



Secretaría de Ciencia y Técnica
Universidad de Buenos Aires



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

EL DESARROLLO AGROPECUARIO ARGENTINO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Una mirada desde el PIUBACC



EL DESARROLLO AGROPECUARIO ARGENTINO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
Una mirada desde el PIUBACC

Autores/as:

Alejo Pérez Carrera (comp.)
Alejandra Volpedo (comp.)
Vicente Barros
Inés Camilloni
Maira Doyle
Marcela H. González
Eugenia M. Garbarini
Diana Domínguez
María L. Cariaga
Ezequiel Marcuzzi
Haydée Pizarro
Irina Izaguirre
Liliana Spescha
María Elena Fernández Long
Adela Véliz
Guillermo M. Murphy
Alejandra Volpedo
Esteban Avigliano
Federico Scartascini
Gustvo Thompson
Marcelo Hernando
Andrea Galatro
Gabriela Malanga
Ana M. Murgida
Fernando Martín Laham
Carlos Juan P. Chiappe
Martín Ariel Kazimerski
Daniel Olivera
Lorena Grana
Nora Maidana
Hugo Jacobaccio
Marcelo Morales
Pablo Tchilinguirian
Mariano Eriz
Esteban Otto Thomasz
María Teresa Casparri
Ana Silvia Vilker
Javier García Fronti
Pablo Matías Herrera
Jacier G. Fernández-Velasco
Mishka Talent
Roque Pedace

**EU
DE
BA**
Editorial
universitaria
de Buenos
Aires



**EU
DE
BA**

**EU
DE
BA**



UNIVERSIDAD DE
BUENOS AIRES



SE[CYT]30+
SECRETARÍA DE CIENCIA Y TÉCNICA

PIUBACC
PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO
DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

EL DESARROLLO
AGROPECUARIO
ARGENTINO EN
EL CONTEXTO DEL
CAMBIO CLIMÁTICO:
UNA MIRADA DESDE
EL PIUBACC

PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS
AIRES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (PIUBACC)

El desarrollo agropecuario argentino en el contexto del cambio climático : una mirada desde el PIUBACC / Vicente Barros ... [et al.] ; compilado por Alejo Pérez Carrera ; Alejandra Vanina Volpedo. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica, 2017.
132 p. + Mapas ; 22 x 15 cm.

ISBN 978-950-29-1618-7

1. Cambio Climático. 2. Desarrollo Agropecuario. I. Barros, Vicente II. Pérez Carrera, Alejo, comp. III. Volpedo, Alejandra Vanina, comp.

CDD 551.64



Eudeba
Universidad de Buenos Aires

Primera edición: mayo de 2017

© 2017

Editorial Universitaria de Buenos Aires
Sociedad de Economía Mixta
Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires
Tel: 4383-8025 / Fax: 4383-2202
www.eudeba.com.ar

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Rector
Alberto BARBIERI

Vicerrectora
Nélida CERVONE

Secretario General
Juan Pablo MAS VÉLEZ

Secretario de Ciencia y Técnica
Aníbal COFONE

Secretaria de Asuntos Académicos
María Catalina NOSIGLIA

Secretario de Posgrado
Daniel SORDELLI

Secretario de Educación Media
Oscar GARCÍA

Secretario de Extensión Universitaria
Gustavo GALLI

Secretario de Relaciones Institucionales, Cultura y Comunicación
Jorge BIGLIERI

Secretario de Hacienda y Administración
Emiliano YACOBITTI

Secretario de Relaciones Internacionales
Gabriel CAPITELLI

Secretario de Planificación de Infraestructura
Eduardo CAJIDE

Secretario de Desarrollo y Bienestar de los Trabajadores Universitarios
Jorge ANRÓ

Auditor General de la UBA
Roberto VÁZQUEZ

DECANOS

Facultad de Agronomía
Rodolfo GOLLUSCIO

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Luis BRUNO

Facultad de Ciencias Económicas
César Humberto ALBORNOZ

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Juan Carlos REBOREDA

Facultad de Ciencias Sociales
Glenn POSTOLSKI

Facultad de Ciencias Veterinarias
Marcelo Sergio MIGUEZ

Facultad de Derecho
Mónica PINTO

Facultad de Farmacia y Bioquímica
Cristina ARRANZ

Facultad de Filosofía y Letras
Graciela Alejandra MORGADE

Facultad de Ingeniería
Horacio SALGADO

Facultad de Medicina
Sergio Luis PROVENZANO

Facultad de Odontología
Héctor José ALVAREZ CANTONI

Facultad de Psicología
Nélida CERVONE

Ciclo Básico Común
Jorge FERRONATO

SECRETARIOS DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Agronomía
Secretaría de Investigación y Posgrado
Adriana KANTOLIC

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica
Guillermo RODRÍGUEZ

Facultad de Ciencias Económicas
Secretaría de Investigación y Doctorado
Adrián RAMOS

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Secretaría de Investigación
Eduardo CÁNEPA

Facultad de Ciencias Sociales
Secretaría de Estudios Avanzados
Mercedes DI VIRGILIO

Facultad de Ciencias Veterinarias
Secretaría de Ciencia y Técnica
María Laura FISCHMAN

Facultad de Derecho
Secretaría de Investigación
Marcelo ALEGRE

Facultad de Farmacia y Bioquímica
Secretaría de Ciencia y Técnica
Ana María BALASZCZUK

Facultad de Filosofía y Letras
Secretaría de Investigación
Cecilia PÉREZ de MICOU

Facultad de Ingeniería
Secretaría de Investigación
Luis FERNÁNDEZ LUCO

Facultad de Medicina
Secretaría de Ciencia y Técnica
Roberto DIEZ

Facultad de Odontología
Secretaría de Ciencia y Técnica y Transferencia Tecnológica
Juan Carlos ELVERDIN

Facultad de Psicología
Secretaría de Investigaciones
Martín ETCHEVERS

EL DESARROLLO AGROPECUARIO ARGENTINO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA MIRADA DESDE EL PIUBACC

*Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires
sobre Cambio Climático (PIUBACC)*

El presente trabajo fue financiado por la Universidad de Buenos Aires, Proyectos de Fortalecimiento y Divulgación de los Programas Interdisciplinarios, PIUBACC-F1 “Definición de estrategias participativas en políticas de gestión de los efectos del cambio climático sobre el sector agroalimentario”.

La coordinación de actividades realizadas en el marco de los proyectos de Fortalecimiento y Divulgación de los Programas Interdisciplinarios de la UBA estuvo a cargo de Mg. Paula Senejko y Lic. Deborah Hedges, de la Dirección de Articulación Institucional e Interdisciplinaria, Secretaría de Ciencia y Técnica.

COMPILADORES

Alejo L. PÉREZ CARRERA
Alejandra V. VOLPEDO

COMITÉ CIENTÍFICO

Alejo L. PÉREZ CARRERA
Mariano ERIZ
Javier GARCÍA FRONTI
Andrea GALATRO
Gabriela MALANGA
Daniel OLIVERA
Haydée PIZARRO
Esteban Otto THOMASZ
Alejandra V. VOLPEDO

INTEGRANTES DEL PROYECTO DE FORTALECIMIENTO PIUBACC 2016

María Teresa CASPARRI
Alicia Fernández CIRELLI
Miguel FUSCO
Andrea GALATRO
Javier GARCÍA FRONTI
Gabriela MALANGA
Ana MURGIDA
Daniel E. OLIVERA
Roque PEDACE
Alejo Pérez CARRERA
Haydee PIZARRO
Deborah TASAT
Esteban Otto THOMASZ
Alejandra VOLPEDO

ÍNDICE

Prólogo.....	11
Proyecciones climáticas para lo que resta del siglo XXI en el centro y este de la Argentina	15
<i>Vicente Barros / Inés Camilloni / Moira Doyle</i>	
La predicción estadística de la lluvia estacional como herramienta para la toma de decisiones en un contexto de cambio climático	21
<i>Marcela H. González / Eugenia M. Garbarini / Diana Domínguez / María L. Cariaga / Ezequiel Marcuzzi</i>	
El cambio climático en interacción con otros factores de impacto antropogénicos en el agua dulce.....	29
<i>Haydée Pizarro / Irina Izaguirre</i>	
Algunas consecuencias del cambio climático sobre los procesos productivos agropecuarios	37
<i>Liliana Spescha / María Elena Fernández Long / Adela Veliz A. / Guillermo M. Murphy</i>	
Influencia ambiental sobre los peces: una mirada integral en tiempo y espacio	47
<i>Alejandra Volpedo / Esteban Avigliano / Federico Scartascini / Gustavo Thompson</i>	
Cambio climático: efectos en organismos fotosintéticos y comunidades acuáticas	57
<i>Marcelo Hernando / Andrea Galatro / Gabriela Malanga</i>	
Modos adaptativos bajo condiciones hidroclimáticas extremas	65
<i>Ana María Murgida / Fernando Martín Laham / Carlos Juan Pedro Chiappe / Martín Ariel Kazimierski</i>	

Proyectos de interfaz ciencia-política y la reducción de incertidumbre en el desarrollo productivo en el Comahue.....	75
<i>Ana María Murgida / Martín Ariel Kazimierski</i>	
Cambio climático y cambio social en ambientes de riesgo: el aporte de los estudios de paleoambiente en la puna argentina.....	87
<i>Daniel Olivera / Lorena Grana / Nora Maidana / Hugo Yacobaccio / Marcelo Morales / Pablo Tchilinguirian</i>	
Medición de la vulnerabilidad social al cambio climático en poblaciones rurales.....	99
<i>Mariano Eriz / Esteban Otto Thomasz</i>	
Valuación económica del cambio climático: el caso del sector agrícola argentino.....	105
<i>Esteban Otto Thomasz / María Teresa Casparri / Ana Silvia Vilker</i>	
Incentivos estatales para el desarrollo agropecuario responsable en Argentina en el contexto del cambio climático.....	111
<i>María Teresa Casparri / Javier García Fronti / Pablo Matías Herrera</i>	
Biocombustibles de microalgas y biogasificación: rol en el largo plazo para la adaptación y la mitigación del cambio climático de las dos tecnologías.....	119
<i>Javier G. Fernández-Velasco / Mishka Talent / Roque Pedace</i>	
El desarrollo agropecuario argentino en el contexto del cambio climático: una mirada desde el PIUBACC.....	127

PRÓLOGO

Los impactos del cambio climático y global en Argentina han generado diferentes problemáticas emergentes y heterogéneas en todas las esferas de la vida social. Por estas razones, se plantean para nuestro país una serie de escenarios actuales y futuros en los que el cambio climático altera las condiciones productivas para las actividades agropecuarias, modifica situaciones de mercado, incrementa riesgos sanitarios y profundiza las situaciones de vulnerabilidad de la población. Esto destaca la necesidad del diseño de estrategias para su mitigación y la adaptación a sus efectos en una escala local, regional y nacional.

La Universidad de Buenos Aires, como institución generadora de conocimiento científico y de posicionamientos estratégicos al servicio de la sociedad, se encuentra comprometida, desde hace varios años, con el desarrollo de investigación relativa al cambio climático y global. En particular, la Secretaría de Ciencia y Técnica ha impulsado el Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático y Global (PIUBACC), que fuera creado en 2007 como una propuesta institucional novedosa para contribuir, mediante la participación de diferentes especialistas, con la elaboración de una visión estratégica en relación con los cambios a enfrentar en las próximas décadas, participar en la negociación internacional y favorecer el desarrollo del conocimiento sobre cambio climático en la región. El PIUBACC ha permitido integrar interdisciplinariamente las distintas investigaciones y evidencias científicas en la materia para institucionalizar la integración de los equipos de investigación de la Universidad a fin de socializarlos y establecer sinergias entre sus trabajos e impulsar la divulgación de los avances científicos y colocarlos al servicio de la sociedad para contribuir a reducir incertidumbres. Esto se ha plasmado en el desarrollo de talleres, reuniones

con especialistas, Jornadas Interdisciplinarias PIUBACC y publicaciones con la coparticipación de investigadores de otras universidades latinoamericanas y de organismos gubernamentales y no gubernamentales.

El PIUBACC ha asumido tres ejes fundamentales de trabajo:

- integrar interdisciplinariamente las distintas investigaciones y evidencias científicas en materia de cambio climático y global;
- proponer un espacio institucional para la integración, socialización y potenciación de los equipos de investigación de la Universidad que se encuentran trabajando en la materia;
- impulsar la divulgación y la concientización pública de los avances científicos y el diseño de alternativas frente a las problemáticas asociadas al cambio climático.

En la Argentina, la producción agropecuaria es uno de los pilares fundamentales de la economía. El cambio climático global produce directa e indirectamente diferentes efectos sobre las actividades agropecuarias tales como la reducción de áreas de pastoreo, la modificación de las comunidades vegetales (pasturas naturales), el deterioro de acuíferos y el aumento de la vulnerabilidad sanitaria del ganado, entre otros. Por otro lado, también puede potenciar las externalidades negativas de la actividad agropecuaria con el ambiente y la sociedad.

Por todo ello, resulta imprescindible potenciar los esfuerzos en materias tales como investigación, colaboración interinstitucional, difusión y acceso a la información actualizada, y participación en los foros internacionales referidos al cambio climático y, en particular, en su relación con el sector agropecuario.

Esta publicación surge en el marco del Proyecto de Fortalecimiento *“Definición de estrategias participativas en políticas de gestión de los efectos del cambio climático sobre el sector agroalimentario”*, y reúne la visión de los diferentes grupos de trabajo participantes de PIUBACC, así como los resultados de las reuniones y actividades realizadas en este marco.

Este trabajo integrado entre los grupos participantes del Proyecto de Fortalecimiento tuvo entre sus principales objetivos sintetizar en esta publicación lineamientos útiles para incorporar a las políticas vinculadas con el cambio climático y el sector agroalimentario, facilitar la divulgación de las distintas dimensiones de la problemática y de las iniciativas con que la Universidad de Buenos Aires pretende responder a ellas. Por medio de trece artículos temáticos y un artículo de integración, este libro aspira a convocar al trabajo coordinado a través del cual los ámbitos políticos y sociales, científicos y tecnológicos de todo el país elaboren y consensúen una agenda integral

que afronte escalonadamente los desafíos que el cambio climático impone al presente y al futuro de nuestro país.

Además, se continuará fortaleciendo la presencia y contribuciones del programa en las instituciones y foros, tanto nacionales como internacionales. Todo lo mencionado contribuirá de manera significativa a aumentar la visibilidad y consideración del PIUBACC en los diferentes ámbitos y escenarios mencionados, pero también en la opinión pública en dirección a la concientización de las problemáticas que trae aparejadas el cambio climático.

PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA LO QUE RESTA DEL SIGLO XXI EN EL CENTRO Y ESTE DE LA ARGENTINA

Vicente Barros,^{1,2} Inés Camilloni^{1,2} y Moira Doyle^{1,2}

RESUMEN

Se presentan las proyecciones de la temperatura y la precipitación en las regiones húmedas y semiáridas de Argentina para lo que resta del siglo XXI. Los cambios en la precipitación respecto de las condiciones actuales, en general menores a 100 mm, no suponen mayor relevancia y, aunque positivos en el promedio de los modelos utilizados, no muy seguros en el signo. En cuanto a la temperatura, la tendencia al calentamiento –creciente durante el siglo– no ofrece dudas y afectaría más al norte de la región, en el escenario de mayor concentración de gases de efecto invernadero. Los cambios serían más notables en las condiciones climáticas extremas, con una reducción del número de días con heladas, un aumento de días con olas de calor y mayor frecuencia de precipitaciones intensas, con el consecuente agravamiento de los riesgos de inundación. Por último, se discuten brevemente algunos de los impactos más notorios de estos cambios en la agricultura y la ganadería.

ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los modelos climáticos globales (MCGs) son programas informáticos que simulan el comportamiento del clima. Utilizan las leyes físicas y químicas de los procesos que rigen la atmósfera, los océanos y la criosfera y

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires, Argentina.

2. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina

aproximaciones experimentales para algunos procesos no bien conocidos. Mediante suposiciones sobre las futuras concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), permiten generar escenarios climáticos. Estos escenarios no son predicciones, sino estados posibles del clima que dependen de las suposiciones sobre las concentraciones de GEI. Como hay incerteza sobre las futuras concentraciones de GEI, se generan escenarios climáticos que abarcan la gama más probable de estas concentraciones.

La comunidad científica con capacidad de desarrollar escenarios climáticos ha coordinado su actividad de modo que sus resultados sean comparables. En 2012 publicaron e hicieron disponible un conjunto de escenarios climáticos basados en 42 MCGs denominado CMIP5 (Taylor *et al.* 2012).

Los escenarios CMIP5 utilizan trayectorias de concentraciones de GEI desde el año 2000 hasta el 2100. Hay cuatro escenarios representativos, a los que se nombra, por sus siglas en inglés, como RCP. Se los distingue por el forzamiento radiativo de origen antrópico con en el que arriban al año 2100, expresado en watts/m^2 . En este artículo se presentan los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. El primero corresponde a un escenario moderado de aumento de emisiones de GEI que todo parece indicar como bastante probable. El segundo es un escenario extremo, que se produciría si persisten las tendencias actuales de crecimiento de las emisiones globales.

Con estos escenarios se puede tener una aproximación sobre la evolución del clima para lo que resta del siglo. Con ese objeto, en este artículo se muestran los cambios respecto de las condiciones cercanas a las actuales (1986 - 2005) de la temperatura media, máxima media y mínima media, y precipitación en dos periodos, 2021-2040 y 2016-2100 (Figuras 1 y 2) de los promedios de los 42 experimentos del conjunto CMIP5. El primer periodo es el de interés directo para la planificación de la infraestructura y otras actividades de adaptación al cambio climático. El segundo da una idea de la tendencia de cambio del clima para el resto del siglo.

LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LO QUE RESTA DEL SIGLO XXI

Para ambos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5), en el futuro cercano, el calentamiento respecto del presente estaría dentro del rango de 0,5 y 1 °C (Figura 1). Esto significa una importante aceleración del calentamiento observado en los últimos 50 años, que fue, en general, menor a medio grado. A pesar de ello, la mayor parte de la Argentina sería la región continental sobre la que se proyecta el menor calentamiento del mundo. La excepción es el norte del país y, sobre todo, el noroeste, donde se daría un mayor calentamiento.

Los cambios en las temperaturas medias mínimas y máximas son muy parecidos a los de las temperaturas medias, pero en el escenario RCP8.5 se ve un mayor aumento en las temperaturas mínimas, cosa que fue también registrada en las tendencias de las temperaturas observadas 1960-2010 (CIMA, 2014). Las proyecciones de los parámetros indicadores de las temperaturas extremas son consistentes con el aumento generalizado de las temperaturas y con las tendencias observadas entre 1960 y 2010; esto es, menos heladas y más días con olas de calor. Estas últimas se han incrementado notablemente en el norte del país y han sido muy importantes en la Mesopotamia, la pampa húmeda, Chaco y Formosa. A su vez, las heladas se reducirían hasta en 10 días menos por año en el sur de Buenos Aires y desaparecerían en el norte de la región húmeda (CIMA/SayDS, 2014).

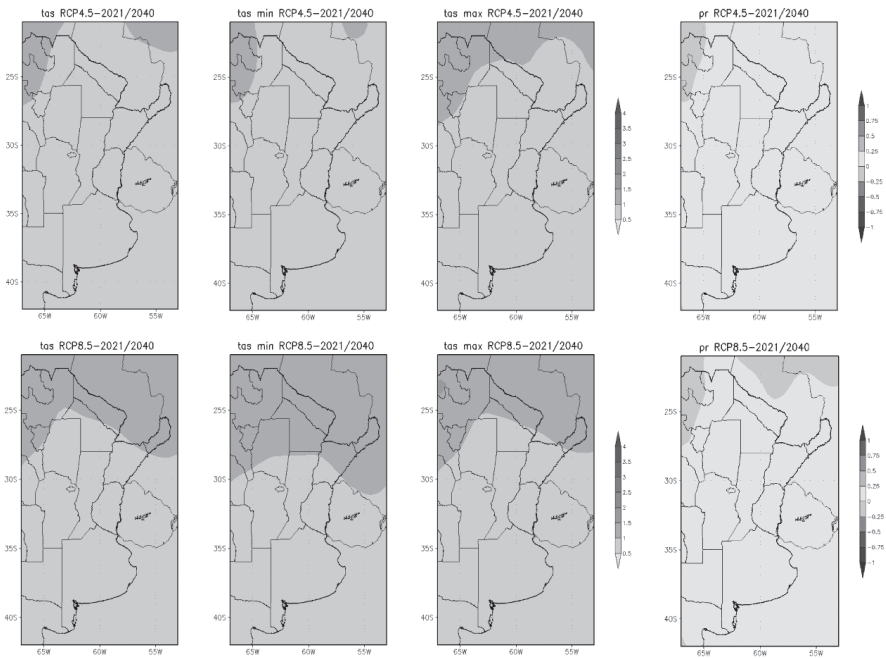


Figura 1. Escenarios de cambio de temperatura media, mínima y máxima (°C) y precipitación (mm/día) para los períodos 2021-2040, respecto de 1986-2005 para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 derivados del promedio de 42 modelos climáticos globales del conjunto CMIP5.

Las proyecciones de las precipitaciones anuales tienen en promedio un ligero incremento respecto de 1986-2005 menor a 100 mm anuales, lo que está

en el orden del error de su estimación. Con temperaturas algo más elevadas y probables ligeros incrementos en la precipitación, no se deberían esperar demasiados cambios en el balance hídrico y, por lo tanto, los aumentos de este balance registrados en las últimas décadas por las mayores precipitaciones serían preservados.

Como resultado del cambio climático, hay una tendencia general en todos los continentes hacia mayores precipitaciones en episodios de precipitación intensa (IPCC: 2012). En la Argentina, los cambios ya observados en la segunda mitad del siglo pasado, en el que las precipitaciones intensas se hicieron más frecuentes, continuarán en el futuro cercano, lo que agravará el riesgo de inundaciones. En la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe, las inundaciones de llanura prolongadas por meses, que abarcan miles de kilómetros cuadrados, se originan en precipitaciones muy grandes que se prolongan por el orden de un mes o más (Garavaglia *et al.*, 2014). En el futuro cercano, estas lluvias tenderían a aumentar muy por encima de las precipitaciones medias, por lo que, sin grandes cambios en otras condiciones –como el uso del suelo u obras de drenaje– el riesgo de estas inundaciones de llanura seguirá aumentando (Barros *et al.*, 2014).

