nutrientes que llegan a los ecosistemas acuáticos. Nuestra comprensión de tales efectos es todavía fragmentada, a pesar del enorme esfuerzo llevado a cabo por miles de investigadores en todo el mundo.

Muchos de los impactos mencionados actúan en forma simultánea sobre los ecosistemas, llevando a que los efectos resultantes no sean los mismos que si los impactos ocurrieran en forma aislada. Aún no se comprende cabalmente los mecanismos ni el grado de interacción entre las perturbaciones externas, ni su vínculo con la variabilidad climática. La evidencia de campo y experimental es contradictoria y es particularmente muy escasa en sistemas acuáticos subtropicales, como los de Uruguay.

Investigación uruguaya

En este marco, se está desarrollando un proyecto de investigación en Uruguay en el que se analizan simultáneamente los procesos más importantes para el funcionamiento de los lagos de poca profundidad y arroyos. Se busca determinar la relación entre la calidad y cantidad de agua, los organismos presentes y sus interacciones, teniendo en cuenta la variabilidad del clima.

El objetivo principal es contribuir a comprender y predecir la respuesta de los ecosistemas acuáticos frente al cambio climático y cambios en el uso del suelo. Interesa comprender si las respuestas de los ecosistemas ante esa variabilidad climática difieren según el grado de impacto al que ya están sometidos, es decir, si su resistencia (capacidad de resistir un disturbio) y resiliencia (capacidad de retornar a la condición previa al disturbio) son disminuidas por la eutrofización.

La posible sinergia o potenciación entre la eutrofización y el cambio climático constituye uno de los temas de investigación más relevantes en el área. Otra gran pregunta de esta investigación es si arroyos y lagos responden en forma similar, o sea, si los efectos promovidos tanto por la variabilidad del clima como por el grado de impacto, superan las diferencias provocadas por la naturaleza de los sistemas de aguas quietas o corrientes.

El estudio se está realizando en dos arroyos, Chal Chal y Puntas del Pantanoso, ambos en Florida, seleccionados en función de usos del suelo contrastantes en sus cuencas, como son la ganadería extensiva que genera relativamente bajo impacto versus agricultura intensiva que genera potencialmente un alto impacto, y en dos lagos con nivel de impacto diferente, la Laguna Blanca y la Laguna Escondida, ambas en Maldonado. El aspecto más innovador de este proyecto de investigación es que para analizar estos aspectos se aplica una combinación de estrategias de investigación: muestreos sistemáticos y frecuentes, experimentos de campo y modelación matemática.

Desde fines de 2009 se realiza un monitoreo continuo y de alta frecuencia de la concentración de nitrógeno y fósforo, así como de la acidez, concentración de oxígeno, y turbidez del agua, entre otras características, además de un monitoreo de las variables meteorológicas como la precipitación, radiación solar, humedad, y la temperatura ambiente, y de muestreos intensivos de los principales organismos acuáticos.



Arroyo Puntas del Pantanoso. De izquierda a derecha: Brian Kronvang, Néstor Mazzeo, Niels Ovesen, Rasmus Rasmussen, Mariana Meerhoff, Iván González-Bergonzoni, instalando los equipos

Por otra parte, se realizan experimentos en los sitios de estudio para analizar el papel que juegan algunas especies en el funcionamiento de los ecosistemas, en particular interesa conocer cambios en la abundancia y la dieta de determinados organismos ante cambios en las condiciones climáticas.

Por último, se pretende analizar y modelar matemáticamente la relación entre la variabilidad climática y la hidrología de los arroyos; el impacto de usos del suelo de distinta intensidad (agrícola contra ganadería extensiva) sobre la dinámica de nutrientes en el agua de los arroyos y lagunas, así como modelar la probabilidad de ocurrencia de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas según cambios en la temperatura ambiente, entre otros.

En estos momentos continúa la etapa de registro de información, que será seguida de un intenso período de análisis y procesamiento de los datos obtenidos. Comprender las interrogantes planteadas en este proyecto es fundamental a la hora de diseñar planes de conservación o de manejo de nuestros ecosistemas, así como para la preparación frente a un futuro escenario de cambios en el clima y de mayor intensificación en el uso del suelo.

Esta investigación es posible gracias a la cooperación internacional, en particular por parte de la Universidad de Aarhus, en Dinamarca, y a fondos nacionales (Fondo Clemente Estable, Agencia Nacional de Investigación e Innovación; premio nacional L' Oréal-UNESCO para las Mujeres en la Ciencia), que han permitido el acceso a equipamientos de última tecnología y la financiación de estudios de grado y postgrado de varios investigadores uruguayos, así como la participación de un equipo interdisciplinario de investigadores extranjeros.

Bibliografía relevante

- Jeppesen, E. et al. (2011). Climate change effect on nitrogen loading from catchment; the implications for nitrogen retention and ecological state of lakes, and how to adapt. *Hydrobiologia* v- 663: p. 1-21.
- Meerhoff, M. F. et al. (2012). Environmental warming in shallow lakes: a review of potential changes in community structure as evidenced from space-for-time substitution approaches. *Advances in Ecological Research* v- 46, <En prensa>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being. Current State and Trends*. Washington D.C.: Island Press, .
- Moss, B., Madgwick, J. y Phillips, G. (1996). *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes*. Norwich, Eng.: Broads Authorities.
- Vitousek, P.M. (1994). Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* v. 75, p. 1861-1976.

*** La Dra. Mariana Meerhoff y sus colegas: MSc. Guillermo Goyenola, MSc. Franco Teixeira de Mello, MSc. Iván González-Bergonzoni, Dr. Carlos Iglesias, Lic. Claudia Fosalba, MSc Nicolás Vidal, Lic. Juan Pablo Pacheco, MSc. Juan María Clemente y Dr. Néstor Mazzeo, son investigadores del Departamento de Ecología y Evolución, Centro Universitario de la Región Este-Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Maldonado Uruguay.**