En la región semiárida del centro del país, donde hay un período prácticamente sin lluvia en el invierno, durante 1960-2010 este período seco se ha alargado, especialmente en el norte de Córdoba y Santa Fe y en las provincias de Santiago del Estero, Chaco y Formosa, (CIMA 2014). Algunos modelos (no todos) indican que este período seco se extendería en el futuro en todos los escenarios de concentraciones de GEI. Si esto fuera así, la combinación de mayores temperaturas y prolongados períodos secos generaría un mayor estrés hídrico con impactos negativos sobre la vegetación y la ganadería.

Para fin del siglo, se proyecta un mayor calentamiento con muchas diferencias entre escenarios. En el escenario RCP8.5, el calentamiento respecto del presente es de más de 2,5 °C en las regiones húmeda y semiárida y de más de 4 °C en el extremo noroeste (Figura 2). En este escenario en el norte del país, la producción agropecuaria, la vida y el bienestar de la población se verían muy afectados, especialmente en las zonas donde ya las temperaturas son muy elevadas en el verano. En los dos escenarios, las temperaturas extremas, máximas, y sobre todo, las mínimas medias aumentan más que las temperaturas medias, lo que agrava los impactos.

También para fin de siglo, excepto en el noreste, el aumento de la precipitación se mantendría debajo de los 100 mm, pero la incerteza sobre este aumento, combinada con el fuerte calentamiento en el escenario RCP 8.5 y la consecuente mayor evaporación, conllevan el riesgo de aumento de las condiciones de estrés hídrico, las que se harían más probables hacia el norte.

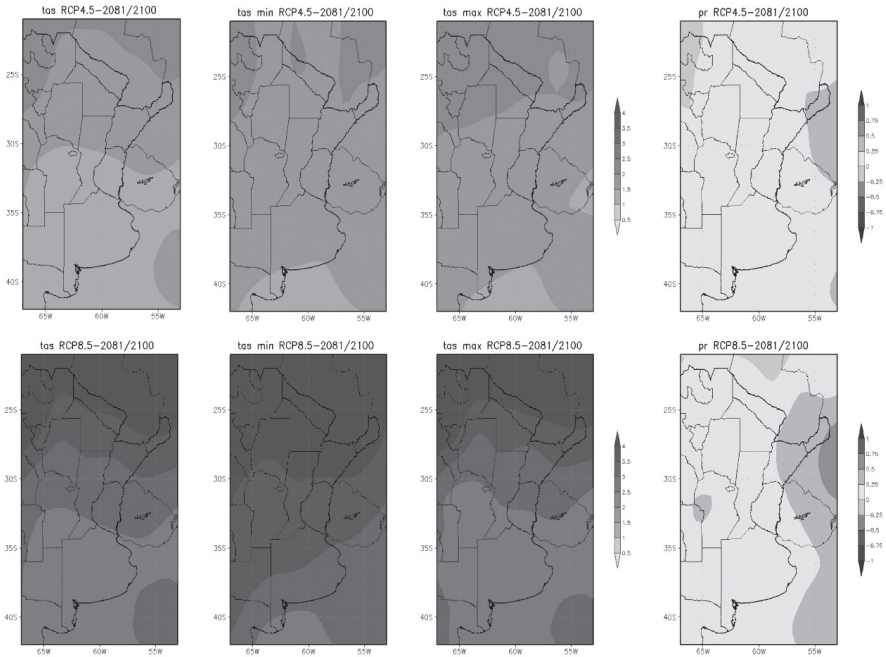


Figura 2. Escenarios de cambio de temperaturas media, mínima y máxima (°C) y precipitación (mm/día) para el período 2081-2100 respecto de 1986-2005 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de 42 modelos climáticos globales del conjunto CMIP5.

CONSIDERACIONES FINALES

Mientras que los cambios en la precipitación respecto de las condiciones registradas en las últimas décadas no serían relevantes ni demasiado seguras en signo, en los dos escenarios hay una tendencia al calentamiento, creciente durante el siglo, que sería más notoria en el norte de la región, y en el escenario de mayor concentración de GEI.

Usando modelos fenológicos, Magrín *et al.* (2007) estimaron que, con un ambiente enriquecido del CO₂ atmosférico, mayor temperatura y moderado incremento de las precipitaciones como los que se proyectan, habría mayor productividad de granos en el sur de la región húmeda y pérdidas en el norte. La soja sería el cultivo actual con el mayor incremento de productividad (Magrín *et al.* 2007), aun con aumentos de la temperatura media anual de 3 °C (Magrín *et al.* 2002). En cuanto a la ganadería, el cambio más significativo

se registraría en la segunda mitad del siglo, cuando la ganadería tropical con razas indias se desplace hacia el sur debido al corrimiento en esa dirección de la isoterma de 26 °C durante el mes más cálido. Por la misma razón, la ganadería de clima templado debería reducirse, principalmente hacia al centro y sur de Buenos Aires y la Pampa (SAyDS 2015).

REFERENCIAS

- Barros, V., C. Garavaglia y M. Doyle (2014): "Twenty First century Projections of Extreme Precipitations in the Plata basin". *International Journal of River Basin Management*, 4, 373-387.
- CIMA/SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación) (2014): *Informe sobre el clima al Proyecto Tercera Comunicación Nacional a la CMNUCC*, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Buenos Aires, 331 pp. y anexos.
- Garavaglia C., M. Doyle and V. Barros (2014): "Statistical Relationship between Atmospheric Circulation and Extreme Precipitation in La Plata Basin". *Meteorological Applications*, 21, 553-562.
- IPCC (2012): "Summary for Policymakers". En Field, C., V. Barros, T. Stocker, D. Qin, D. Dokken, K. Ebi, M. Mastrandrea, K. Mach, G.-K. Plattner, S. Allen, M. Tignor y P. Midgley (eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge y New York, Cambridge University Press, pp. 1-19.
- Magrin G. y M. Travasso (2002): "An integrated climate change assessment from Argentina". En Doering, O., J. Randolph, J. Southworth, R. Pfeifer (eds.), *Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. pp. 193-219.
- Magrin, G., M. Travasso, W. Baethgen, M. Grondona, A. Giménez, G. Cunha, J. Castaño y G. Rodriguez (2007): Past and future changes in climate and their impacts on annual crops yield in South East South America. En *IPCC/TGICA Expert Meeting on Integrating Analysis of Regional Climate Change and Response Options (IPCC)*, Nadi, Fiji, pp. 121-124. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/supportingmaterial/tgica_reg-meet-fiji-2007.pdf.
- SAyDS (2015): *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Buenos Aires, 2014. 256 pp.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer y G. A. Meehl (2012): An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485-498.

LA PREDICCIÓN ESTADÍSTICA DE LA LLUVIA ESTACIONAL COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

*Marcela H. González^{1 2}, Eugenia M. Garbarini^{1 2}, Diana Domínguez³,
María L. Cariaga³ y Ezequiel Marcuzzi⁴*

RESUMEN

En el marco de la importancia que tiene la precipitación en las distintas actividades humanas y sabiendo que aquella ha sufrido cambios relevantes en los últimos 50 años, en este trabajo se propone mostrar que el conocimiento de los forzantes climáticos que influyen en la precipitación estacional puede utilizarse para la generación de modelos estadísticos que permitan predecir la lluvia con antelación y que se utilicen para mejorar la eficiencia de las actividades socioeconómicas.

LAS TENDENCIAS OBSERVADAS DE PRECIPITACIÓN

El cambio climático en la Argentina se manifiesta en distintas variables meteorológicas. Probablemente, una de las más importantes –por su incidencia en las actividades humanas– sea la precipitación. Utilizando 67 estaciones correspondientes a la red de medición del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961-2012, Argentina se subdividió en varias regiones homogéneas. En cada una de ellas se evaluó el cambio ocurrido en los totales

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires, Argentina.

2. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

3. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires, Argentina.

4. Secretaría de Ambiente, Servicio Nacional de Manejo del Fuego. Buenos Aires, Argentina.

de precipitación anual y estacional. En la Figura 1, se puede observar que, en el norte argentino, Córdoba y San Luis, el litoral, el norte patagónico y La Pampa, Buenos Aires y Misiones, la tendencia de precipitación anual es positiva. La región del Comahue y la del sur patagónico son las únicas que presentan una tendencia negativa en su régimen de precipitación anual (González *et al.*, 2016).

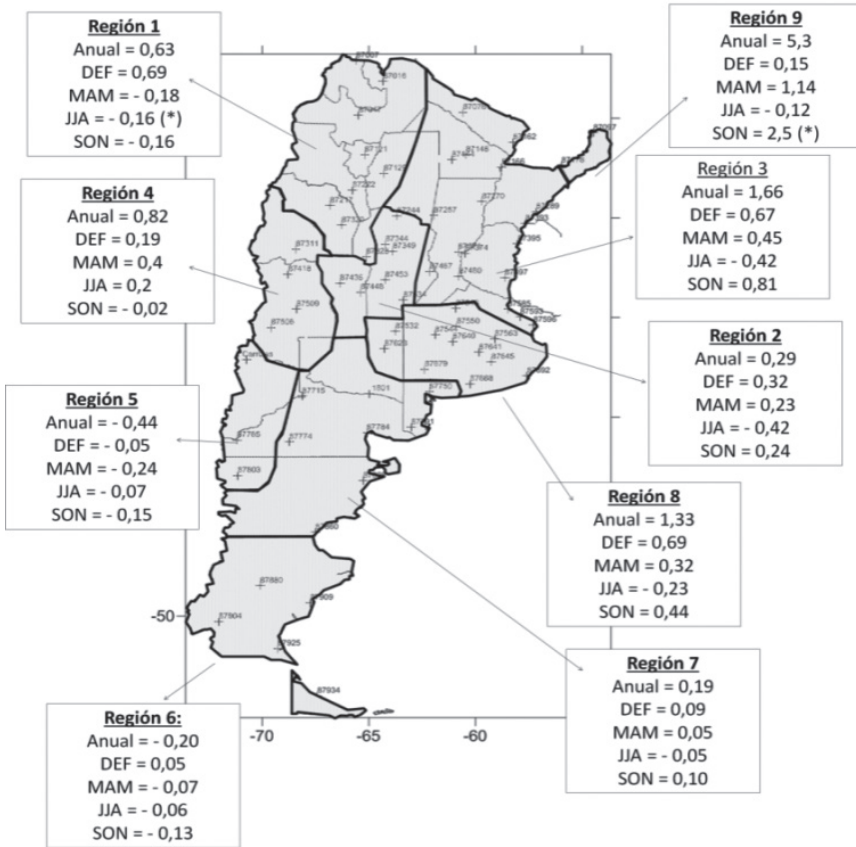


Figura 1. Tendencias observadas de precipitación anual y estacional en el periodo 1961-2012 para distintas regiones argentinas. El sombreado verde (marrón) corresponde a un crecimiento (decrecimiento) en la precipitación anual acumulada en DEF (diciembre-enero-febrero), MAM (marzo-abril-mayo), JJA (junio-julio-agosto) y SON (setiembre-octubre-noviembre). Se indica el número de estación en cada punto. Fuente: González *et al.* (2016).

LOS PRONÓSTICOS ESTACIONALES UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS

En un país donde los cambios en la precipitación son tan relevantes y sabiendo que los resultados de la Tercera Comunicación Nacional de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS) muestra proyecciones a futuro en las que se profundizan las tendencias observadas en el pasado, resulta indispensable poder programar las actividades económicas de forma eficiente. En dicha comunicación se muestra que, en general, los cambios proyectados para la precipitación media anual serían inferiores al 10% en todo el país. Los mayores cambios proyectados son un descenso moderado en el oeste y sobre la cordillera en la Patagonia norte y central y en Mendoza, y un aumento en el centro y el este del país.

Los pronósticos estacionales de precipitación y otras variables relacionadas permiten planificar las actividades con el objetivo de minimizar los impactos negativos de estos cambios, por un lado, y de sacar el mayor provecho de los positivos, por otro. Es cierto que existen muchos centros mundiales que proveen pronósticos (dinámicos y estadísticos) de distintas variables en todo el mundo. Sin embargo, la eficiencia que muestran es limitada, y cuando se trata de pronosticar la lluvia acumulada en un trimestre con antelación, resulta muy importante estudiar los forzantes climáticos regionalmente y utilizarlos en modelos estadísticos especialmente diseñados para cada región y para cada variable a pronosticar. Un forzante climático es una anomalía de alguna variable que actúa como disparador de otras anomalías climáticas. En general, se conoce que un forzante como el ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) influencia la lluvia; sin embargo, existen otros que deben ser tenidos en cuenta a la hora de efectuar un pronóstico eficiente, sobre todo en años en que la señal del ENOS es débil o nula.

En el caso de la región del Comahue, la mayor cantidad de precipitación se produce en invierno. Estas lluvias aportan sustancialmente a los caudales de los ríos Neuquén y Limay, que son utilizados principalmente para dos actividades: la generación de energía hidroeléctrica –utilizando las represas presentes en ambos ríos– y el suministro de riego para el valle del río Negro, donde la precipitación es escasa y se cultivan frutales de calidad (Romero y González 2016). En este marco, se han realizado modelos de pronóstico de la precipitación acumulada en el trimestre invernal, para las cuencas de ambos ríos, que pueden ser evaluados al principio del trimestre. A modo de ejemplo, se muestra el resultado de varios modelos de pronóstico estadístico diseñados para pronosticar el Índice de Precipitación Estandarizada en la cuenca del río Neuquén (Figura 2) esperada para la temporada desde mayo

hasta septiembre. Este índice detecta la situación de gravedad de las sequías (índice negativo) o de los excesos (índice positivo). Los modelos utilizan como predictores las condiciones previas que se observan en la atmósfera y el mar y que son los forzantes climáticos observados como, por ejemplo, la situación del ENOS, las temperaturas del océano Atlántico y Pacífico en las costas de la Argentina, y los centros de altas y bajas presiones (González y Dominguez, 2012; González 2015). La Tabla 1 muestra la probabilidad de detección de los diferentes modelos en el caso de excesos (SPI positivos) y sequías (SPI negativos) y para producir falsas alarmas.

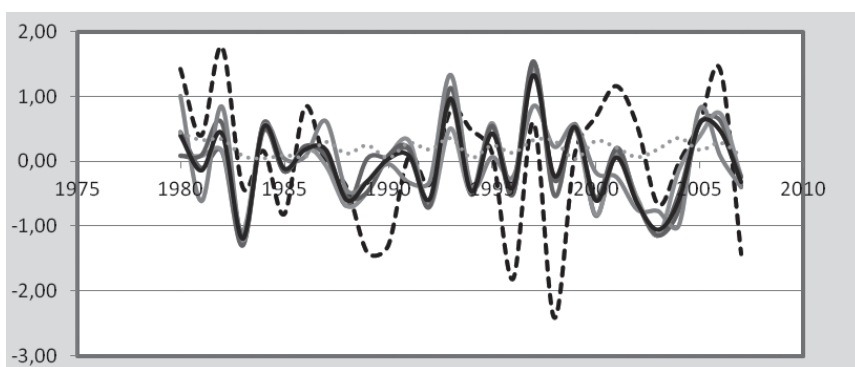


Figura 2. Índice de precipitación estandarizado, pronosticado con varios modelos estadísticos para la cuenca del Neuquén. La línea negra representa el ensamble de todos los pronósticos; y la punteada, el valor observado. Fuente: González (2015).

Probabilidad de detección (POD)	SPI<0	SPI>0	Relación de falsa alarma (FAR)	SPI<0	SPI>0
set1	0,79	0,93	set1	0,08	0,19
set2	0,6	0,77	set2	0,25	0,38
set3	0,69	0,8	set3	0,25	0,25
set4	0,77	0,87	set4	0,17	0,19
ensamble	0,71	0,86	ensamble	0,17	0,25

Tabla 1. Medidas de la eficiencia de los modelos para detectar años con excesos o sequías en la cuenca del río Neuquén para distintos conjuntos (sets) de predictores.

Fuente: González (2015).

Esta región, en verano, y sobre todo cuando existen condiciones de sequías tiene la problemática adicional de los incendios forestales. Utilizando un índice de incendio (FWI) que actualmente monitorea el Servicio Nacional de Manejo del Fuego de la Secretaría de Ambiente de la Nación, se ha desarrollado un modelo estadístico que, con base en condiciones que se observan en el mar y en la atmósfera, predice a principios de noviembre la posibilidad de riesgo de incendios para la temporada venidera en la localidad de Bariloche (Marcuzzi, 2014). Los resultados de la verificación del modelo pueden observarse en la Figura 3, donde se graficaron las series de FWI medio observado y estimado por el modelo estadístico generado.

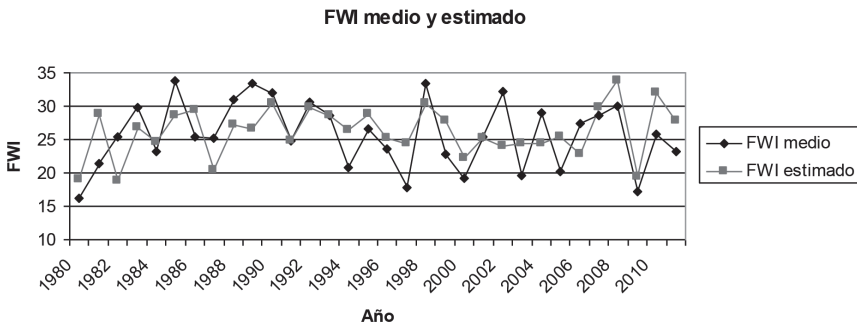


Figura 3. Índice de incendio observado y pronosticado por el modelo estadístico para Bariloche. Fuente: Marcuzzi (2014).

También la actividad agrícola y ganadera está altamente influenciada por la variabilidad de la precipitación. Grandes planicies en la Argentina subtropical están afectadas por inundaciones que producen pérdidas económicas y humanas. En toda esta región, las precipitaciones predominan en verano. En ese marco, se han desarrollado modelos de predicción de la lluvia estival en la zona central de la Argentina, donde se ha detectado que la predictibilidad disminuye hacia el oeste (Domínguez y González, 2013, 2015) y en la zona de Buenos Aires y alrededores (González y Cariaga, 2009; Cariaga y González, 2010). Estos modelos utilizan las condiciones previas de la atmósfera y de la temperatura del mar como posibles indicadores de la precipitación futura. Con ellos se definen predictores que se utilizan para generar una regresión lineal múltiple. La Figura 4 muestra los valores de eficiencia H, POD y FAR para los casos de precipitación sobrenormal (mayor al segundo tercil) y subnormal (menor al primer tercil) cuando se utilizan los modelos estadísticos desarrollados en cada área de prueba. El primer tercil representa el valor que deja por debajo de él los valores más bajos. Claramente puede

observarse que la eficiencia varía para las distintas áreas. Seguramente, estos valores pueden mejorarse no solo encontrando más y mejores predictores, sino utilizando técnicas de generación de modelos, como podrían ser las no lineales, entre otras.

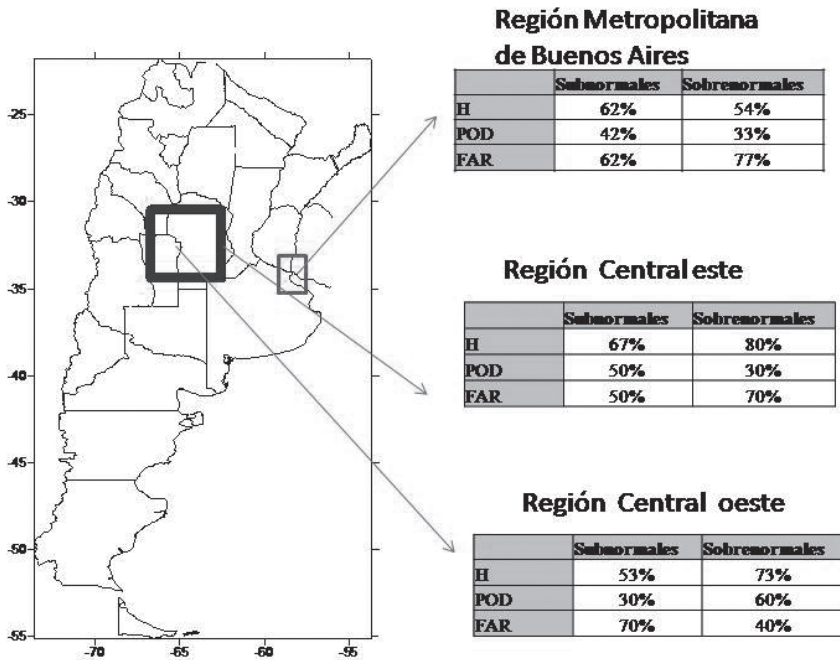


Figura 4. Eficiencia (H), probabilidad de detección (POD) y relación de falsa alarma (FAR) para los casos de lluvia sobrenormal y subnormal utilizando los modelos estadísticos de pronóstico de lluvia estacional.

En la cuenca del río Bermejo se ha estudiado la influencia de los cambios en la precipitación a largo plazo en la utilización del suelo. En particular, la problemática social asociada a los cambios en las actividades humanas, en las posibilidades de trabajo y en la dinámica de la ubicación de las poblaciones (Murgida *et al.*, 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se han mostrado algunas de las posibles utilidades de los pronósticos estadísticos de precipitación y de otros índices (como el de

incendios, sequías e inundación) para una mayor eficiencia en la toma de decisiones. Esta mejora impacta positivamente en el rendimiento de actividades humanas tan importantes como la agricultura, la producción de energía eléctrica, el turismo y la prevención de desastres, entre muchas otras. Seguramente, contar con dichos pronósticos con cierta antelación llevará a tomar decisiones más acertadas en cuanto a la apertura de compuertas en las presas, el riego artificial o las alertas de evacuación frente a fenómenos severos.

REFERENCIAS

- Cariaga, M. L., M. H. González (2010): "Un esquema de estimación de la precipitación estival en la ciudad de Buenos Aires", *Meteorológica*, 35 (1), 5.
- Domínguez, D. y M. H. González (2013): "Variabilidad de la precipitación en el centro oeste de Argentina y un modelo de predicción estadística", *Meteorológica*, 38 (2), 105-120.
- Domínguez, D., M. H. González (2015): "Previsão estatística da precipitação de verão no centro-oeste da Argentina", *Revista Ciencia e Natura*, 37, 75-82.
- González, M. H. (2015): "Statistical seasonal rainfall forecast in Neuquén river basin (Comahue Region, Argentina)". *Climate* 3, 349-364.
- González M. H., E. M. Garbarini, A. L. Rolla, S. Eslamian (2016): "Meteorological Drought Indices: Rainfall Prediction in Argentina". En S. Eslamian (ed.), *Handbook of Drought and Water Scarcity: Vol. 1, Principle of Drought and Water Scarcity, Chapter 29*, Taylor & Francis, Reino Unido, Abingdon. 540-567
- Marcuzzi, E. (2014). "Análisis de los patrones atmosféricos de circulación regional críticos para la ocurrencia de incendios forestales en la zona cordillerana de la Patagonia Argentina". Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Murgida, A. M., M. H. González y H. Tiessen (2014): "Rainfall trends, land use and adaptation in the Chaco Salteño region of Argentina". *Regional Environmental Change*, 14, Issue 4 (2014), 1387-1394.
- Romero, P. y M. H. González (2016): "Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte". *Revista ASAGAI (Asociación Argentina de Geología aplicada a la Ingeniería)*, Buenos Aires, Argentina, 36, 7-14

GLOSARIO

Forzante climático: es una anomalía que se produce en una variable atmosférica u oceánica y que puede ser indicativa de las anomalías de precipitación que se producen posteriormente.

Índice de precipitación estandarizado: es un índice calculado con base en la precipitación acumulada en un período de tiempo determinado. Los valores de IPE entre -0,5 y 0,5 indican una situación hídrica normal; los menores a -0,5, una situación seca; y los mayores a 0,5, una situación húmeda.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN INTERACCIÓN CON OTROS FACTORES DE IMPACTO ANTROPOGÉNICOS EN EL AGUA DULCE

Haydée Pizarro^{1 2 3} e Irina Izaguirre^{4 5}

RESUMEN

Los ríos y lagunas reciben el impacto de todas las actividades humanas de su cuenca. Cuando estas acciones interactúan con un fenómeno global como el del cambio climático, las consecuencias pueden ser impredecibles, y pueden transformarse en verdaderas “sorpresas ecológicas”. En la provincia de Buenos Aires, el incremento de la frecuencia e intensidad de las *sudestadas* altera significativamente los efectos de la contaminación en ríos urbanos. Por otro lado, en escenarios de calentamiento global, el cambio de uso de la tierra y la agriculturización pueden magnificar sus efectos en la eutrofización de lagunas de la región pampeana, lo que promueve floraciones de algunas especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas que pueden extenderse en el tiempo.

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua dulce son eficientes sensores de cambios globales, ya que responden rápidamente a alteraciones ambientales, integrando además

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina.

2. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB). Buenos Aires, Argentina.

3. Correo electrónico: hay@ege.fcen.uba.ar

4. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, . Buenos Aires, Argentina.

5. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB). Buenos Aires, Argentina.

toda la información de su propia cuenca (Adrian *et al.*, 2009). Factores como la temperatura o la velocidad del viento contribuyen a modificar los ciclos de turbulencia y mezcla del agua que afectan la estructura y dinámica de todo el sistema, lo que se traduce en alteraciones en las funciones y en los servicios ecosistémicos que ellos proveen (O'Reilly *et al.*, 2003). Ríos, arroyos, lagos y lagunas son vulnerables al cambio climático porque tanto la temperatura del agua como su disponibilidad están directamente relacionadas con el clima, porque muchos de los organismos que viven en ellos tienen limitadas posibilidades de dispersarse ante los cambios ambientales y, además, están expuestos a otros factores de cambio ambiental de origen antropogénico (Woodward *et al.*, 2010). Cuando los agentes de cambio actúan simultáneamente sobre el ambiente, los efectos conjuntos pueden ser de tipo antagónico, aditivo, o potenciarse sinérgicamente y, en la gran mayoría de los casos, el impacto resultante puede constituirse en una verdadera "sorpresa ecológica" (Townsend *et al.*, 2008).

Para los sistemas de agua dulce, los factores de cambio que provocan mayor impacto en los últimos 50 años incluyen las modificaciones en los regímenes acuáticos por el cambio del uso de la tierra, el cambio climático y la contaminación (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). En la provincia de Buenos Aires, los ríos y lagunas se ven directamente afectados por estos factores de cambio que, al interactuar, aumentan las consecuencias negativas de cada uno en estos sistemas.

El objetivo de este trabajo es presentar dos casos de efectos de interacción entre el cambio climático y otros factores antropogénicos sobre el agua dulce en la provincia de Buenos Aires, Argentina. En particular, se describirá cómo el fenómeno meteorológico regional denominado *sudestada*, cuya frecuencia e intensidad han aumentado debido al cambio climático condiciona el efecto de la contaminación en el río Luján. Por otro lado, la alteración en el régimen de lluvias en la región pampeana de la Argentina como consecuencia del cambio climático puede potenciar el impacto de las actividades humanas (agricultura, ganadería, urbanización, etc.) en lagunas de la provincia de Buenos Aires, por el aumento del ingreso de nutrientes que promueven la eutrofización, con la consecuente aparición de floraciones algales potencialmente tóxicas.

LAS SUDESTADAS Y LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LUJÁN

Las *sudestadas* son un fenómeno hidrometeorológico de corto plazo asociado con la ocurrencia de vientos del cuadrante sudeste, que producen el aumento del nivel del agua y un fuerte oleaje en el estuario del Río de la Plata, principalmente hacia la costa NE de la provincia de Buenos Aires. Esta

situación produce un “tapón hidráulico” que impide el normal drenaje de los ríos Paraná y Uruguay en el estuario (Barros *et al.* 2008). Esta situación genera fuertes inundaciones, que representan un gran riesgo “natural” que afecta a la región, ya que los vientos están muchas veces acompañados por exceso de lluvias intensas y prolongadas. Este fenómeno provoca un reflujos de agua en los ríos que conduce a una disminución de la descarga, al aumento en el nivel hidrométrico y a la modificación de muchas características del sistema.

El río Luján (59°37'W; 34°43'S) corre a través de una de las zonas más densamente pobladas del país. Tiene una cuenca de 3300 km² y su longitud total es de 130 km; nace de la unión de los arroyos El Durazno y Los Leones, en el partido bonaerense de Suipacha, recorren además los partidos de Mercedes, Luján, Pilar, Exaltación de la Cruz, Campana, Escobar, Tigre, San Fernando y San Isidro, desembocando sus aguas en el estuario del Río de la Plata. En los tramos medio e inferior, recibe el aporte de varios canales. El canal Arias le aporta el mayor caudal de agua, mientras que el aporte de los arroyos Escobar y Claro y el canal aliviador del río Reconquista es mucho menor. El canal Arias le aporta agua de muy buena calidad con baja concentración de nutrientes y alto contenido en oxígeno disuelto, proveniente del río Paraná de las Palmas. Por su parte, el arroyo Claro le incorpora agua con alto contenido de contaminantes de origen urbano e industrial, lo cual provoca el deterioro del río Luján aguas abajo de su ingreso. Asimismo, el canal aliviador del río Reconquista le agrega agua proveniente del río homónimo, uno de los más contaminados del país. En el tramo inferior del río Luján, las fuerzas que determinan su descarga son principalmente las fluctuaciones de caudal del río Paraná, el régimen de mareas del estuario del Río de la Plata y las *sudestadas* (Andrade, 1986).

Durante el lapso de dos años y medio, realizamos muestreos de variables físicas y químicas del agua en seis estaciones de muestreo de la zona inferior, entre 23,5 km y 12 km de la desembocadura del río Luján en el estuario del Río de la Plata. Se realizaron 30 muestreos mensuales, siete de los cuales correspondieron a eventos de *sudestadas* (Pizarro *et al.*, 2007).

El cambio en la calidad del agua del río Luján causado por el efecto de las *sudestadas* es evidente hasta los 18,5 km aguas arriba de su desembocadura. El efecto del tapón hidráulico se reflejó directamente en el estancamiento del agua (velocidad superficial nula) y en algunos casos se observó circulación reversa (dirección aguas arriba). Hasta esa distancia y por efecto de las *sudestadas*, se detectó el aumento significativo en la conductividad del agua y en las concentraciones de amonio, cloruros y sodio como resultado del reflujos

del agua proveniente del río Reconquista. Estas sustancias son producto de la probable degradación de materia orgánica aportada por industrias y aguas residuales. El incremento de estos valores es consecuencia de la entrada de sustancias debido a la escorrentía después de las lluvias que acompañan a los fuertes vientos de las sudestadas.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL USO DE LA TIERRA: SU INCIDENCIA EN LA RECURRENCIA DE FLORACIONES ALGALES EN LAGUNAS BONAERENSES

Las lagunas de la provincia de Buenos Aires se ven sometidas a enormes cambios producto de la actividad humana. Existen evidencias de que en un lapso de 20 años aumentó notablemente la proporción de lagunas turbias en la región (Quirós *et al.*, 2002; Kosten *et al.*, 2012; Diovisalvi *et al.*, 2015) lo que provoca una disminución de su biodiversidad. Esta transformación, que implicó la transición de las lagunas desde un estado claro con aguas transparentes y plantas acuáticas sumergidas a un estado turbio con gran desarrollo de algas fitoplanctónicas, fue adjudicada al cambio del uso de la tierra en la región. Estos sistemas, ubicados en el núcleo central de la actividad agrícola del país, reciben enormes cantidades de fertilizantes, lo que genera el enriquecimiento desmedido de las aguas, que implica, a su vez, una aceleración de los procesos de eutrofización. Además de fertilizantes, la formidable utilización de agroquímicos fosforados, como el glifosato, acentúa aún más esta problemática. Este herbicida elimina muchas especies fitoplanctónicas, mientras que para otras es una fuente de nutrientes. Pérez *et al.* (2009) demostraron el superlativo incremento de picocianobacterias (fracción autótrofa planctónica entre 0,2 y 2 μm de tamaño) por efecto del glifosato, lo que generó el enturbiamiento del agua (Vera *et al.*, 2010). Efectos similares fueron reportados para otros sistemas acuáticos en el mundo. Por ejemplo, en el lago Erie (Canadá), se demostró que el glifosato incrementa la abundancia de cianobacterias que forman floraciones como *Planktothrix* spp. (Saxton *et al.*, 2011); Forlani *et al.* (2008) registraron que *Microcystis aeruginosa*, cianobacteria que forma floraciones potencialmente tóxicas, tiene la habilidad de degradar al glifosato para utilizar el fósforo como nutriente.

Si se considera que el agua está directamente influenciada por las condiciones climáticas, las lagunas resultan verdaderos sensores de dicho cambio, así como también son sumidero de las modificaciones de toda su cuenca (Adrian *et al.*, 2009). En la región pampeana, en las últimas décadas, se ha registrado un aumento de las precipitaciones promedio, lo cual ha tenido

como consecuencia el desplazamiento de la frontera agrícola (*i.e.*, la isohieta de 600 mm) alrededor de 200 km hacia el sudoeste, lo que permite incorporar un área mayor a la agricultura de zonas tradicionalmente dedicadas a la ganadería. Por otra parte, la duración del verano se ha extendido y el otoño se ha vuelto más cálido (Barros *et al.*, 2006).

Los cambios proyectados en el régimen de lluvias (Barros *et al.*, 2008) –que generan a menudo inundaciones de diferente magnitud– afectarán el flujo de los ríos y el lavado de los suelos con la consecuente movilidad y dilución de los contaminantes hacia las lagunas, y esto impactará directamente en sus características estructurales y funcionales. El problema es mayor cuando las cuencas de las lagunas están bajo actividad agrícola con gran uso de agroquímicos, lo que aumenta significativamente la entrada de nutrientes por lavado. El efecto combinado del cambio climático y la modificación en el uso del suelo tiene consecuencias indeseables sobre las lagunas de la región. En un escenario de otoños comparativamente más cálidos, el incremento sostenido en la incorporación de nutrientes a los cuerpos de agua (mayor eutrofización) probablemente llevará a una mayor persistencia de floraciones de especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas (*e.g.*, *Microcystis aeruginosa* y otras cianobacterias). En este sentido, estudios llevados a cabo por Izaguirre *et al.* (2015) en lagunas pampeanas mostraron elevadas biomásas de fitoplancton y el desarrollo de floraciones algales persistentes en el otoño en muchas de ellas. El efecto combinado del cambio climático con la eutrofización en los cuerpos de agua fue claramente expuesto en el trabajo de Havens & Pearl (2015), quienes plantearon que con aguas más cálidas, en el futuro, para lograr un bajo nivel de floraciones se requerirá de una reducción significativa en las entradas de nutrientes.

Por otro lado, dentro de las consecuencias del cambio del régimen de lluvias provocadas por el cambio climático, también se extremarán en algunos sitios los episodios de sequías, las que afectan también a los sistemas de agua dulce. Los ríos reducen su caudal y aumenta el tiempo de residencia del agua en las lagunas asociadas, lo que también hace propicio el desarrollo de floraciones algales que conducen a la reducción de los niveles de oxígeno en profundidad. En aguas más quietas, con mayor temperatura que profundiza la estratificación de la columna de agua y una mayor disponibilidad de nutrientes que se incorporan desde la cuenca, algunas especies de cianobacterias encuentran condiciones ideales para su desarrollo explosivo.

La interacción entre la contaminación producto de la actividad agrícola y el cambio climático está generando enormes transformaciones en el recurso de agua dulce de la región pampeana, con el deterioro en los servicios ecosistémicos que provee. La aparición y persistencia de floraciones de especies potencialmente tóxicas trae serias consecuencias ecológicas con implicancias

también en la salud pública, ya que afectan tanto a los organismos acuáticos como a las personas.

CONSIDERACIONES FINALES

Como consecuencia del calentamiento global, hay un aumento importante en la frecuencia de las precipitaciones extremas, como así lo evidencian los cambios en la circulación atmosférica zonal en el extremo sur de Sudamérica. Como resultado de este fenómeno global, se prevé el aumento en frecuencia e intensidad de las sudestadas con el incremento en riesgo para la población del área más poblada de Argentina (Barros *et al.*, 2008). El panorama se agrava también en relación con los cuerpos de agua dulce como el río Luján, donde las sudestadas aumentan los efectos contaminantes de la actividad humana. En igual sentido, el cambio climático, que modifica el régimen de lluvias en la región pampeana, profundiza aún más los efectos contaminantes de los agroquímicos utilizados en la actividad agrícola tan desarrollada en la región. Estos ejemplos regionales demuestran que, cuando los factores de cambio antropogénico interactúan, las consecuencias ambientales por ejemplo sobre el deterioro de la calidad del agua dulce, serán mayores.

REFERENCIAS

- Adrian, R., C. M. O. Reilly, H. Zagarese, S. B. Baines, D. O. Hessen, W. Keller, D. M. Livingstone, R. Sommaruga, D. Straile y E. Van Donk (2009): "Lakes as sentinels of climate change". *Limnology and Oceanography*, 54, 2283–2297.
- Andrade, M. I. (1986): "Factores de deterioro en la cuenca del río Luján". Contribución del Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Barros, V., R. Clarke y P. Silva Díaz (eds.) (2006): *Climate change in the La Plata Basin*. Buenos Aires, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Barros V., A. Menéndez, C. Natenzon, R. Kokot, J. Codignotto, M. Re, P. Bronstein, I. Camillioni, S. Ludueña, D. Riós y S. González (2008): "Storm surges, rising seas and flood risks in metropolitan Buenos Aires". En N. Leary *et al.* (eds.), *Climate Change and Vulnerability*. Earthscan, Londres, Earthscan pp. 117-133.
- Diovisalvi, N., V. Y. Bohn, M. C. Piccolo, G. M. E. Perillo, C. Baigún y H. Zagarese (2015): "Shallow lakes from the Central Plains of Argentina: an

- overview and worldwide comparative analysis of their basic limnological features". *Hydrobiologia*, 752, 5-20.
- Forlani, G, M. Pavan, M. Gramek, P. Kafarski y J. Lipok (2008): "Biochemical bases for a widespread tolerance of cyanobacteria to the phosphonate herbicide glyphosate". *Plant & Cell Physiology*, 49, 443-456.
- Havens, K. E. y H. W. Pearl (2015): "Climate change at a crossroad for control of harmful algal blooms". *Environmental Science and Technology*. DOI: 10.1021/acs.est.5b03990
- Izaguirre I., M. L. Sánchez, M. R. Schiaffino, I. O'Farrell, P. Huber, N. Ferrer, J. Zunino, L. Lagomarsino, y M. Mancini (2015): "Which environmental factors trigger the dominance of phytoplankton species across a moisture gradient of shallow lakes?" *Hydrobiologia*, 752, 47-64.
- Kosten, S., M. Vernooij, E. H. van Nes, M. D. L. A. Gonzales Sagrario; J. G. P. W. Clevers y M. Scheffer (2012): "Bimodal transparency as an indicator for alternative states in South American lakes". *Freshwater Biology*, 57, 1191-1201.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington, World Resources Institute.
- O'Reilly, C. M., S. R. Alin, P-D. Plisner, A. S. Cohen y B. A. McKee (2003): "Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa". *Nature*, 424, 766-768.
- Pizarro, H, P. Rodríguez, S. M. Bonaventura, I. O'Farrell e I. Izaguirre (2007): "The 'sudestadas': a hydro-meteorological phenomenon that affect river pollution (Río de la Plata Estuary, South America). *Hydrological Science Journal*, 52 (4), 702-712.
- Quirós, R., J. J. Rosso, A. Rennella, A. Sosnovsky y M. Boveri (2002): "Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina)". *Interciencia*, 27, 58-591.
- Saxton, M. A., E. A. Morrow, R. A. Bourbonniere, S. W. Wilhelm (2011): "Glyphosate influence on phytoplankton community structure in Lake Erie". *Journal of Great Lakes Research*, 37, 4, 683-90.
- Townsend C, Uhlmann S, Matthaei C (2008): Individual and combined responses of stream ecosystems to multiple stressors. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1810-1819.
- Vera, M., L. Lagomarsino, M. Silvestre, G. Pérez, P. Rodríguez, H. Mugni, R. Sinistro, M. Ferraro, C. Bonetto, H. Zagarese y H. Pizarro (2010): "New evidences of Roundup® (glyphosate formulation) impact on the periphyton and the water quality of freshwater ecosystems". *Ecotoxicology*, 19, 710-721.
- Woodward, G.; D. M. Perkins y L. E. Brown (2010): "Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization". *Philosophical Transactions of The Royal Society B.*, 365, 2093-2106.

Zang, M., B. Qin, Y. Yu, Z. Yang, X. Shi y F. Kong (2016): "Effects of temperature fluctuation on development of cyanobacterial dominance in spring: implication of future climate change". *Hydrobiologia*, 763 (1), 135-146.

GLOSARIO

Antropogénico: efecto, proceso o material que surge como resultado de actividades humanas. En el mismo sentido se utiliza el término "antrópico".

Cianobacterias: organismos fotosintéticos procariotas (con células sin núcleo organizado ni membranas internas). Se encuentran dentro de los más abundantes seres que habitan la tierra, y están presentes en casi todos los ambientes. Contienen clorofila a y pigmentos como ficocianinas, que les dan un color típico, responsable del nombre clásico que presentan: algas azul verdosas.

Eutrofización: término utilizado para describir los efectos biológicos del aumento de la concentración de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) en ecosistemas acuáticos.

Fitoplancton: conjunto de organismos fotosintéticos adaptados a vivir toda o parte de sus vidas en aguas abiertas de cuerpos de agua. De tener movimiento propio, no pueden vencer la fuerza de las corrientes.

Floraciones algales: fenómeno ocasionado por el crecimiento masivo de organismos fitoplanctónicos microscópicos que, en condiciones ambientales favorables para su desarrollo, se multiplican explosivamente. Cuando la especie generadora de una floración es productora de toxinas, las consecuencias para el ambiente y la salud pública son muy negativas.

Glifosato (N-fosfonometilglicina, C₃H₈NO₅P): herbicida no selectivo, de amplio espectro, que elimina plantas indeseadas. Interfiere en la ruta del ácido shikímico de síntesis de aminoácidos aromáticos esenciales (fenilalanina, tirosina y triptófano).

Sinérgico: el efecto sinérgico implica una forma de interacción que da como resultado efectos combinados entre dos o más factores que resultan ser mayores que aquellos que podrían haberse alcanzado por la suma de los efectos de cada factor por separado.

ALGUNAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGROPECUARIOS

*Liliana Spescha^{1 2}, María Elena Fernández Long¹, Adela Veliz¹, Guillermo
Murphy¹*

RESUMEN

El cambio climático debe entenderse como un proceso global, cuyas consecuencias afectan a toda la humanidad. Sus efectos directos modifican los atributos y procesos del sistema (por ejemplo, la temperatura, las lluvias o la dinámica del agua). Pero igualmente importantes son sus efectos indirectos, que acompañan a causas de otra índole—por ejemplo, social o económica— y favorecen, impiden o retrasan sus consecuencias. Los sistemas de producción en la Argentina registraron en la última década un cambio hacia una agricultura continua y el desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente ganaderas. A su vez, los montes o bosques fueron ocupados por la ganadería, que sufrió un corrimiento a zonas marginales y ecológicamente frágiles. La modificación antropogénica del clima puede comprometer gravemente la provisión de alimentos, fibras, combustibles y otros bienes y servicios dependientes de la agricultura, y de contribuir al bienestar de los productores, al desarrollo rural y al crecimiento económico. La agricultura constituye, a la vez, un emisor neto de gases de efecto invernadero (GEI) y uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático. Además, enfrenta el doble desafío de reducir considerablemente sus emisiones de GEI y de aumentar la producción en 70% entre 2005 y 2050 hasta el nivel requerido para satisfacer una demanda creciente en un clima cambiante. Por todo lo expuesto, es necesario dar el puntapié

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina.

2. Correo electrónico: spescha@agro.uba.ar

inicial para concientizar a los distintos sectores involucrados en el proceso productivo, y esto se hará a través de la educación, capacitación y difusión de esta problemática.

DESARROLLO

La producción agropecuaria se ha incrementado en los últimos años por una mayor tecnología y un mayor crecimiento de la superficie agrícola, asociados a una mayor demanda mundial de alimentos. En la Argentina, los cultivos más importantes, trigo, soja, maíz y girasol, ocupan 30 millones de hectáreas y contribuyen al 30% del PBI.

El sector agropecuario es responsable del cambio climático, pero también padece sus efectos. El sector emite el 44% de los gases del efecto invernadero, el 60% de los cuales corresponde a los bovinos, y el 40%, al uso del suelo. Los principales gases emitidos son dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (NO_2), y metano (CH_4).

El CH_4 es el principal gas del sector pecuario (un bovino de 500 kg emite 1000 l/día de CH_4 , de los cuales 18-25 l corresponden al metano, que es 23 veces más potente que el CO_2 ; a su vez, el NO_2 principal gas del sector agrícola (fertilizantes nitrogenados y residuos de cosecha), tiene un poder de calentamiento de 310 a 350 veces más potente que el CO_2 .

Los efectos directos del calentamiento global sobre las temperaturas medias y extremas y sobre la cantidad y estacionalidad de las precipitaciones, y el aumento de la probabilidad de frecuencias de eventos extremos como sequías o inundaciones traen aparejadas importantes consecuencias (Murphy, 2010).

Las lluvias aumentaron en la región centro-este del país (Castañeda *et al.*, 1994), coincidente con el área de producción agrícola de secano, mientras que en el oeste, sobre la cordillera, disminuyeron. En la región patagónica han permanecido aproximadamente igual. El incremento de las precipitaciones repercutió sobre el contenido de agua en el suelo, lo que provocó significativos excesos en una parte importante de la región pampeana, como puede apreciarse en la figura 1 (Forte Lay *et al.*, 2001; Spescha *et al.*, 2004).

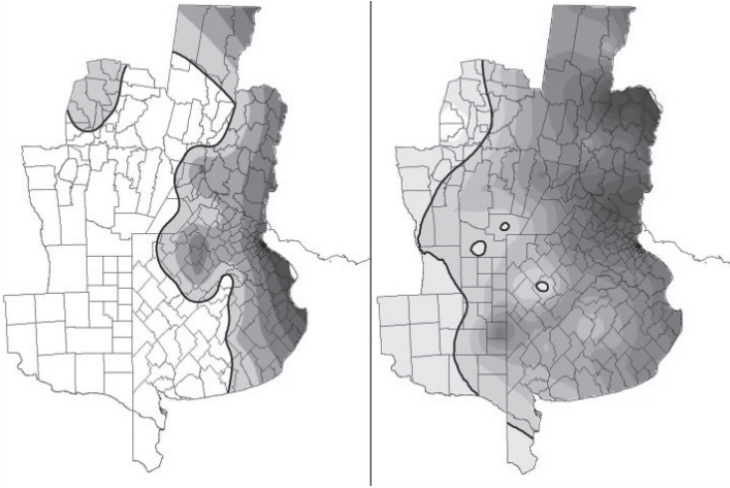


Figura 1: Excesos anuales para los períodos 1961-90 (izq.) y 1991-2015 (der).

Con mayor particularidad cabe analizar que algunos cambios en los sistemas de producción de nuestro país están vinculados, directa o indirectamente, con el cambio climático, así como lo están algunas consecuencias ambientales de dichos cambios.

En los últimos 20-25 años del siglo pasado, la clara ventaja de los resultados económicos de la actividad agrícola sobre la ganadería constituyó un forzante de gran importancia, generador del reemplazo de la actividad pecuaria por la agricultura y de la búsqueda de nuevas áreas para destinar a la producción de granos, con el consecuente desplazamiento de la ganadería a zonas marginales y/o su transformación hacia sistemas más intensivos de producción.

En efecto, en los últimos años hubo una reducción de varios millones de hectáreas dedicadas a esta actividad. En forma paulatina, el ganado vacuno fue transferido a regiones menos aptas para la agricultura. La región pampeana redujo en, aproximadamente, un 6% sus existencias de ganado bovino, mientras que el NOA, NEA y la región semiárida de San Luis y La Pampa aumentaron en total un 5,2% en igual lapso. Además, desaparecieron alrededor de 6000 tambos y ya se contabilizan unos 300 *feedlots*. La Figura 2 permite apreciar el espectacular incremento de la superficie dedicada a la agricultura, basado casi exclusivamente en el cultivo de soja, que creció en más de 12,5 millones de ha entre 1997 y 2014, mientras que el maíz permaneció estable, el trigo disminuyó levemente y el girasol y algodón disminuyeron en 900 mil y 700 mil hectáreas respectivamente.

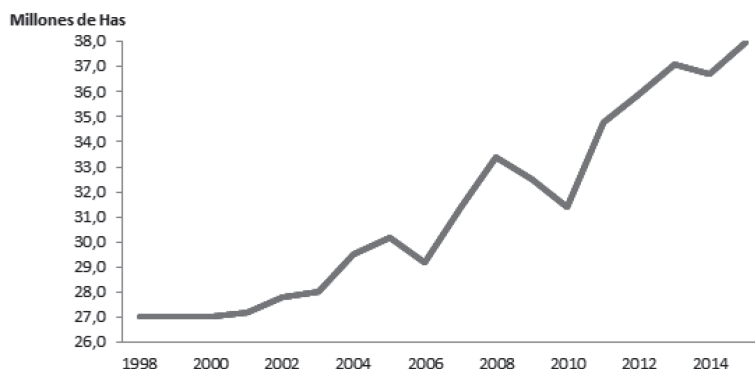


Figura 2: Evolución de la superficie agrícola en el período 1997/1998-2014/2015.
(Fuente: Ministerio de Agroindustria)

Todos estos cambios fueron posibles al ser acompañados por el aumento de las precipitaciones que, en mayor o menor medida, se produjo en toda la región de producción agrícola de secano en los últimos 30 años, y que permitió profundos cambios tecnológicos orientados hacia una mayor intensificación de la actividad agrícola. Esto se advierte en el incremento de los rendimientos, en el uso de fertilizantes y pesticidas, en el aumento de la superficie bajo riego y de la superficie en siembra directa y del uso de cultivos genéticamente modificados.

La expansión de la frontera agrícola se está produciendo hacia el oeste y noroeste de la región oriental de secano, y avanza hacia suelos y formaciones vegetales naturales en equilibrio con climas de transición entre la estepa semiárida o árida al oeste y los climas subhúmedos o húmedos de la región pampeana hacia el este. Son, por lo tanto, muy vulnerables a la gran variabilidad climática interanual de estas regiones y, aunque con frecuencia es posible encontrar signos de deterioro ambiental debido a la práctica de la agricultura en estas zonas, estos no han sido tan intensos gracias a la aplicación de prácticas tecnológicas adecuadas que acompañaron esta expansión. Tal es el caso de la siembra directa, por citar solo un ejemplo, que se aplica en más del 40% de los cultivos de trigo, más del 50% en los de maíz y más del 70% en los de soja. En este momento más de la mitad de la producción agrícola se hace bajo siembra directa.

Sin embargo, no pueden soslayarse los crecientes problemas de desertización que se están produciendo en nuestro país y la utilización del fuego como herramienta para renovar pastizales naturales y dedicarlos a la alimentación del ganado o como paso previo a la deforestación, lo que determina un avance sobre la agricultura. La quema de biomasa tiene consecuencias negativas

significativas sobre el ambiente, ya que contribuye al calentamiento global, genera aerosoles que modifican el ciclo hidrológico, producen lluvia ácida, incrementan el ozono troposférico y destruyen el estratosférico, y originan contaminantes como dioxinas y furanos. Para cuantificar, a modo de ejemplo, esta práctica, baste señalar que la provincia de Salta autorizó desmontes por un total de 77.612 hectáreas de bosque nativo durante 2006, y en 2007 convocó a audiencias públicas para autorizar desmontes por un total de 272.351 hectáreas, que equivalen a 14 veces la superficie de la ciudad de Buenos Aires.

Otra cuestión a considerar es el efecto del cambio climático sobre las heladas. Existe la creencia generalizada de que el calentamiento global hará disminuir la peligrosidad de esta adversidad. Sin embargo, no es exactamente así. Es cierto que en muchas zonas de nuestro país su intensidad ha disminuido y que se ha acortado el período con heladas en muchas áreas, pero esto no puede generalizarse a toda la región de producción agropecuaria; y mucho menos, atribuirles a estas variaciones un efecto de disminución de su peligrosidad (Figura 3) (Fernández Long *et al.*, 2005).

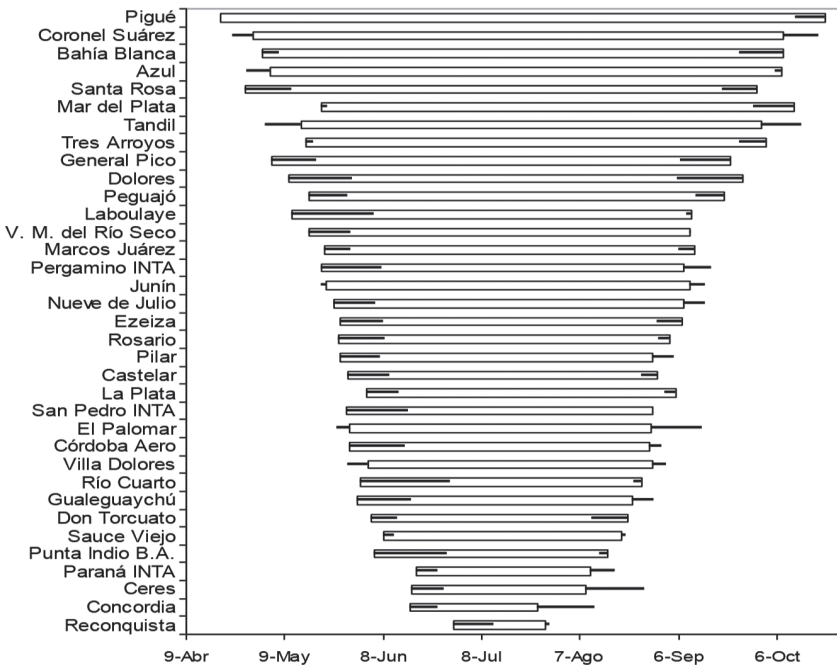


Figura 3. Períodos con heladas normal 1964-1993 (rectángulos) y los correspondientes a la década 1994-2003(línea gruesa).

En efecto, el incremento de la temperatura no influye solamente sobre las variables mencionadas, sino que lo hace también sobre los cultivos, ya que modifica su ciclo de vida y el momento en que se producen algunas de sus etapas, que son altamente susceptibles a los descensos térmicos. Por ejemplo, un adelanto de la floración, motivado por una mayor disponibilidad térmica, puede ocasionar que esta se produzca en una época en que las heladas aún son posibles, con la consecuencia de significativas pérdidas de rendimiento. La Figura 4 muestra la evolución temporal de las anomalías de la frecuencia de heladas para la localidad de Tandil. Allí se puede apreciar su tendencia positiva, indicativa del incremento del riesgo de heladas en esa zona (Fernández Long & Müller, 2006). Este incremento no es homogéneo para toda la región; por el contrario, se observa que muchas de las estaciones meteorológicas han registrado una disminución en la frecuencia de heladas como se observa en la Figura 5 (Fernández Long *et al.*, 2013).

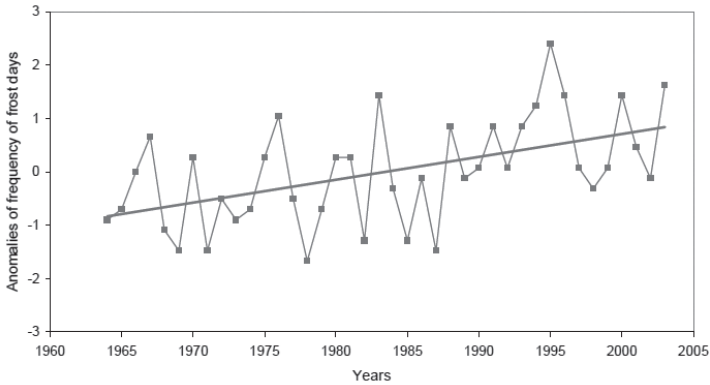


Figura 4: Anomalías de la frecuencia de días con heladas en Tandil (extraído de Fernández Long and Müller, 2006).

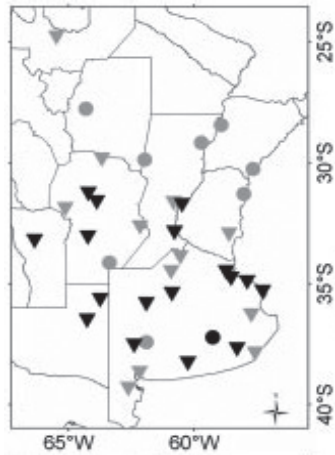


Figura 5. Tendencia en la frecuencia de días con heladas. Los valores positivos están representados con círculos y los valores negativos con triángulos. Las tendencias estadísticamente significativas se muestran en negra.

Cabe mencionar que los cambios en el clima y sus consecuencias tienen carácter global. Aunque parezca obvio, vale la pena reiterarlo, para no perder el enfoque correcto del problema frente a ciertas afirmaciones que muchas veces confunden el análisis. Con frecuencia se dice que el impacto del cambio climático será más importante en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, y hasta se mencionan como beneficiosos algunos de los efectos del cambio climático en nuestro país. Se insta a aprovechar “la oportunidad”, en vista de la creciente necesidad de alimentos, lo que fomenta un enfoque individualista del problema, que no considera en su justa medida consecuencias que afectan a toda la humanidad, como la contaminación de la atmósfera, el incremento de gases con efecto invernadero, la desertización, la pérdida de biodiversidad, etc., resultantes de una intensificación desordenada del uso de los recursos naturales.

Frente a este panorama de “el nuevo clima”, el sector agropecuario desarrolló una adecuación natural (adaptación), por ejemplo, el corrimiento de la frontera agropecuaria y el aumento de la superficie dedicada a cultivos de verano; además, implementó estrategias de adaptación, por ejemplo, el uso de pronósticos climáticos y/o sistemas de alerta temprana y diversificación de cultivos, entre otros.

Por otra parte, existen políticas nacionales e internacionales y acciones individuales para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, definidas como mitigación

La mitigación en el sector consiste en emitir menos y fijar más carbono, como por ejemplo, mediante la adopción de nuevas tecnologías; reemplazar los métodos tradicionales de labranza del suelo (arado de reja) –que causan la pérdida hacia la atmósfera de carbono retenido en el suelo– por la siembra directa, que contribuye considerablemente a reducir dicha pérdida.

En cuanto a la ganadería, existen líneas de trabajo que apuntan a modificar la digestibilidad de las pasturas, lo que reduciría no solo las emisiones de metano por parte del ganado vacuno, sino que también aumentaría los rendimientos de carne y/o la leche.

No cabe duda de que, como país productor de alimentos, tenemos la responsabilidad de incrementar su producción, y que contamos con material humano de excepcional capacidad y pujanza para realizarlo. Sin embargo, a la luz de los actuales conocimientos, se deberá exigir que ese aumento se produzca en el marco de políticas de desarrollo que compatibilicen los intereses colectivos y los individuales y equilibren los costos y los beneficios de hacerlo. En definitiva, se busca rediseñar los sistemas productivos para que, sin dejar de ser rentables, sean menos nocivos para el planeta.

REFERENCIAS

- Castañeda, M. y V. Barros (1994): “Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes”. *Meteorológica*, 21, 23-32.
- Fernández Long, M. E., I. Barnatán, L. Spescha, R. Hurtado y G. M. Murphy (2005): “Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años”. *Revista Facultad de Agronomía*, 25 (3), 247-257.
- Fernández Long, M. E. y G. Muller (2006): “Annual and monthly trends in frost days in the Wet Pampa”. *Proceeding, 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 24-28 abril, Foz do Iguazú, Brasil.
- Fernández Long, M. E., G. Muller, A. Beltran and O. Scarpati (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33: 1673–1686
- Forte Lay, J. A. y L. Spescha (2001): “Método para la estimación de la climatología del agua edáfica en las provincias pampeanas de la Argentina”. *RADA*, 1 (1), 67-75.
- Murphy, G. (2010): “El clima y el crecimiento de la producción agrícola”. 117-140. En L. Reca, D. Lema y C. Flood (eds.), *El conocimiento de la agricultura argentina. Medio siglo de logros y desafíos*. Buenos Aires, Editorial Facultad de Agronomía. 544 p.

- Spescha, L., G. Muphy, R. Hurtado, y M. E. Fernández Long (2009): "Evidencias del cambio climático sobre las variables agrohidrológicas en la región oriental de secano (Argentina)". XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 23 a 25 de septiembre. Gran Darrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.
- Spescha L., J. Forte Lay, O. Scarpati, R. Hurtado (2004): "Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la región pampeana". *Revista Facultad de Agronomía*, 24, 161-167.

INFLUENCIA AMBIENTAL SOBRE LOS PECES: UNA MIRADA INTEGRAL EN TIEMPO Y ESPACIO

Alejandra Volpedo^{1 2 3}, *Esteban Avigliano*^{4 5}, *Federico Scartascini*⁶,
Gustavo Thompson^{7 8}.

RESUMEN

Los cambios ambientales pueden ocurrir en diferentes escalas temporales (estacional, anual, decadal, en cientos o miles de años) y producen distintos efectos sobre los ambientes acuáticos que afectan a diferentes poblaciones y comunidades de peces. Muchos de estos cambios pueden reflejarse directamente sobre los organismos y su fisiología o bien sobre la distribución de las especies. En este trabajo se discuten algunos ejemplos de cambios ambientales a diferente escala sobre diversas especies de peces nativos argentinos dulceacuícolas y marinos, y se analizan las posibles implicancias ecológicas y socioeconómicas.

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA-UBA), Buenos Aires, Argentina.

2. Correo electrónico: avolpedo@fvet.uba.ar

3. CONICET- Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA). Buenos Aires, Argentina.

4. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias, Buenos Aires, Argentina.

5. CONICET- Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA). Buenos Aires, Argentina.

6. CONICET. Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas (IMHICHU). Argentina.

7. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires, Argentina.

8. CONICET- Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA). Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los cambios ambientales pueden ocurrir en diferentes escalas temporales (pueden ser estacionales, decadales, o darse en cientos o miles de años) y producen distintos efectos sobre los ambientes acuáticos que afectan a diferentes poblaciones y comunidades de peces.

El cambio climático se ha evidenciado en el aumento del promedio mundial de las temperaturas del aire y del océano, en la fusión generalizada de nieves y hielos y en el aumento del promedio mundial del nivel del mar, entre otros eventos (Hartmann et al., 2014). Incrementos de entre 1° y 2° C en la temperatura media global pueden ocasionar impactos en la mayoría de los ecosistemas y en la capacidad de adaptación de las poblaciones que los habitan (Leemans y Eickhout, 2004). Es importante señalar que las variaciones térmicas no son uniformes a lo largo del planeta y que se han señalado diferencias significativas entre distintas regiones (Hartmann et al., 2014).

Muchos de los cambios ambientales pueden reflejarse directamente sobre la distribución de los organismos o sobre su fisiología, fenología o comportamiento ecológico (Avigliano et al., 2011; Crozier et al., 2014; Sydeman et al., 2015). Dichos cambios generalmente influyen a las comunidades de peces y a las cadenas tróficas que integran, ya que también impactan en los organismos que componen su dieta.

En este trabajo se discuten algunos ejemplos de cambios ambientales a diferente escala sobre distintas especies de peces nativos argentinos dulceacuícolas y marinos, y se analizan las posibles implicancias ecológicas y socioeconómicas.

CAMBIOS POBLACIONALES EN GRANDES ESCALAS ESPACIALES Y TEMPORALES: EL CASO DE LA CORVINA RUBIA

La corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) es uno de los principales recursos pesqueros de la Argentina. Se ha sugerido la presencia de, al menos, dos grupos poblacionales de corvina rubia para la costa argentina; una al norte de la provincia de Buenos Aires y otra al sur, en el área del Rincón y Bahía San Blas, límite sur de la distribución de la especie (Volpedo y Fernández Cirelli, 2006; Volpedo et al., 2007).

La distribución de esta especie marina es dependiente de la salinidad y puede habitar áreas costeras entre los 4 y 30 UPS (Jaureguizar et al., 2003). En la actualidad, la corvina rubia se distribuye desde Veracruz, México (20°

20' N) hasta el Rincón (39° 00' S), en la Argentina (Cosseau y Perrota, 2013). Sin embargo, los abundantes registros arqueológicos del Holoceno medio (ca. 6000 AP) y hasta fines del Holoceno tardío (ca. 800 AP) sugieren que los antiguos pobladores del golfo San Matías (40° 00' S) utilizaban esta especie como recurso para su alimentación (Scartascini y Volpedo, 2013).

Además, es interesante destacar que la población arqueológica del Holoceno del golfo San Matías poseía tallas medias muy superiores (>69 cm Scartascini y Volpedo, 2013) a las encontradas en las poblaciones actuales (56 cm, Llompart, 2011). Esta disimilitud entre la frecuente presencia de esta especie en el registro arqueofaunístico y su escasa/nula representación en la actualidad en la región del golfo San Matías permite plantear varios interrogantes: ¿por qué una especie que presenta indicios de haber sido un recurso altamente explotado en el pasado en un área está ausente en la actualidad? ¿Qué condiciones paleoambientales pueden estar vinculadas a este fenómeno? Algunos estudios pueden ayudar a elaborar una respuesta a estos interrogantes. Favier Dubois *et al.* (2009) determinaron cambios en ese periodo del Holoceno en la temperatura del agua, la salinidad y la bioproduktividad marina, mientras que Favier Dubois y Kokot (2011) registraron cambios en la geomorfología de la línea de costa. Estos autores observan que las tendencias isotópicas (^{18}O) muestran la disminución de la temperatura y la bioproduktividad (^{13}C) marina para la costa norte del golfo San Matías, en el periodo que va desde los 4000 años AP hasta la actualidad. Este proceso fue acompañado por condiciones áridas en las áreas continentales adyacentes a la costa, lo que se tradujo en la formación de grandes campos de dunas, que en algunos casos sepultaron los drenajes fluviales (de agua dulce) al mar. Como consecuencia de ello, se pudo haber favorecido el aumento en la salinidad relativa del agua marina (Scartascini y Volpedo, 2013) por arriba del límite que se observa en la distribución de la corvina rubia (30 UPS). Por otra parte, el proceso de génesis del golfo San Matías (hace aproximadamente 12.000 años AP) podría haber estado asociado a los cambios en la dinámica poblacional de la corvina rubia. Ponce *et al.* (2011) señalan la factibilidad de que la génesis del golfo San Matías fue parte de un proceso de aumento progresivo del nivel del mar desde el último máximo glacial (aproximadamente hace 24.000 años AP), que habría inundado antiguos bajos salinos costeros. Una posibilidad, entonces, es que, durante la formación del golfo y su conexión con la plataforma continental, especies faunísticas de la provincia argentina (entre ellas, la corvina rubia) hayan “colonizado” este nuevo ambiente y se hayan establecido durante gran parte del Holoceno como metapoblaciones (Scartascini y Volpedo, 2013).

CAMBIOS DE COMUNIDADES EN ESCALAS DE TIEMPO DECADALES: EL CASO DE LOS PECES DEL NORESTE ARGENTINO

En el noreste de la Argentina, en los últimos años se han incrementado las precipitaciones, lo que ha generado notables cambios climáticos e hidrológicos que se ven reflejados en el desplazamiento de las isoyetas de más de 100 km hacia el oeste (Barros *et al.*, 2008). Este aumento de las precipitaciones comenzó alrededor de mediados de la década del setenta del siglo pasado y aparentemente está relacionado con una mayor intensidad de El Niño (Barros *et al.*, 2000; Camilloni y Barros, 2003).

El corrimiento de la isoyeta –además de impactos productivos asociados con el desplazamiento de la frontera agropecuaria– produjo cambios en las comunidades de peces (Volpedo y Fernández Cirelli, 2008; Volpedo y Thompson, 2016). Las especies típicas paranoplatenses que habitan en las cuencas del río Paraná y del río Uruguay se han desplazado hacia el oeste a partir de las décadas del sesenta y setenta (Volpedo y Thompson, 2016). Estas especies son, por ejemplo: las mojarra, los dientudos, las tarariras y algunos bagres; en general, son especies que presentan amplios rangos de tolerancia a diferentes parámetros fisicoquímicos del agua –sólidos totales disueltos, temperatura, pH, CO_3^{2-} , CO_2 , HCl , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ y las relaciones Mg/Ca , $(\text{Mg}+\text{Ca})/(\text{Na}^3\text{K})$ (Menni *et al.*, 1996; Menni, 2004; Volpedo y Fernández Cirelli, 2008)–. Cabe señalar que otras especies de rango de tolerancia relativamente estrecho (por ejemplo, en la especie comercial sábalo *Prochilodus lineatus*) también ampliaron su distribución hacia el noroeste del país (Volpedo y Thompson, 2016).

La estrecha relación entre las características limnológicas y la biota de un cuerpo de agua (Ringuelet, 1975) es el reflejo de la adaptación fisiológica de los organismos a los parámetros ambientales (Pianka, 1982; Gómez y Menni, 2005; Cussac *et al.*, 2009). Esto nos permite concluir que las variaciones en las precipitaciones, así como de temperatura, determinaron la redistribución de muchas especies de peces en Argentina, y que esto conllevó a la modificación de tramas tróficas y de la composición de las comunidades acuáticas en los últimos 50 años.

CAMBIOS A CORTO PLAZO: EL CASO DE LOS PEJERREYES (*ODONTESTHES BONARIENSIS*) DEL LAGO CHASICÓ

El lago Chasicó es un cuerpo de agua endorreico del sudoeste bonaerense que se encuentra en una faja tectónica situada a más de 20 m bajo el nivel del mar. Chasicó presenta características limnológicas y geomorfológicas

particulares, diferentes a las del resto de las lagunas pampásicas (Volpedo y Fernández Cirelli, 2013): posee origen tectónico-eólico (algo poco común en la región pampeana), no posee en su perímetro macrófitas y tiene una profundidad máxima entre 16 a 20 m (Volpedo y Fernández Cirelli, 2013). El lago ha evolucionado desde ser una salina en la década del cuarenta hasta sufrir un impacto importante por las inundaciones en 2003. El tamaño del espejo de agua, que en 1963 cubría 31 km², en 2003-2004 alcanzó 85 km², y en 2013 disminuyó a 50,3 km², dato que refleja las variaciones producidas por la alternancia de periodos de inundación y de sequías.

En los últimos años se está presentando una tendencia a la disminución de precipitaciones y al aumento de la evaporación (Doyle, com. pers.) lo que determina la reducción del espejo del agua y el aumento de la salinidad (>40 g/l). Estos cambios ambientales en las últimas décadas también modificaron la composición química del agua del lago, particularmente la conductividad y los sólidos totales disueltos (Volpedo y Fernández Cirelli, 2013) lo que se reflejó en alteraciones en la morfología y morfometría de los otolitos de los pejerreyes (*O. bonariensis*) (Avigliano *et al.*, 2011) (Figura 1).

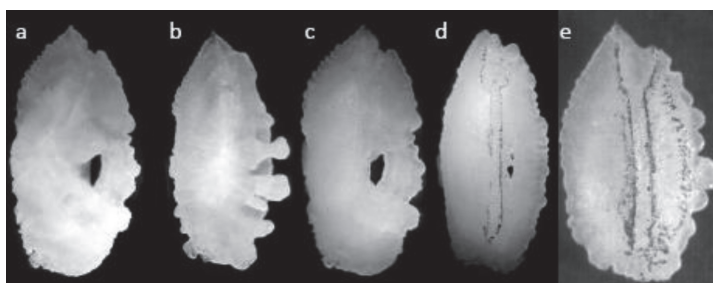


Figura 1. Morfología de otolitos de distintos ejemplares de pejerrey en diferentes años (A= 22X). a-d: otolitos con alteraciones morfológicas de la laguna Chasicó (2010; a y b: cara externa; c y d: cara interna; e: patrón morfológico típico del otolito del pejerrey del lago Chasicó (1998). Tomado de Avigliano *et al.* (2011).

Dichas variaciones morfológicas podrían ser producidas por alteraciones en la deposición de carbonato de calcio, que posiblemente estén relacionadas con el estrés causado, al menos en parte, por el importante cambio que sufrió la laguna en la última década (Avigliano *et al.*, 2011). En la actualidad, la población de pejerrey presenta una notoria reducción (Bersain *et al.*, 2015), lo que produce un impacto directo en el recurso ya que esta especie es blanco de la actividad pesquera deportiva en una escala significativa para la provincia de Buenos Aires.

DISCUSIÓN

Los cambios ambientales en las poblaciones y comunidades de peces producen impactos biológicos (malformaciones, cambios fisiológicos, fenológicos, etc.) y ecológicos (cambios de distribución, alteraciones de las tramas tróficas, entre otros). Estos cambios pueden darse en diferente escala temporal y espacial y son, a lo largo de la historia de la vida en la Tierra, claves en la evolución de las especies (Reis *et al.*, 2016). Sin embargo, la velocidad con que los cambios ambientales se están desarrollando actualmente no permite a muchas especies adaptarse a ellos y conlleva a riesgos de extinción (Urban, 2015).

En la Argentina, los cambios ambientales sobre los peces que se han registrado en escalas temporales largas no son necesariamente producto del “cambio climático” (como lo fue el desplazamiento de la corvina rubia en el Holoceno). Sin embargo, el impacto sobre las poblaciones de peces existió y tuvo como consecuencia para los antiguos pobladores la pérdida de un recurso.

En la escala temporal más cercana, el corrimiento de las isoyetas en el norte de nuestro país (Barros *et al.*, 2008) conllevó a cambios en las comunidades (Volpedo y Fernández Cirelli, 2008; Volpedo y Thompson, 2016). Estos cambios, en el caso de las especies comerciales, tienen consecuencias socioeconómicas directas sobre el sector pesquero, por ejemplo, en el caso del sábalo, que es la especie dulceacuícola de mayor captura (15.770 toneladas en 2014¹⁰).

Por otro lado, la pesquería deportiva del pejerrey del lago Chasicó, que moviliza anualmente a miles de pescadores, se verá a corto plazo reducida por la disminución de la población de esta especie. Esto generará conflictos de uso del recurso, por un lado, y por otro, problemas socioeconómicos entre los pobladores de la localidad de Chasicó, quienes desarrollan actividades asociadas a él (alojamiento de pescadores, alquiler de lanchas, venta de carnada, etcétera).

En la Argentina, el conocimiento de los stocks poblacionales de los peces comerciales marinos y dulceacuícolas en relación con los parámetros ambientales es relativamente reciente (Avigliano y Volpedo, 2013; Avigliano *et al.*, 2014; 2015a, 2015b, 2015c; 2016). Considerando que la biodiversidad de peces de la Argentina es de >470 especies dulceacuícolas (Liotta, 2005) y >300 especies marinas ictícolas (Boschi, 1997), es probable que la dimensión del impacto de los cambios ambientales sobre las poblaciones de peces esté subestimada. Valga aclarar al respecto que solo se conocen aspectos de la bioecología de alrededor de 50 de estas especies, que son las de mayor importancia económica. En este sentido, y a fin de conocer con mayor certeza el alcance

10. Ministerio de Producción de la Provincia de Buenos Aires (2016). <http://www.mp.gba.gov.ar>

del impacto de los cambios ambientales sobre los stocks pesqueros, es de gran importancia, a futuro, fortalecer el conocimiento bioecológico relativo a las poblaciones de peces menos estudiadas.

REFERENCIAS

- Avigliano, E., A. Tombari y A. V. Volpedo (2011): "¿El otolito de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), refleja el estrés ambiental?". *Biología Acuática* 27: 9-15.
- Avigliano, E., A. V. Volpedo (2013): "Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-marine environment". *Marine and Freshwater Research*, 64 (8), 746-751.
- Avigliano, E., F. Martínez Riaños y A. V. Volpedo (2014): "Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-estuarine environment". *Fisheries Research*, 149, 55-60.
- Avigliano, E., G. Velasco, A. V. Volpedo (2015a): "Use of lapillus otolith microchemistry as an indicator of the habitat of *Genidens barbatus* from different estuarine environments in the southwestern Atlantic Ocean". *Environmental Biology of Fishes*. 98, 1623-1632.
- Avigliano, E., G. Velasco y A. V. Volpedo (2015b): "Assessing the use of two southwestern Atlantic estuaries by different life cycle stages of the anadromous catfish *Genidens barbatus* (Lacépède, 1803) as revealed by Sr:Ca and Ba:Ca ratios in otoliths". *Journal of Applied Ichthyology*, 31 (4), 740-742.
- Avigliano, E., M. B. Saez, R. Rico y A. V. Volpedo (2015c): "Use of otolith strontium:calcium and zinc:calcium ratio as indicator of habitat of *Percophis brasiliensis* in the Southwestern Atlantic Ocean". *Neotropical Ichthyology*, 13 (1), 187-194.
- Avigliano, E., A. Domanico, S. Sánchez y A. V. Volpedo (2016): "Otolith elemental fingerprinting and scale and otolith morphometry in *Prochilodus lineatus* provide identification of natal nurseries". *Fisheries Research* 186 (2017), 1-10.
- Barros, V. R., M. E. Doyle e I. Camilloni (2008): "Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation". *Theoretical and Applied Climatology*, 93 (1-2), 19-33.
- Boschi, E (1997): *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Secretaría de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación. Mar del Plata
- Camilloni, I. A. y V. R. Barros (2003): "Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing". *Journal of Hydrology*, 278 (1), 94-106.

- Cousseau, M. B. y R. G. Perrotta (2013): *Peces marinos de Argentina: biología, distribución, pesca*. 4a. ed. Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP).
- Crozier, L. G. y J. A. Hutchings (2014): "Plastic and evolutionary responses to climate change in fish". *Evolutionary Applications*, 7 (1), 68-87.
- Cussac, V. E., D. A. Fernández, S. E. Gómez, H. L. López (2009): "Fishes of southern South America: a story driven by temperature". *Fish Physiology and Biochemistry*, 35 (1), 29-42.
- Favier Dubois, C., F. Borella, R. Tykot (2009): "Explorando tendencias en el uso humano del espacio y los recursos en el litoral rionegrino durante el Holoceno medio y tardío". En M. Salemme, F. Santiago, M. Álvarez, E. Piana, M. Vázquez y E. Mansur (eds.), *Arqueología de Patagonia: una mirada desde el último confín*, t. II. Ushuaia, Utopías, pp. 985-997.
- Favier-Dubois, C. M. y R. Kokot (2011): "Changing scenarios in Bajo de la Quinta (San Matías Gulf, Northern Patagonia, Argentina): Impact of geomorphologic processes in subsistence and human use of coastal habitats". *Quaternary International*, 245 (1), 103-110.
- Gómez, S. E. y R. C. Menni (2005): "Cambio ambiental y desplazamiento de la ictiofauna en el Oeste de la Pampasia (Argentina Central)". *Biología Acuática*, 22, 151-155
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y. A. R., ... & Soden, B. J. (2013). Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Cambridge University Press*.
- Leemans, R. y B. Eickhout (2004): "Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change". *Global Environmental Change*, 14 (3), 219-228.
- Liotta, J. R. (2005): *ProBiota |Serie Documentos| Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina*. La Plata. ProBiota: Serie Documentos.
- Llompарт, F. M. (2011): *La ictiofauna de Bahía San Blas (Provincia de Buenos Aires) y su relación con la dinámica de las pesquerías deportiva y artesanal*. Tesis Doctoral, la Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- Menni, R. C. (2004): *Peces y ambientes en la Argentina continental*. Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales 5, Buenos Aires, 316 p.
- Menni, R. C., S. E. Gómez, M. F. López Armengol (1996): "Subtle relationships: Freshwater fishes and water chemistry in southern South America". *Hydrobiologia*, 328, 173-197.
- Pianka, E. R. (1982): *Ecología evolutiva*. Barcelona, Omega.

- Ponce, J. F., R. Rabassa, A. Coronato y A. M. Borromei (2011): "Paleogeographic evolution of the Atlantic coast of Pampa and Patagonia since the Last Glacial Maximum to the Middle Holocene". *Biological Journal of the Linnean Society*, 103, 363-379.
- Reis, R. E., J. S. Albert, F. Di Dario, M. M. Mincarone, P. Petry, L. A. Rocha (2016): "Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, 89 (1), 12-47.
- Ringuelet, R. A. (1975): "Zoogeografía y ecología de los peces de aguas continentales de la Argentina y consideraciones sobre las áreas ictiológicas de América del Sur". *Ecosur*, 2 (3): 1-122.
- Scartascini, F. y A. V. Volpedo (2013): "White croaker (*Micropogonias furnieri*) paleodistribution in the Southwestern Atlantic Ocean. An archaeological perspective". *Journal of Archaeological Science*, 40 (2), 1059-1066.
- Sydeman, W. J., E. Poloczanska, T. E. Reed y S. A. Thompson (2015): "Climate change and marine vertebrates". *Science*, 350 (6262): 772-777.
- Urban, M. C. (2015): "Accelerating extinction risk from climate change". *Science*, 348 (6234), 571-573.
- Volpedo, A. V. y G. A. Thompson (2016): *Environmental changes on freshwater fish communities in South America in the last five decades: a case study in northeast Argentina*. Santiago de Chile, Sustainability Agri Food Environmental Research 4(3):44-59.
- Volpedo, A. V. y A. Fernández Cirelli (2006): "Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenids stock discrimination in Southwestern Atlantic". *Scientia Marina*, 70 (2), 325-334.
- Volpedo, A. V. y A. Fernández Cirelli (2008): "Efectos del corrimiento de las isoyetas en el noroeste argentino sobre la composición faunística de dos ecorregiones ictiológicas". En A. V. Volpedo y L. Fernández Reyes (eds.), *Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad*, RED CYTED 406RT0285 "Efecto cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica", pp. 87-99.
- Volpedo, A. V., A. Fernández Cirelli (2013): El Lago Chasicó: similitudes y diferencias con las lagunas pampásicas. *AUGMDomus 5* (Número Especial), Aguas: 1-18.
- Volpedo, A. V., Miretzky P. y A. Fernández Cirelli (2007): "Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonias furnieri* de la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación". *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 165, 115-130.

CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS EN ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS Y COMUNIDADES ACUÁTICAS

Marcelo Hernando,¹ Andrea Galatro^{2 3} y Gabriela Malanga^{4 5}

RESUMEN

El cambio climático afecta a las zonas polares con incrementos de temperatura y disminución en la salinidad debido a un aumento del aporte de agua dulce como consecuencia del derretimiento de los glaciares. Estas condiciones ambientales pueden generar situaciones de estrés en los organismos acuáticos y afectar la composición de las comunidades, las cadenas tróficas y, por lo tanto, la producción. A partir de los resultados obtenidos en estudios con microcosmos, se puede sugerir que, dependiendo de la composición específica de las comunidades fitoplacntónicas, frente a una disminución de la salinidad del agua, las especies que sobrevivan a dicho estrés serán las que posean defensas antioxidantes adecuadas para evitar el daño oxidativo.

1. Comisión Nacional de Energía Atómica, Departamento de Radiobiología. Buenos Aires, Argentina.

2. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Buenos Aires, Argentina.

3. CONICET – Universidad Nacional de La Plata. Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE). Buenos Aires, Argentina.

4. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Buenos Aires, Argentina.

5. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Bioquímica y Medicina Molecular (IBIMOL), Buenos Aires. Argentina.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático afecta a las zonas polares del planeta con incrementos de temperatura y disminución en la salinidad del mar debido a un aumento del aporte de agua dulce. La temperatura y la salinidad son variables fundamentales que definen la densidad del agua de mar y, por lo tanto, afectan la ubicación en profundidad de masas de agua con diferente densidad, así como la estratificación de la columna de agua.

El fitoplancton (*ver glosario*) constituye una población heterogénea de organismos autótrofos responsables de aproximadamente el 50% de la producción primaria del planeta, lo que demuestra su gran importancia no solo en la cadena trófica del océano sino también como sumidero de carbono atmosférico de los ecosistemas marinos. El crecimiento de estos organismos depende de un balance de factores que determinen su permanencia en un ambiente lumínico adecuado y concentraciones óptimas de nutrientes para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Entre dichos factores encontramos aquellos que tienden a mantener la estratificación de la columna de agua en el mar, como la densidad, y otros que tienden a evitarla, principalmente el aumento en la velocidad del viento y las mareas. Así, la posibilidad de permanecer a profundidades tales que la intensidad lumínica sea adecuada es un factor esencial para desencadenar el crecimiento y la acumulación de biomasa fitoplanctónica. La profundidad a la cual las condiciones de irradiación son adecuadas para que el consumo de dióxido de carbono necesario para la producción de hidratos de carbono (fotosíntesis) se encuentre en equilibrio con la producción de dicho gas (respiración celular de la comunidad), así como el desplazamiento vertical de partículas (incluido el fitoplancton que mayoritariamente no posee los medios para su propio movimiento) en la columna de agua son entonces factores fundamentales que determinarán el aumento de biomasa y, en consecuencia, el crecimiento de estas comunidades. La relación entre estos factores determinará las condiciones físicas para el posible desarrollo del fitoplancton. Si las condiciones óptimas persisten un periodo suficiente de tiempo (días) y las concentraciones de nutrientes son adecuadas, el medio será propicio para que se produzca un crecimiento sostenido y la acumulación de biomasa (floración o *bloom*), dependiendo además del control que ejerzan los organismos de niveles tróficos superiores (zooplancton -*ver glosario*-, peces).

Las temperaturas medias en el oeste de la península antártica se han incrementado significativamente (1–2 °C) en los últimos 50 años. El derretimiento de los glaciares, sumado al incremento del aporte de agua dulce desde las zonas costeras como resultado de las precipitaciones más intensas,

son responsables de los cambios sobre la salinidad del agua. En suma, estos hechos pueden modificar la irradiancia, así como la disponibilidad y concentración de nutrientes en la columna de agua costera, considerando en ambos casos el aporte de material particulado (tanto orgánico como inorgánico) que disminuirá la cantidad de luz que llega a las células, lo que afectará la producción primaria de las microalgas.

Los cambios de salinidad causan una variedad de respuestas fisiológicas y de estrés en los organismos acuáticos, que pueden llevar a cambios en la composición de la comunidad fitoplanctónica. El estrés inducido por cambios de la salinidad ha sido asociado con la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS, *ver glosario*). Estas especies son oxidantes, altamente reactivas, por lo cual su producción debe ser controlada para mantener concentraciones adecuadas y evitar el daño oxidativo. Los ROS pueden ser radicales libres (*ver glosario*) o especies no radicales pero altamente reactivas. En el caso de organismos fotosintéticos, un lugar importante de generación de estas especies es el transporte de electrones fotosintético en los cloroplastos. Sin embargo, existen mecanismos de protección, sistemas de defensa antioxidante, que involucran actividades enzimáticas (catalasa, CAT; superóxido dismutasa, SOD; glutatión peroxidasa, GPx; glutatión reductasa, GR; ascorbato peroxidasa, APx), como así también la acción antioxidante de compuestos no enzimáticos (como el glutatión, GSH; el ácido ascórbico, AH[•]; tocoferoles y carotenoides). Así, si la producción de ROS supera la acción antioxidante, se puede producir daño oxidativo (*ver glosario*) del ADN, proteínas y lípidos. El daño a lípidos resulta en diferentes alteraciones estructurales y funcionales de las membranas a nivel celular y subcelular que pueden limitar la supervivencia de los organismos. La condición oxidativa de una célula puede ser evaluada midiendo la relación daño/protección mediante el empleo de índices o indicadores de estrés oxidativo.

EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y LA DISMINUCIÓN DE LA SALINIDAD SOBRE COMUNIDADES ANTÁRTICAS. CAMBIO DE COMUNIDADES

Cambios en la salinidad del medio ambiente pueden alterar la osmorregulación de las células y convertirse en una fuente de estrés. Se realizaron estudios con muestras de poblaciones naturales de la zona costera antártica (Caleta Potter, Base Científica Carlini, ex Tte. Jubany [62 14'S-58 38'W] en la Isla 25 de Mayo en la Península Antártica) obtenidas durante la campaña antártica 2011-12. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la disminución de la salinidad sobre las comunidades planctónicas, con especial

interés en el fitoplancton. Para ello, las comunidades (obtenidas en una zona sin influencia de agua de deshielo) fueron expuestas a salinidad normal (valores correspondientes a los determinados en terreno) y salinidad disminuida (valores similares a los que se observan en las cercanías del glaciar costero en situaciones de fuerte derretimiento de este y de aporte de agua del deshielo por ríos cercanos a dicha zona) en recipientes cilíndricos sin tapa (capacidad de 100 litros) (microcosmos, *ver glosario*) durante ocho (8) días. La composición de la comunidad fitoplanctónica en los microcosmos estuvo compuesta por distintas clases de microalgas: diatomeas, cryptofitas, dinoflagelados, prasinofitas, silicoflagelados y otros pequeños fitoflagelados no identificados. Las diatomeas representaron el grupo más abundante, siendo las céntricas grandes dominantes al inicio, y luego reemplazadas por pennadas pequeñas al final del experimento en situación de salinidad disminuida, en comparación con el control a salinidad normal (Figura 1).

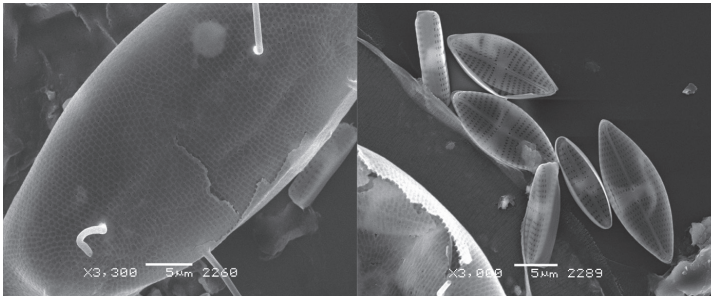


Figura 1. Microscopia electrónica de las principales diatomeas identificadas. A: Diatomeas céntricas grandes *Odontella weissflogii*, *Chaetoceros tortissimus/sociales*, *Thalassiosira antártica*, *Porosira* sp. B: Diatomeas pennadas pequeñas *Navicula glaciei*, *Navicula perminuta*, *Nitzschia* sp. Tomada de Hernando et al. (2013).

Los experimentos mostraron claramente que la salinidad afecta la composición taxonómica de comunidades fitoplanctónicas costeras en la Antártida (Figura 2). Este hecho es de suma importancia para la red trófica antártica, ya que un cambio en la dominancia de especies se trasladará al resto de la trama trófica, como los herbívoros, y a su vez a los consumidores secundarios.

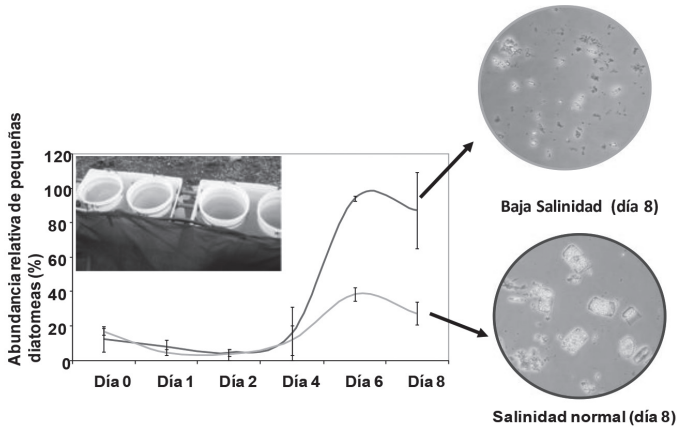


Figura 2. Variación de la abundancia de células fitoplanctónicas en condiciones de salinidad normal y disminuida luego de ocho días de exposición. Las imágenes muestran el estado de la comunidad planctónica (microscopía invertida). *Inserto*: Foto de los microcosmos donde se realizaron los experimentos.

En comparación con el tratamiento control, el fitoplancton expuesto a condiciones de baja salinidad mostró una disminución en la biomasa y la fotosíntesis, y un aumento de la respiración celular, durante las primeras 24 horas. Tanto los marcadores de estrés como los de daño oxidativo evaluados mostraron valores significativamente más bajos en los microcosmos controles en comparación con los valores observados en microcosmos expuestos a baja salinidad. El contenido celular de las sustancias antioxidantes no enzimáticas como el α -tocoferol y el β -caroteno fue mayor durante los primeros días de exposición en el tratamiento de baja salinidad, sugiriendo la respuesta de mecanismos tendientes a contrarrestar la situación de estrés oxidativo observada.

Todos estos cambios observados en los microcosmos expuestos a baja salinidad podrían producir efectos ecológicos en ecosistemas naturales: (1) las microalgas pueden servir de fuente de alimento a los organismos que habitan en el fondo del mar (organismos bentónicos); (2) cuando el fitoplancton presente en la columna de agua en el océano sedimenta hacia grandes profundidades es inmovilizado durante largos períodos (cientos de años). Este proceso forma parte de la denominada bomba biológica de carbono, que contribuye a secuestrar carbono bajo la forma de CO_2 desde la atmósfera y a fijarlo en el océano profundo.

Por lo tanto, si las comunidades fitoplanctónicas cambian su composición frente a una disminución de la salinidad y tienden a disminuir su tamaño con

una mayor abundancia de especies más pequeñas, podría modificarse tanto la fuente de alimento como el aporte de nutrientes acumulado en el fondo de las aguas costeras. Un cambio en la composición de especies fitoplanctónicas, así como una disminución de la tasa fotosintética, podrían alterar la bomba biológica, disminuir la fijación de CO₂ atmosférico y/o alterar el aporte de nutrientes a la columna de agua en situaciones de surgencias. A partir de estos resultados se concluye que, dependiendo de la composición específica de las comunidades fitoplanctónicas frente a un impacto de agua de deshielo y una consecuente disminución de la salinidad, luego de varios días de exposición, las especies que sobrevivan a dicho estrés serán las que posean sistema de defensas antioxidantes adecuadas para evitar el daño oxidativo. En nuestro experimento puntual se observó un reemplazo de diatomeas céntricas grandes por diatomeas pennadas pequeñas con una capacidad antioxidante superior, lo cual parece haberles permitido evitar y/o superar el daño oxidativo producido al comienzo de la exposición, con valores de fotosíntesis, respiración y daño a lípidos sin diferencias significativas respecto de la condición control al final del tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a nuestros principales colaboradores internacionales, los investigadores del Alfred-Wegener Institut. También a las autoridades de la Dirección Nacional del Antártico y del Instituto Antártico Argentino, así como a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICTO 2005-35562 y PICT 2011-1320, directora Dra. I. Schloss) y la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020100100555) / CONICET (PIP 11220110100697, directora Dra. S. Puntarulo). Estos estudios forman parte del proyecto IMCONet (Interdisciplinary Modelling of Climate Change in Coastal Western Antarctica) con apoyo financiero de European Science Foundation Polar CLIMATE.

REFERENCIAS

García, M. D., M. S. Hoffmeyer, M. C. López Abbate, M. S. Barría de Cao, R. E. Pettigrosso, G. O. Almandoz, M. Hernando e I. R. Schloss (2016): "Micro- and mesozooplankton responses during contrasting summer conditions in a shallow coastal Antarctic environment". *Polar Biology*, 39 (1), 123-137.

- Hernando, M., I. R. Schloss, G. Malanga, G. O. Almandoz, G. A. Ferreyra, M. B. Aguiar y S. Puntarulo (2015): "Effects of salinity changes on coastal antarctic phytoplankton physiology and assemblage composition". *Journal Experimental Marine Biology Ecology (JEMBE)*, 466, 110-119.
- Hernando, M., C. Houghton, L. Giannuzzi, B. Krock, D. Andrinolo y G. Malanga (2016): "Oxidative stress in *Microcystis aeruginosa* as a consequence of global change". *BioCell*, 40, 23-25.
- Schloss, I. R., M. Hernando, D. Dumont y G. A. Ferreyra (2016): *El cambio climático y sus efectos sobre el fitoplancton antártico. La ciencia de la ecología. Un curso avanzado*. Buenos Aires, Universidad Nacional de General Sarmiento (en prensa).

GLOSARIO

Antioxidante: sustancia capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.

Diatomeas: algas unicelulares microscópicas o coloniales que abundan en prácticamente todos los hábitats donde se encuentre presente el agua, como los océanos, los lagos, la tierra; sobre plantas como los musgos e incluso en la corteza de los árboles. Poseen múltiples formas y características físicas, aunque una particularidad que suelen presentar es que se hallan rodeadas por una pared celular de sílice llamada frústulo, formado por dos valvas de tamaño desigual, de modo que la valva más pequeña encaja en la mayor.

Estrés oxidativo: desequilibrio entre la producción de especies reactivas del oxígeno y la capacidad de un sistema biológico de eliminarlas rápidamente o de reparar el daño resultante.

Especies reactivas del oxígeno: se trata de especies químicas derivadas del oxígeno, altamente reactivas, que incluyen radicales libres (como el radical hidroxilo) y especies no radicales (como el peróxido de hidrógeno), capaces de producir daño a las células.

Fitoplancton: conjunto de organismos exclusivamente vegetales que forman parte del plancton.

Microcosmos: ecosistemas artificiales, simplificados, que se utilizan para simular y predecir el comportamiento de los ecosistemas naturales en condiciones controladas.

Nivel trófico: en ecología, se denomina así a cada uno de los conjuntos de especies o de organismos de un ecosistema que coinciden, por el lugar que ocupan, en el flujo de energía y nutrientes (cadena alimenticia).

Plancton: conjunto de organismos que se encuentran en suspensión en ambientes acuáticos.

Radicales libres: especies químicas de existencia independiente, altamente reactivas por poseer al menos un electrón desapareado.

Zooplancton: conjunto de organismos animales que forman parte del plancton.

MODOS ADAPTATIVOS BAJO CONDICIONES HIDROCLIMÁTICAS EXTREMAS¹

Ana María Murgida^{2 3}, Fernando Martín Laham⁴, Carlos Juan Pedro Chiappe⁴ y Martín Ariel Kazimierski²

RESUMEN

En este artículo miembros de una institución de gestión pública y de un proyecto de investigación exploramos las respuestas adaptativas de la población rural ganadera vulnerable, en el marco de políticas públicas implementadas frente a la escasez hídrica amplificada por presencia de ceniza volcánica.

INTRODUCCIÓN

La estepa patagónica está signada por transformaciones socioambientales históricas que la configuran socioeconómica y culturalmente como una zona de riesgos, los que se caracterizan por una serie de restricciones. El marco de esta descripción es la fuerte degradación de los recursos, la incertidumbre del funcionamiento del sistema hídrico y situaciones catastróficas tales como sequías, nevadas y desertificación. La población de la estepa, en su mayoría mapuche, está organizada en comunidades que, a su vez, constituyen el sujeto de derecho definido por el Instituto Nacional

1. Parte de este trabajo fue realizado con la subvención del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) CRN 3102 apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos (Grant GEO-1128040); del International Development Research Centre (IDRC) Grant 107097 y del UBACyT Interdisciplinario 2013-2016.

2. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras. Buenos Aires, Argentina.

3. Correo electrónico: animurgida@gmail.com

4. Instituto Nacional de Asuntos Indígenas. Buenos Aires, Argentina.

de Asuntos Indígenas (INAI).⁵ Aquí analizamos políticas gubernamentales, como formas de adaptación, que se potenciarían si incluyeran el análisis de la vulnerabilidad social ante riesgos por condiciones hidroclimáticas extremas.

Eventos recientes como la sequía que se inició en 2006 y se prolongó con rudeza hasta 2014, junto con la caída de cenizas por la erupción en los complejos volcánicos Chaitén, en mayo de 2008, y el Cordón Puyehue-Caulle, en junio de 2011, que potenciaron sus efectos, dieron lugar a una situación catastrófica que requirió de la atención técnica y financiera de instituciones gubernamentales y atrajo la atención de organismos no gubernamentales y científicos.

Nuestro estudio de caso se encuentra en el área rural de influencia de la localidad de Ingeniero Jacobacci,⁶ donde predomina la tenencia precaria de la tierra y cuya población se caracteriza por la convivencia de culturas y dispersión territorial en un marco de aridez climática. Aquí, la forma de producción predominante es la ganadería ovina, desarrollada en condiciones de pobreza y afectada directamente por factores ambientales como las sequías y la actividad volcánica que convergen en eventos catastróficos que profundizan la vulnerabilidad sociocultural. Esta vulnerabilidad deriva de la disputa histórica por la ocupación de la tierra y por la consideración o no del riesgo en el diseño de las políticas públicas (Murgida y Gentile, 2015).

La hipótesis que motiva este trabajo es que las diferencias en la capacidad de las poblaciones para hacer frente a situaciones socioambientales de riesgo condicionan sus respuestas adaptativas y las de las agencias gubernamentales. En el caso de las respuestas de las comunidades, porque buscan cubrir inmediatamente sus necesidades con el acceso inmediato a los recursos naturales y tecnológicos; y las instituciones gubernamentales porque definen sus misiones en función de coyunturas sociopolíticas y de la demanda emergente del territorio especialmente ante crisis y catástrofes. Nos centramos en los contextos de crisis y catástrofe explorando la relación entre los proyectos orientados a comunidades indígenas, con el análisis de indicadores estadísticos de vulnerabilidad social y narrativas etnográficas. En definitiva, recuperamos la vulnerabilidad social en el contexto de la adaptación al cambio global, para comprender y repensar las soluciones sustentables en función del desarrollo de la población de la región árida.

Bajo este supuesto, desarrollamos un ejercicio de transdisciplinariedad con la intención de contribuir a la gestión. Trabajamos de manera colaborativa

5. Hasta diciembre de 2015 dependiente del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación; a partir de 2016 depende del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación.

6. Incluye los Departamentos 25 de Mayo y Norquín de la región conocida como la línea sur de la provincia de Río Negro en la Patagonia argentina.

profesionales y científicos de las disciplinas Antropología y Geografía, provenientes del ámbito académico y de la gestión pública.

El acuerdo conceptual es que el riesgo es una construcción definida por las condiciones sociales, económicas, culturales e institucionales, que incluye la interacción en un tiempo y territorio específicos con eventos físico-naturales (Douglas, 1996; García Acosta, 2005; Lavell, 2005). El riesgo y la catástrofe son procesos que se construyen y se reconstruyen con el paso del tiempo. Es decir, además de los fenómenos de origen natural, existe una acumulación histórica de vulnerabilidades y amenazas derivadas de las intervenciones territoriales y políticas que inciden en la intensidad de los efectos provocados (Lavell, 2005; Murgida *et al.*, 2014, entre otros).

Desde el punto de vista de una definición productiva, la estepa patagónica se incorpora como territorio de ganadería ovina inscripto en un sistema lanero. Para la acción social, esta quedaría inscrita dentro de los sistemas productivos/reproductivos y de subsistencia tanto criollos como indígenas. Ciertamente es que los productores rurales de la estepa desarrollan sus actividades en suelos de baja fertilidad bajo un clima árido, con períodos de escasez de agua para satisfacer las necesidades humanas y productivas. A la fragilidad propia del ecosistema árido se agrega la histórica sobrecarga animal, que derivó en procesos de degradación y desertificación que incrementan la vulnerabilidad de los productores, especialmente los de subsistencia. Una característica adaptativa de la población mapuche y criolla es la organización familiar del trabajo, con unidades agropecuarias de producción y consumo con inserción en el mercado lanero internacional (LADA, 2011; Murgida y Gentile, 2014).

Entre las formas de asociación de los productores de la estepa se destacan, junto con las comunidades, las cooperativas. Las primeras, como grupo de pertenencia de las poblaciones mapuches que, producto de procesos de redistribución y planificación del territorio desde fines del siglo XIX, transformaron radicalmente las prácticas de subsistencia cazadoras-recolectoras en peonaje rural especializado en ganadería extensiva.

Las funciones básicas identificadas que cumplirían las cooperativas son: mediación, asociación, y jurídico-administrativa. Actualmente, estas tres funciones también son asumidas por las comunidades indígenas. Estas organizaciones suelen articularse y nuclearse para potenciar el acceso a la atención pública de los problemas de estrés hídrico.⁷ La asociación en entidades que

7. Hay estrés hídrico cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado, o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.) (UNEP, 2004).

van más allá de las comunidades permite incluir sectores que no se reconocen como indígenas, pero que comparten el territorio bajo riesgo.

METODOLOGÍA

La teoría social del riesgo fue abordada desde las perspectivas antropológica y geográfica. Por ello, trabajamos con una lógica relacional las narrativas etnográficas y las provenientes de informes de gestión para el período 2005 a 2014; y también se apeló a literatura científica, medios de prensa y al análisis cualicuantitativo con datos del Censo Nacional de Población y Hogares del año 2010 y 2001. La referencia censal que empleamos corresponde al año 2010, cuyo límite temporal respecto del recorte abordado nos obliga a tomarla como un *proxi*, al que relacionamos con el censo 2001 y con los resultados etnográficos. Entre las herramientas de sistematización, trabajamos con indicadores cualitativos derivados del procesamiento de entrevistas con la población, funcionarios y técnicos. El recorte temporal 2005-2014 es relevante pues el problema socioambiental conjuga la amplificación del riesgo de la sequía por la caída de cenizas, que impactó fuertemente en la población, y sobre su forma de producir y de circular por el territorio.

RESULTADOS

Al relacionar la población total con la variación intercensal absoluta y relativa por departamento para los años 2001 y 2010, se refleja un aumento del 15% de la población provincial. Para los departamentos de 25 de Mayo y Ñorquinco se observa un crecimiento de casi un 20% para el primero, mientras que el segundo presenta una leve disminución (Tabla 1). La proporción entre la población rural y urbana se refleja marcadamente para el departamento de 25 de Mayo, donde lo urbano representa casi el 80% de la población total; mientras que para Ñorquinco es nula. Allí, a su vez, el descenso de la población rural de este último se explica por el aumento de la urbana en 25 de Mayo.

A partir de las entrevistas, se reitera la referencia de que los adultos mayores suelen permanecer en el campo haciéndose cargo de las tareas ganaderas, mientras que las madres jóvenes, junto a sus niños en edad escolar, se trasladan al área urbana de Ingeniero Jacobacci (departamento 25 de Mayo) para su formación educativa. Esta información etnográfica y de gestión, puesta en relación con los resultados censales, nos permite explicar parcialmente el desplazamiento rural-urbano en relación con la ocurrencia

de eventos extremos. También incidieron en este desplazamiento las políticas de vivienda, que colaboraron para instaurar la doble residencia rural-urbana para las unidades domésticas que mantienen el sistema productivo ganadero.

Con la aplicación concreta de recursos desde la gestión pública, tanto por la vía de herramientas de incidencia colectiva, por ejemplo, proyectos productivos y de auxilio frente a las emergencias, así como los distribuidos por intermedio de la inversión social, microcréditos, asignaciones, pensiones, subsidios, etc., se pudo fortalecer la permanencia en el territorio, garantizando la continuidad de las actividades productivas comunitarias en el espacio rural, la subsistencia y el acceso básico a recursos y servicios de la población, especialmente en el área urbana.

Tabla n°1. Población total y rural en Río Negro y por departamentos

	Pob total		Pob rural agrupada		Pob rural dispersa	
	2001	2010	2001	2010	2001	2010
Río Negro (prov)	573 394	638 645	36.221	50.062	40.436	42.239
25 de Mayo	13.153	15.743	738	1.828	541	1.260
Norquinco	2.079	1.736	1.017	1.062	1.225	511

Fuente: elaboración propia en base a datos INDEC 2001 y 2010

Otro resultado del análisis de la variación intercensal de la población rural permite inferir que posee una tendencia⁸ a la concentración de productores rurales en “comunidades”, contra la tradicional condición dispersa de los productores rurales criollos.

Al analizar los proyectos ejecutados, encontramos que sobre un 100% del financiamiento, se destinaron: 8,6% para acceso y extracción de agua; un 6% para energía eléctrica y desarrollo; un 7,4% para mejoramientos habitacionales; un 4,9% al mejoramiento productivo; 16% a proyectos productivos; 1% para asistencia directa. Otros proyectos: 7,4% para educación y cultura; 32% para fortalecimiento; 12,31% para relevamiento territorial y desarrollo; y 3,7% para servicios financieros.

Los habitantes reconocen que las mayores amenazas son la sequía y las cenizas volcánicas, y refieren su vulnerabilidad mediante la identificación de sus necesidades sociales históricas: tenencia de la tierra, acceso al agua para

8. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, la población urbana es aquella que habita en localidades de más de 2000 habitantes; la población rural agrupada es la que habita en localidades de menos de 2000; y la población rural dispersa es la que habita en “campo abierto”.

consumo humano y producción, infraestructura predial y de la vivienda. Destacan que necesitan intervenciones para la perforación de pozos destinados a la extracción de agua y la adquisición de equipamientos como bombas y tanques de almacenamiento; así como el acceso a planes para el repoblamiento del ganado o el mejoramiento de la infraestructura predial. Las necesidades se manifiestan en el espacio político como demandas comunitarias (históricas).

Al revisar estas prioridades en relación con los indicadores que componen el Índice de Necesidades Insatisfechas (NBI)⁹ y con las narrativas etnográficas, observamos que las políticas atendieron las necesidades básicas de la población de la estepa con la ejecución de 81 (ochenta y un) proyectos de la institución gubernamental, que dan cuenta de la reducción de algunos de los valores elevados de vulnerabilidad antes mencionados.

El problema más destacado por los productores rurales es el acceso y la extracción de agua. Este recurso aparece referido a través de menciones a otros elementos naturales como mallín, vertiente, precipitación; a prácticas afectadas por su falta, como perforación, mortandad del ganado, y a un fenómeno socioambiental, como la sequía. Esta referencia en la relación comunidad-gobierno se traduce en los talleres de gestión y en demandas concretas, de manera que un 39% de los proyectos responde a cuestiones de vivienda y agua. Además, la variación en el número absoluto de proyectos relacionados con el acceso y la extracción de agua indica que existió un incremento de estos para los años 2008 y 2011, lo que representa un 30% de los proyectos totales del período 2005-2014.

La problemática hídrica estructural de la región es el problema más constante, tanto en la "normalidad" como durante las catástrofes. En 2009, el INAI define con un grupo de comunidades un proyecto hídrico que atiende un problema recurrente en el marco del riesgo socioambiental del clima árido. El proyecto consistió en la implementación de diferentes tipos de extracción y encamisado de pozos de agua a lo largo de toda la Línea Sur, que abarcaron aproximadamente a unas 18 comunidades y cooperativas.

Organización social y participación para una gestión sustentable

Las estrategias socioculturales asociativas constituyen indicadores que permiten reconocer de qué manera la dinámica social logra organizarse para reducir la vulnerabilidad. Si bien el autorreconocimiento de la identidad mapuche es relevante en la organización jurídico-administrativa de

9. De la totalidad del NBI provincial, el 56.44% se concentra en los departamentos de la línea sur (INDEC, 2010).

las comunidades, encontramos casos en los que, por consenso y aceptación, puede designarse como comunero a un criollo en situación de subsistencia bajo la argumentación de *estar todos expuestos a los mismos problemas ambientales y económicos*.

La pertenencia a la comunidad contribuye a alcanzar el acceso a la tenencia de la tierra y a los programas sociales para paliar las necesidades estructurales, especialmente cuando se ven exacerbadas ante situaciones catastróficas. Estas formas de organización participativa institucionalizan el ejercicio del derecho y de la responsabilidad para su ejercicio de manera colectiva.¹⁰

El análisis de la documentación de los programas da cuenta de la ausencia de la vinculación de los problemas sociales identificados, con los riesgos socioambientales existentes en el área donde se originan las demandas. No obstante, los proyectos aplicados son apreciados por los actores sociales involucrados, pues mejoran sus condiciones de vida en el corto plazo, ya sea mediante la adopción de medidas de mitigación de los efectos de la sequía con obras de perforación o mejora de los pozos; o de adaptación, tales como la transferencia de tecnología para extraer agua o para proveerse de electricidad por paneles solares; o de medidas adaptativas centradas en el fortalecimiento asociativo, como la organización cultural, la educación, el mejoramiento de los sistemas de comunicación; por ejemplo, con la incorporación de radios de frecuencia BLU, UHF/VHF, FM u otros.

Corto, mediano y largo plazo de las políticas

La correlación entre los indicadores de necesidades básicas insatisfechas censales y discursivos es significativa en torno del recurso hídrico. La periodicidad de esta falta de recurso indica la normalidad, que es exacerbada dentro de la catástrofe. Ante la aparición del Estado como un actor en el territorio, en las comunidades se resignifican los patrones asociativos tradicionales.

Es así que la voluntad política se articula con la capacidad de las poblaciones para hacer frente a situaciones socioambientales de riesgo, como por ejemplo, la organización en comunidades y cooperativas, que se activan a la hora de aplicar medidas de respuesta en contextos de catástrofe.

El ejercicio de transdisciplinariedad desarrollado nos permite comprender y repensar las respuestas aplicadas en función del desarrollo de la

10. La Ley Nacional 26.160/06 declara la "emergencia en materia de posesión y propiedad [...] a las tierras que tradicionalmente ocupan las comunidades indígenas originarias del país" y suspende "la ejecución de sentencias, actos procesales o administrativos, cuyo objeto sea el desalojo o desocupación de las tierras".

población de la región árida. Es así que el resultado parcial obtenido en torno de la valorización de los proyectos nos permite entender que se trata de partes de procesos sociales que podrían ser proyectados a corto, medio y largo plazo. También, la valorización por parte de los beneficiarios nos acerca a la comprensión de las limitantes que los condicionan para garantizar la reducción de la vulnerabilidad, el ejercicio de los derechos y para generar medidas y comportamientos adaptativos que reduzcan el impacto de eventos extremos.

Las medidas y proyectos de corto plazo que identificamos refieren principalmente a la atención de las necesidades inmediatas. En casos de emergencia, el Estado ofrece el proyecto a las comunidades y cooperativas, y estas deciden la forma de implementación. Por ejemplo, los proyectos productivos de autoconsumo para garantizar la seguridad alimentaria humana o la provisión de alimento para animales en el momento cercano o durante la caída de ceniza.

Mientras que los proyectos con resultados a mediano plazo incorporan un valor adicional para acceder al control de los recursos, su desarrollo por medio de procesos participativos y atribución de responsabilidades refuerza sus capacidades y protagonismo en procesos de negociación, a partir de demandas consensuadas, tanto en los mercados laneros como en las estructuras políticas. Estos procesos conducen, aunque de manera indirecta, a identificar las vulnerabilidades propias y a ejercer el consenso como mecanismo.

Los proyectos con efectos de largo plazo, además de promover el empoderamiento, redundan en una reorganización social bajo el estímulo del desarrollo productivo en la región. Los más significativos son, por ejemplo, la regularización de la tenencia de la tierra, la adquisición de residencias urbanas, el acceso a los derechos a la salud y a la educación a través de la mejora de los servicios e infraestructura.

El ejercicio participativo contribuye, por un lado, al empoderamiento de la sociedad, y forma parte del objetivo de gobernanza e institucionalización que le permite ejercer el derecho a la organización comunitaria. El mismo proceso exigido para la asignación de recursos contribuye significativamente a la percepción y al conocimiento de su propia vulnerabilidad.

REFLEXIONES FINALES

La gestión pública emplea la modalidad participativa centrada en el reconocimiento y ponderación de las necesidades para generar los consensos que las transforman en “demandas”, que se tornan luego en intervenciones territoriales.

Los habitantes rurales –criollos y mapuches– suelen enfrentar las mismas problemáticas. Las respuestas desde el INAI están orientadas a las comunidades indígenas, aunque en determinadas circunstancias se incluye a otros sujetos de derecho en estrategias socioculturales asociativas como las cooperativas. De este modo, estas instituciones constituyen estrategias adaptativas exitosas para reducir la vulnerabilidad en espacios bajo riesgo socioambiental, lo que implica una mejora en los indicadores de NBI.

No obstante la participación comunitaria, la falta de diagnósticos integrados e intersectoriales es una debilidad, puesto que las políticas aplicadas en el corto plazo podrían tornarse insuficientes a largo plazo, cuando la acumulación de problemas ambientales constituye un escenario de riesgos mayores, como la desertificación, especialmente cuando el recurso fundamental es el agua subterránea cuyas características geohidrológicas son poco conocidas. Ignorar o negar la incertidumbre del sistema socioambiental indica una limitante para cualquier política de desarrollo. Sin embargo, hay que destacar que, sin la aplicación de estos instrumentos de política pública –programas, subsidios, créditos, asignaciones, organización en cooperativas, etc.–, junto con el relevamiento territorial ordenado por la ley 26.160/06, la vulnerabilidad de estas poblaciones hubiera sido mucho más marcada.

A partir de la exploración conjunta, entendemos que la gestión del riesgo debe formar parte del diseño del desarrollo social que incluya la investigación científica inter y transdisciplinaria, especialmente cuando se busca incrementar la capacidad de las poblaciones para mejorar sus condiciones de reproducción social y económica.

Estas consideraciones permitirían elaborar una prospectiva de la potencialidad de sus resultados en diferentes escenarios, tanto para reconocer la capacidad para mitigar efectos no deseados pero inminentes, como de prevención para mejorar las condiciones adaptativas que tiendan, a mediano y largo plazo, a reducir los aspectos centrales de la vulnerabilidad, y a identificar y actuar tempranamente sobre las causas de riesgos tales como la sequía y la caída de cenizas.

REFERENCIAS

- Douglas, M. (1996): *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*, España, Paidós.
- García Acosta, Virginia. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, (19), 11-24. Recuperado en 27 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-92742005000300002&lng=es&tlng=es

- LADA (2011) Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO, Buenos Aires, Gráfica Latina S.A. Disponible en <http://www.desertificacion.gob.ar/documentacion/publicacion/nivel-nacional/page/2/>, consultado en junio de 2013
- Lavell, A. (2005): *Local Level Risk Management: From Concept to Practice*. Quito, CEPREDENAC-UNDP.
- Murgida, A. M., González, M. H., & Tiessen, H. (2014). Rainfall trends, land use change and adaptation in the Chaco salteño region of Argentina. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1387-1394.
- Murgida, A. y E. Gentile (2015): "Aceptabilidad y amplificación del riesgo en la estepa nor-patagónica". En J. Viand y F. Briones (**compiladores**); *Riesgos al Sur. Diversidad de riesgos de desastres en Argentina*. Buenos Aires, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Imago Mundi, 195-213.
- Murgida, A., M. Laham, C. Chiappe y M. Kazimierski (2016): "Desarrollo social bajo sequía y cenizas". *Iluminuras*, 17 (41). Disponible en: <http://seer.ufrgs.br/index.php/iluminuras/article/view/64556>

Documentos Web

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional de Población y Viviendas 2001.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional de Población y Viviendas 2010. Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar>
- Ley Nacional N° 26.160 sancionada en el 2006.
- Ley Nacional N° 23.302 sancionada en 1985, de creación del Instituto Nacional de Asuntos Indígenas.
- Resolución N° 781/ 1995 de la Secretaría de Desarrollo Social de la Nación

PROYECTOS DE INTERFAZ CIENCIA-POLÍTICA Y LA REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE EN EL DESARROLLO PRODUCTIVO EN EL COMAHUE¹

Ana María Murgida^{2 3} y Martín Ariel Kazimierski²

RESUMEN

La región del Comahue está compuesta por tres grandes cuencas: las de los ríos Limay, Neuquén y Negro. El conocimiento sobre su sistema hidrológico presente y futuro está marcado por la incertidumbre científica y de gestión, lo que repercute en el abastecimiento hídrico para la producción energética y frutihortícola. En este estudio damos cuenta del impacto de la interacción de factores sociales y físico naturales en diferentes escalas temporales y territoriales. El análisis de los procesos de investigación intersectorial, entre científicos y técnicos-funcionarios, revelan una forma de abordar la realidad y de construir problemas de investigación y de gestión, donde el uso de modelos meteorológicos, climáticos e hídricos, permiten construir instancias de diálogo, y complementarlos para reducir incertidumbre en el corto, mediano y largo plazo.

INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva que combina la antropología y la geografía, abordamos los diálogos transdisciplinarios que tienen lugar en el marco

1. Parte de este trabajo fue realizado con la subvención del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) CRN 3102, apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos (Grant GEO-1128040); y del UBACyT Interdisciplinario 2013-2016.

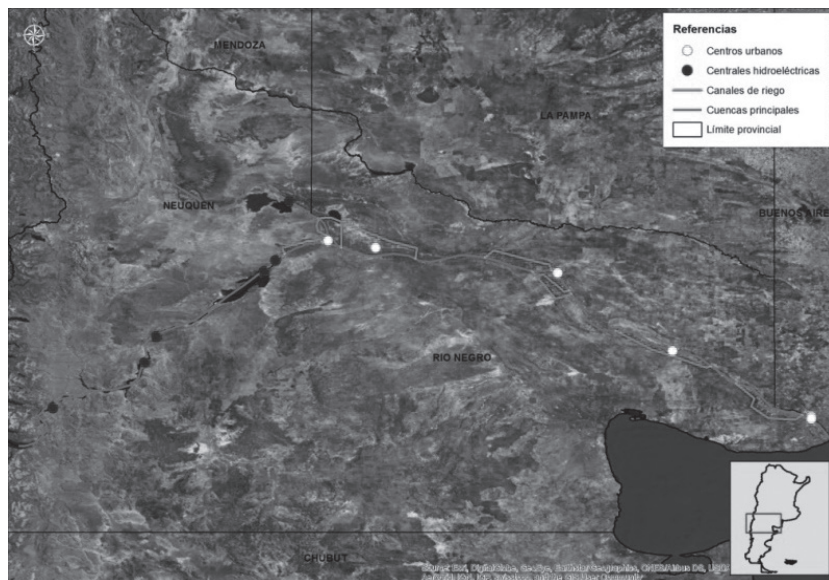
2. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras. Buenos Aires, Argentina.

3. animurgida@gmail.com

de proyectos de investigación científica que usan modelos meteorológicos, climáticos e hídricos en la región del Comahue, donde el agua explica gran parte de su desarrollo a través de su peso en la producción hidroenergética y frutícola.

Nuestro objetivo es dar cuenta de las articulaciones entre comunidades de conocimiento para reducir la incertidumbre científica y política sobre el funcionamiento hidroclimático y la gestión del recurso que comparten los sectores productivos y la población. En función de ello, buscamos reconocer los aportes de las salidas de los modelos a las necesidades de conocimiento para reducir el riesgo en la gestión del agua, en particular para la producción frutícola.

En la región del Comahue, la producción energética se basa en el aprovechamiento del sistema hídrico en la parte alta de la cuenca conformada por los ríos Neuquén, Limay y Negro. La fruticultura bajo riego se practica principalmente en el Alto Valle del río Negro, en la parte media de la cuenca, y se extiende acompañando su curso hasta su desembocadura en el océano Atlántico (Mapa 1).



Mapa 1: Región Comahue. Fuente: elaboración Martín Kazimierski

Los caudales de los ríos son alimentados por la precipitación, las nevadas y el deshielo de glaciares en la parte alta, los cuales se encuentran condicionados por las temperaturas y la estacionalidad. En este sentido, la

variación en cualquiera de los elementos del sistema hidroclimático incide en la disponibilidad del agua superficial para las actividades humanas y en la definición de su distribución entre distintos usos.

Para el sostenimiento del desarrollo de cualquiera de las actividades productivas, los investigadores y técnicos consultados esgrimen que hace falta profundizar el conocimiento científico sobre los componentes del sistema, y sobre el sistema como totalidad. Todos coinciden en que la región patagónica argentina hasta ahora ha sido poco estudiada. En particular, destacan la necesidad de contar con conocimientos sólidos para el monitoreo y pronóstico de variables meteorológicas, así como también reducir la incertidumbre respecto de los escenarios climáticos futuros de la región.

METODOLOGÍA

Priorizamos el enfoque etnográfico para la construcción de los datos primarios de análisis. Con esta perspectiva, hemos reconstruido las narrativas de diferentes comunidades de conocimiento (disciplinas científicas y actores gubernamentales) para analizar el proceso transdisciplinario de construcción de conocimiento sobre el sistema hídrico del Comahue.

Sobre las narrativas aplicamos el enfoque de trabajo en la frontera o *boundary works* de las comunidades de experticia. Las fronteras son aquí recuperadas como el espacio de encuentro y de convergencia de diferentes saberes en procesos cognitivos para abordar fenómenos de una realidad compleja; es decir, una forma de definir la organización social de la ciencia. Esta corriente de pensamiento surge en 1989 con Star y Griesemer, quienes focalizaron que, entre las características del vínculo, se destaca la falta de consensos o de bases de conocimiento comunes antes de iniciar el proceso.

Los autores mencionan que la creación de significados transdisciplinarios e interdisciplinarios está mediada por la creación colectiva de “objetos”, que tienen cierta flexibilidad para acompañar un proceso colectivo plagado de diferencias. Esta creación común facilita la comunicación, la definición de interpretaciones y de significados disciplinarios y sectoriales parciales, así como de significados colectivos, que reflejan, en última instancia, una forma de conocimiento superadora que permite su aplicación en otros espacios que el científico (Star, 2010). Nosotros entendemos que la transformación dialéctica en la frontera favorece la producción de un nuevo conocimiento.

El trabajo de campo antropológico fue seguido por la sistematización del registro de entrevistas y, para su análisis, por la construcción de un corpus narrativo complejo. Sobre dicho material se identificaron los indicadores que

remiten a las categorías de tipos de comunidades y usos de conocimiento. La clasificación por tipos de comunidades refiere a la pertenencia disciplinar e institucional de cada actor, incluyendo sus valores, necesidades e intereses. Para los tipos de uso previstos por los procesos de investigación, asumimos que se orientan a crear conocimiento científico que contribuya a la toma de decisiones, por una parte, y por otra para establecer negociaciones.

Por un lado, el conocimiento académico que se produce está refrendado por la revisión por pares –la principal fuente de legitimidad científica, reconocida por otras comunidades no científicas–, que lo asumen como información válida. Por otro lado, cuando el trabajo se orienta a la toma de decisiones, de acuerdo con la modalidad de interacción con funcionarios y técnicos de gobierno, produce un consejo experto, o puede también generar una coproducción que incluya, en su construcción del conocimiento, las necesidades e intereses de comunidades no científicas para que sea aplicable en la definición de manejo y gestión. Por último, aparece el uso para la negociación en contextos políticos con múltiples intereses; el esfuerzo incluye la legitimidad de la información (evaluación por pares) que se lleva a las mesas de negociación política (un ejemplo son las negociaciones internacionales sobre cambio climático).

Otro enfoque que consideramos es la teoría del riesgo, tomando en cuenta que los proyectos de referencia reúnen a científicos y funcionarios gubernamentales que consideran los riesgos que implicaría una disminución del agua disponible en Comahue. Indagamos en las jerarquizaciones que realizan los actores acerca del riesgo mediante la exploración de la relación entre las categorías y variables requeridas por los modelos científicos, con las necesidades e intereses de la gestión política del recurso hídrico en el marco del desarrollo local y regional,

En este caso, consideramos como dimensiones básicas del riesgo a la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad, la adaptación y la incertidumbre, dimensiones consideradas por diversos autores (Blaikie, 1995; Natenzon, 1995; García Acosta, 2005; IPCC, 2012; Murgida, 2012). Nos interesa abordarlas como aspectos o momentos de la dialéctica del proceso de construcción del ambiente, identificando los aspectos causales de los cambios, así como su distribución entre los sectores productivos en el territorio. En particular, tomamos en cuenta la incertidumbre, definiéndola políticamente como la proporción en que los sujetos (actores individuales o colectivos, como lo son, en este caso, las denominadas “comunidades de conocimiento”) logran trasponer la evidencia de los hechos para descubrir el alcance de su conocimiento acerca del problema científico o físico natural y social. De este modo, nos interesa reconocer cuánto se sabe y cuánto no acerca de los elementos del

sistema que, en definitiva, podrían formar parte de una catástrofe o crisis que afecte a la sociedad y a su capacidad de desarrollo y adaptación.

Centramos este análisis, entonces, en el espacio social de frontera o *boundary work* (Gieryn, 1983; Clark *et al.*, 2011), que se define en procesos de investigación que reúnen en diálogo a comunidades de conocimiento orientado, para incrementar la ciencia, y también para contribuir a la toma de decisiones. Por razones de encontrarnos en proceso de negociación con las instituciones, no daremos los nombres, solo referiremos que ambas son interdisciplinarias, que una de ellas es un proyecto académico nacional y en otro caso se trata de un proyecto de investigación y desarrollo internacional.

Los modelos cognitivos que circulan y se usan dentro del espacio social de frontera definen modos y criterios para construir consensos en torno de las variables que se usan para comprender el manejo y gestión del agua para los sectores urbano, agrícola y energético bajo cambio global. Para comprender este diálogo ciencia-política-sociedad, necesitamos conocer los diagnósticos científicos, sociales y de los tomadores de decisiones gubernamentales sobre el sistema ambiental, **así como** las incertidumbres sobre dicho conocimiento a la hora de definir prioridades en un escenario de riesgo

ACERCAMIENTO AL PROBLEMA HIDROCLIMÁTICO QUE ABORDAN LOS PROYECTOS CIENTÍFICOS

De manera general, los científicos que participan en la construcción y desarrollo de los modelos que referimos en este proceso de interacción o enlace ciencia-política pertenecen a centros de investigación científica nacionales e internacionales. Las disciplinas participantes son climatología, meteorología, hidrología, desarrollo de modelos y economía. Entre los técnicos gubernamentales se cuentan aquellos que se desempeñan en instituciones asociadas al manejo hídrico; estos son: departamentos provinciales de agua y autoridades regionales de cuenca. Algunos de los actores de este proceso pertenecen tanto a la academia como a la gestión pública. Consideramos que esta doble pertenencia facilita el reconocimiento de las incertidumbres científicas, cuya resolución contribuiría a la reducción de la incertidumbre política a la hora de tomar decisiones. Incluso, algunos investigadores y técnicos participan en ambos proyectos, lo que permite definir una red por donde circula y se distribuyen resultados que facilitan la comprensión del sistema en sus diferentes dimensiones territoriales y temporales, y a la vez que se genera un diálogo entre proyectos

e instituciones. Aunque es de relevancia, aquí no analizamos la escasa vinculación directa con las ciencias sociales para incluir sus indicadores y variables en los modelos.

Para las comunidades que consideramos, el Comahue presenta cambios hidroclimáticos que repercuten en la vida productiva de la región y que, por su propio peso, se extienden al nivel nacional; principalmente por la producción frutícola en la balanza comercial de exportación y la producción hidroenergética para el abastecimiento energético interconectado nacional. Estos cambios convocan a diferentes perspectivas y modelos cognitivos para comprender el sistema, y suponen la relevancia de considerar el riesgo social por disminución de volúmenes suficientes de agua para el desarrollo de la región en el corto, mediano y largo plazo.

El caudal del río Negro –donde se concentra gran parte de las actividades de riego y población urbana, y el cual depende de los aportes del Limay y Neuquén– está mediado por normativas que limitan su volumen mediante el manejo de los embalses de las represas hidroenergéticas en la parte alta de la gran cuenca. El caudal mínimo –fijado en 300 metros cúbicos por segundo– difiere del mínimo histórico de 900 metros cúbicos por segundo a partir del cual funcionarios de la provincia de Río Negro aseguran que el río empieza a sufrir síntomas de degradación (legislador provincial en Audiencia Pública, 2014). Esto genera conflictos entre las instituciones para la distribución espacial y temporal del agua. Asimismo, el caudal máximo está fijado en 1650 metros cúbicos por segundo (ley provincial de Río Negro Q N° 2590), límite que tiene como función preservar la seguridad de las plantaciones y las localidades urbanas ante la posibilidad de sufrir inundaciones o colapsos del agua subterránea. Esto se traduce socialmente en la pérdida de cosechas por saturación hídrica de los suelos, con sus consecuentes impactos en las condiciones de existencia y organización de la sociedad.

El caudal del río –y su manejo– necesariamente está sujeto a las condiciones climáticas presentes y previstas, y al conocimiento que se tenga de ellas en el corto, mediano y largo plazo. El conocimiento que arrojan los modelos acerca del balance entre la precipitación y la evapotranspiración en la cuenca permitirá anticiparse a los riesgos.

LAS DEFINICIONES DE INTERESES DE CADA COMUNIDAD

Cada comunidad queda definida en este trabajo por uno de sus roles dominantes; así, identificamos a la comunidad científica, la de técnicos gubernamentales; y dentro de estas, hacemos otra clasificación en función de

los tipos de modelos que emplea, sus intereses o necesidades como usuarios, así como por las incertidumbres del problema que buscan solucionar.

Dentro de las comunidades científicas consideradas, se toman dos investigaciones que desarrollan, por un lado, escenarios climáticos e hídricos; y por otro, tendencias climáticas y pronósticos estacionales. Cada uno prioriza metodologías y datos que contribuyen a monitorear aspectos diferentes del sistema, y aportan a la gestión del suelo, del recurso hídrico, de la energía y de la reducción de riesgos.

Los escenarios constituyen una representación del cambio del clima en el futuro (dentro de 10, 30, 50, 100 años). Para lograr esta proyección, toman como base un recorte temporal del sistema climático de diez años en condiciones de mayor estabilidad; es decir, toman una década que presente menos eventos extremos. A dicha base se la modifica artificialmente en los valores de los componentes del sistema considerado (como CO₂, albedo, etc.). Entonces, a la gestión regional se le presentan proyecciones supuestas que dan cuenta de variabilidades y cambios en el clima y, por extensión, en el sistema hidroclimático. A partir de consultas con expertos, interpretamos que las simulaciones más significativas son la temperatura y la precipitación, ya que incidirán en los valores de los caudales. Los resultados son una referencia simulada del posible comportamiento mensual de las variables hasta fin de siglo. De acuerdo con los expertos, la menor incertidumbre esperable de los escenarios se sitúa en las proyecciones entre 10 y 30 años. Estos modelos dan cuenta principalmente de la contribución de la región al fenómeno global del cambio climático.

Los modelos estadísticos de tendencias climáticas son una representación histórica de las precipitaciones y de los caudales de los ríos, que toma como base los datos disponibles, tanto del clima observado en las estaciones meteorológicas, como de los aforos de los ríos durante aproximadamente los últimos 50 años. Con estos datos, se construyen series históricas y se establecen umbrales que definen conjuntos de años húmedos, normales y secos para la cuenca, lo que permite así identificar ciclos que agrupan frecuencias de fenómenos extremos. Esto resulta útil para conocer la variabilidad interanual, identificar eventos extremos, su recurrencia, y la duración en años de los ciclos húmedos y secos. Con esta información, los tomadores de decisión pueden anticipar la disponibilidad de agua para las actividades productivas y con ello, las líneas prioritarias o viables de planificación territorial a mediano plazo en contextos de cambios amplios en la variabilidad interanual.

Los pronósticos estacionales generados a partir de los modelos estadísticos, por su parte, relacionan la precipitación estacional acumulada por trimestre con variables meteorológicas ocurridas en el mes previo. La utilidad

de estos productos es anticipar la cantidad aproximada de lluvia acumulada que va a caer a lo largo de cada uno de los tres meses y su distanciamiento de los valores diagnosticados como normales por las tendencias históricas. En el corto plazo, son útiles para definir la distribución estacional del agua entre necesidades como el manejo de embalses, el otorgamiento de permisos de asignación de agua para las actividades agrícolas, urbanas y energéticas; así como la gestión del riesgo, ya que también brindan indicadores relacionados con posibles eventos extremos.

INCERTIDUMBRES EN EL PROCESO

Nos encontramos con varios tipos de incertidumbre; solo vamos a señalar las más significativas para este recorte del tema. Por un lado, la incertidumbre propia de los resultados científicos, a veces relacionada con el grado de robustez de los datos disponibles, y la incertidumbre implícita en la relación entre comunidades de conocimiento. En este caso, entre científicos y técnicos de diferentes instituciones gubernamentales con capacidad de interpretar necesidades y modos de comunicar los resultados de manera que sean comprensibles y aplicables.

Entre técnicos y tomadores de decisión prevalece la incertidumbre por la inminencia de muchas de las decisiones que deben tomar, ya que impactan directamente en la sociedad, tanto a partir del control y distribución equánime del recurso, como del carácter de las medidas adaptativas o de mitigación ante posibles eventos extremos.

Su función de regular, controlar y administrar la distribución y el manejo del recurso hídrico en su jurisdicción –y en acuerdo con otras jurisdicciones involucradas en la cuenca– significa contribuir al debate en torno de la selección de indicadores, variables y nomenclaturas, para ser incluidas en una metodología de monitoreo integral de recurso hídrico. El diálogo permite crear una interface científico-política de hecho, en la que –además de circular información– se fomentan lazos de confianza entre los diferentes actores.

A partir esta interface, se generan espacios comunes para debatir y construir consensos orientados a definir modos y criterios para seleccionar y ponderar variables que se usan en los modelos. Para los desarrolladores de modelos y científicos usuarios, esto supone un avance del conocimiento; para los tomadores de decisión, significa proveerse de herramientas e indicadores para reducir niveles de incertidumbre en función de una gestión más eficiente e integrada.

INCERTIDUMBRES PARA LA ACTIVIDAD FRUTÍCOLA

Si bien la actividad frutícola es relevante para la vida local y regional, no ha sido central en los modelos; no obstante, a partir de los debates en reuniones de trabajo, hemos podido recuperar la relevancia de los resultados ante las necesidades de los técnicos involucrados.

El suministro de agua para la actividad frutícola se asocia a su estructura productiva. En este caso, la producción de frutas de pepita (manzanas y peras) y frutales de carozo y uva concentran su demanda en el verano, mientras que el clima de la región presenta un estiaje estival. Otra de las características es que el régimen de precipitación varía mucho de un año al otro, por lo que resulta difícil estimar con anticipación cuánto va a llover en cada temporada.

El significado social y económico de estas características físico-naturales deriva en la necesidad de herramientas para ajustar las medidas del manejo y distribución del agua que permitan garantizar su disponibilidad a los productores. Esta es una premisa que impacta no solo en la productividad, sino en toda la cadena productiva (desde pequeños y medianos productores, empleados rurales, procesos industriales y comercialización) y en la organización de la sociedad local que depende de esa actividad económica. Así las condiciones climáticas, las condiciones de mercado y el manejo del agua determinan la rentabilidad de la actividad frutícola e impactan en las condiciones de vida de los productores.

La administración local del servicio de agua está conducida por los consorcios de riego (respetando Principios rectores de la política hídrica de la República Argentina que fundamentan el Acuerdo Federal del Agua). Estos tienen la función de regular y garantizar el abastecimiento **mediante la gestión de** los loteos y la infraestructura de conducción y desagüe del agua. Sin embargo, hay conflictos entre instituciones respecto de los usos del suelo, lo que repercute en la distribución del agua y compromete el funcionamiento eficiente del sistema de riego (Volonté, 2013; Diario ANRoca, 12/01/2016).

Las incertidumbres demoran respuestas adecuadas respecto del manejo del recurso hídrico y de la gestión de los riesgos y sus efectos. El diálogo entre la ciencia y la política contribuye a visibilizar los problemas de manera más integral; y con ello, a fortalecer la información necesaria para planificar. Los modelos empleados en los proyectos de referencia son herramientas que promueven el diálogo acerca de las variables estadísticas y cualitativas, que se pueden traducir luego en indicadores para la toma de decisiones.

Los pronósticos estacionales constituyen una herramienta funcional a la gestión para informarse sobre el agua de la que se va a disponer en el trimestre y para operativizar así el manejo de los embalses en función de ello y

de las necesidades de los campos. Asimismo, permiten estar prevenidos ante posibles eventos extremos y actuar mediante programas de alerta y respuesta a crecidas o secas prolongadas. En este sentido, este diálogo necesariamente afecta a las condiciones materiales de producción de la población.

Los escenarios climáticos, por otro lado, permiten a los técnicos discutir los lineamientos de desarrollo sobre una base de una relativa certidumbre sobre los efectos de la variabilidad y el cambio climático en el largo plazo. Estas miradas de muy largo plazo permiten avizorar las disponibilidades futuras de los recursos, y datos que permiten revisar la planificación del uso de suelo, la creación de nuevas áreas de irrigación y las posibles competencias con otros usos.

A partir de lo señalado, los miembros de las comunidades de saber involucrados, por su capacidad de anticipar el impacto real y potencial del sistema hidroclimático sobre la producción agrícola en el corto/mediano plazo (a partir de información histórica y de las tendencias observadas), y en el largo plazo (a partir de los escenarios), ponderan la práctica de coproducción de conocimiento en estos espacios de frontera y apuestan a la continuidad de la cooperación hacia el futuro. Entre los resultados tempranos de la interfaz ciencia-política que producen los proyectos de investigación, se destaca la voluntad de presentar nuevos proyectos integrados por distintas comunidades de conocimiento.

CONCLUSIONES

A partir del recorrido trazado por los diálogos en la interfaz ciencia-política creada en espacios de frontera constituidos por proyectos de investigación interdisciplinarios con técnicos gubernamentales, rescatamos el trabajo con modelos estadísticos y simulaciones a la hora de unificar criterios de análisis. Esto responde a la necesidad de reducir incertidumbre respecto del conocimiento de procesos hidroclimáticos que inciden en la producción. Si bien en estos casos no se observó una integración de las ciencias sociales en la unificación de criterios y diálogos, desde la ciencia social se ha podido hacer un esfuerzo por interpretar estos procesos de interfaz ciencia-política para generar herramientas para la gestión en el corto, mediano y largo plazo.

La lectura comparada de las funciones de los modelos en los diálogos entre sectores o comunidades de conocimiento nos permitió inferir la complementariedad de los resultados de las simulaciones y del análisis del clima observado a la hora de tomar decisiones, ya que cada uno responde diferentes preguntas que componen la incertidumbre política.

La ausencia del sector social que representan los productores en estos procesos ha restado una de las voces que, desde otra forma de conocimiento,

podría introducir cuestiones que ni los científicos ni los funcionarios jerarquizarían. No obstante, los resultados alcanzados brindan herramientas que son actualmente usadas en instituciones con la responsabilidad de tomar decisiones bajo un contexto de estrés hídrico, comprobado tanto por modelos estadísticos como por simulaciones. Así los escenarios –en tanto simulaciones complejas de la realidad– corroboran las tendencias del clima observado.

Los vínculos desarrollados en este estudio son una forma de hacer operativos los principios de compromiso y trabajo conjunto que se mencionan en el Plan Hídrico Nacional de 2003; en lo que refiere al compromiso y trabajo conjunto de los organismos de gobierno con usuarios del agua, pero también con organismos científicos, con el objetivo de alcanzar la capacidad de respuesta a las necesidades que se planteen en los diferentes sectores de actividad.

El diálogo entre científicos y técnicos de la gestión, mediado por los modelos, permite homologar indicadores sobre factores y nomenclaturas a tener en cuenta en pos de un conocimiento aceptado científicamente y aplicable en la toma de decisiones para planificar, resolver conflictos interjurisdiccionales e intersectoriales, reconocer el riesgo y anticiparse a eventos extremos (pasibles de ser incorporados a la gestión del riesgo). Asimismo, entre los modelos, los escenarios son productos científicos concretos que permiten a los organismos públicos locales y regionales incorporarse al debate internacional sobre cambio climático y, al mismo tiempo, entender cómo este fenómeno impacta en el territorio, en una escala local.

Los vínculos que se conformaron entre la gestión y los centros académicos y de investigación tendieron a reducir la incertidumbre entre el clima simulado a largo plazo y el clima observado. Este último es, en definitiva, el que afecta a la población en su vida diaria.

El ejercicio de construir conocimiento en la frontera derivó en el interés de los actores partes del proceso en continuar colaborando en proyectos futuros para mejorar las herramientas, en pos de profundizar conocimientos. Así, la experiencia, pese a todas las dificultades, resulta en una nueva forma de abordar la realidad y de construir problemas de investigación y de gestión.

REFERENCIAS

- Clark WC, Tomich TP, van Noordwijk M, Guston D, Catacutan D, Dickson NM et al (2011) Boundary work for sustainable development: natural resource management at the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. Doi:10.1073/pnas.0900231108

- García Acosta, Virginia. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, (19), 11-24. Recuperado en 27 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-92742005000300002&lng=es&tlng=es:
- Gieryn, Thomas F. (1983): "Boundary-work and the demarcation of science from non-science: strains and interests in professional ideologies of scientists". *American Sociological Review*, 48, 781-795.
- González, M. H. (2013): "La predicción estadística estacional de la lluvia en el Comahue como herramienta para la toma de decisiones". *XXIV Congreso Nacional del Agua*. CONAGUA, San Juan, Argentina.
- IPCC (2012): "Resumen para responsables de políticas". En C. B. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. -K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, y P. M. Midgley (eds.), *Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, Nueva York y Reino Unido, Cambridge University Press, pp. 1-19.
- Murgida, A., M. Laham, C. Chiappe y M. Kazimierski (2016): "Desarrollo social bajo sequía y cenizas". *Iluminuras*, 17 (41), pp. 11-29.
- Natenzon, C. E. (1995): "Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre". En Serie Documentos e Informes de Investigación N° 197, Buenos Aires, FLACSO,
- Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos de Argentina (Anexo 1).
- Volonté, M. (2013): "Los consorcios de riego en el Código de Aguas de la provincia de Río Negro". En *II Congreso Nacional de Derecho Agrario Provincial*, La Plata.

Artículos periodísticos:

- "Aportes para mejorar la operación de riego en Alto Valle". *Diario Río Negro*, 17 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.rionegro.com.ar/pulso/aportes-para-mejorar-la-operacion-del-riego-en-alto-valle-BCRN_7970848
- "La proliferación de loteos genera polémica con el sistema de riego en el Valle". *Anroca*, 12 de enero de 2016. Disponible en: <http://www.anroca.com.ar/noticias/2016/01/12/66686-la-proliferacion-de-loteos-genera-polemica-con-el-sistema-de-riego-en-el-valle>

**CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO SOCIAL EN AMBIENTES
DE RIESGO: EL APORTE DE LOS ESTUDIOS DE PALEOAMBIENTE
EN LA PUNA ARGENTINA**

*Daniel Olivera^{1 2 3 4}, Lorena Grana⁵, Nora Maidana^{6 7}, Hugo Yacobaccio^{1 2},
Marcelo Morales^{1 7}, Pablo Tchilinguirian^{8 2 3}*

RESUMEN

El artículo se enfoca en la contribución de los estudios paleoambientales y su relación con la vida humana en una zona árida de riesgo económico/ambiental como el desierto de altura puneño, para comprender la repercusión de los cambios climáticos sobre los recursos vitales para la supervivencia humana y las respuestas de los grupos sociales pasados a dichos cambios. Asimismo, se reflexiona sobre el potencial aporte de estos estudios a la comprensión y solución de problemáticas agropecuarios actuales tanto para esta como para otras regiones.

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras. Buenos Aires, Argentina.

2. CONICET. Buenos Aires, Argentina.

3. Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL).

4. Correo electrónico: deolivera@gmail.com

5. CONICET – Universidad Nacional de Catamarca. Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca. Catamarca, Argentina.

6. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Buenos Aires, Argentina.

7. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA). Buenos Aires, Argentina.

8. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Es indudable la íntima relación establecida entre las poblaciones humanas y su ambiente, del que se obtienen los recursos para asegurar su subsistencia, reproducción y desarrollo. Por ello, los cambios climáticos y su repercusión en los ecosistemas tienen directa relación con la supervivencia de las sociedades humanas en todas las épocas.

Los ecosistemas de zonas áridas, como el desierto de altura de la Puna argentina, son particularmente sensibles a los cambios climáticos y han sido catalogados como de alto riesgo e incertidumbre ambiental. Sin embargo, la arqueología ha registrado ocupaciones humanas sin solución de continuidad desde el límite Pleistoceno-Holoceno (*ca.* 11.000 años AP) hasta la actualidad. Durante este dilatado período hay evidencias de importantes cambios climáticos que afectaron el ambiente puneño y repercutieron en la vida de las poblaciones humanas.

Nuestros proyectos de investigación en distintos sectores de la Puna apuntan a obtener un panorama de la variación ambiental en la región desde su porción norte (más húmeda) hasta la meridional (más árida) y evaluar las relaciones entre los cambios ambientales y los principales cambios sociales y económicos de los últimos 10.000 años. Los resultados obtenidos permitirán no solo conocer mejor cómo impactaron las variaciones del clima en la estructura de recursos útiles para la vida humana sino también la manera en que las sociedades reaccionaron a estas variaciones y cómo éstas impactaron en el ambiente. Se considera un abordaje multidisciplinario que involucra a la arqueología, la geología, la pedología, la hidrología y la biología, partiendo de objetivos e hipótesis comunes a los intereses de esas disciplinas científicas, adecuando los métodos y técnicas de campo y gabinete para la correcta integración de los diferentes registros particulares. Resumiremos algunos resultados obtenidos en Antofagasta de la Sierra (Catamarca, Puna Meridional) y citaremos un par de ejemplos de cómo la investigación ofrece aristas útiles para la sociedad puneña actual y para el estudio del cambio climático, en general.

LA PUNA ARGENTINA: EL AMBIENTE ACTUAL

La Puna argentina, parte de la Puna de Atacama, presenta condiciones de un ambiente hiperdesértico (precipitaciones 300 a <50 mm/año), modelado por diversos procesos morfogénéticos, donde la acción volcánica terciaria y cuaternaria tiene una considerable importancia. El paisaje presenta extensas planicies y terrazas fluviales y, en las zonas más bajas –donde se desarrollan salares–, mallines y lagunas.

Las características ambientales actuales pueden resumirse en factores tales como intensa radiación solar debida a la altitud (2500-4100 msnm); gran amplitud térmica diurna/nocturna (hasta 30° C); marcada estacionalidad con precipitaciones estivales escasas; baja presión atmosférica; e irregular distribución de nutrientes, los que se concentran en sectores hídricos estables. Esta última es una de las principales características ecológicas de la Puna; los nutrientes y la biomasa vegetal se concentran en sitios con humedad permanente, como las quebradas con vegas o los márgenes de las lagunas y salares. Esto no implica una baja diversidad ambiental, ya que se pueden distinguir importantes variaciones en el clima, la topografía, la geología y la biomasa a lo largo de la puna, a veces en sectores separados por escasos kilómetros. Así, las condiciones de lluvia y humedad ambiental disminuyen con el aumento de la latitud y, en general, de este a oeste. Asimismo, la cota origina variados pisos altitudinales de vegetación con diferente abundancia y tipos de especies. Estas características ambientales influyen en la localización espacial de los recursos, que es predecible, aunque no su abundancia, ya que el ambiente es extremadamente variable en el corto plazo. Existen dos aspectos fundamentales para la vida humana: 1) la puna siempre fue una región de tipo semiárido/ árido; 2) existe una variabilidad de mosaicos (Yacobaccio, 1994) que, dentro de la aridez general, ofrecen condiciones más benignas.

Existe una baja predictibilidad del clima en el corto y mediano plazo. Las lluvias de régimen estival alternan períodos de sequía extrema con otros en los que son más abundantes, siendo poco regulares las condiciones de un año al otro. Estas situaciones ocurren en plazos menores a diez años y son difíciles de detectar en el pasado, pero su influencia es decisiva en la economía humana (Dincauze, 2000). Como propusiera Escola (1996), en ambientes de este tipo, deben tomarse en consideración las condiciones de riesgo e incertidumbre para analizar las estrategias económicas.

PALEOAMBIENTE Y OCUPACIÓN HUMANA EN LA PUNA MERIDIONAL

En la Puna de Atacama, las evidencias para inferir las condiciones climáticas durante los últimos 11.000 años, aún escasas, permiten algunas consideraciones (ver, por ejemplo, Grosjean y Núñez, 1994; Valero-Garcés *et al.*, 2000; Grosjean *et al.*, 2007; Lupo *et al.*, 2007; Yacobaccio y Morales, 2013, Tchilinguirian y Morales, 2013; Tchilinguirian y Olivera, 2015, entre muchos otros). En general, luego de la desaparición de los glaciares andinos, hay coincidencia en que entre *ca.* 13.000 y 8500 años AP el clima era más húmedo y frío que el actual; a partir de los 8500 años AP habría cambiado a condiciones

aún más secas que las actuales (disminución de precipitaciones; desecamiento de lagos; aumento gradual de t°), con un máximo alrededor de los 6500/6000 años AP. Finalmente, a partir de los 5000/4000 años AP, se habrían establecido condiciones similares a las actuales (iniciadas *ca.* 1600 años atrás) con mayor humedad que en el Holoceno medio, pero menos que en el período de 13.000 a 8500 años AP (Holoceno temprano).

Sin embargo, este panorama general varía notablemente en la magnitud, la escala espacial y temporal (duración, inicio y final de las fases climáticas) según el sector de la puna considerado (Tchilinguirian y Morales, 2013). Ello estaría determinado por innumerables factores que controlan las condiciones climáticas locales, como la posición geográfica en el sistema de circulación atmosférica, la altitud y el efecto de la sombra pluviométrica según la disposición de las cadenas montañosas. En la Puna meridional, los estudios en Antofagasta de la Sierra indican varias fases paleoambientales que se interpretan a partir de fases climáticas de mayor humedad o aridez (Tchilinguirian y Olivera, 2005; Olivera *et al.*, 2006; Tchilinguirian *et al.*, 2008; Grana *et al.*, 2016). Integrando datos de varias cuencas de drenaje, se registró: a) condiciones más húmedas que en la actualidad previas al 7400 años AP; b) condiciones preferentemente más áridas que la actualidad en el Holoceno medio (7400 a 3400 años AP); c) condiciones más húmedas al principio del Holoceno tardío (3400 a 1600 años AP); d) condiciones más áridas al final del Holoceno tardío (1600 a 600 años AP); e) condiciones más húmedas en la época histórica y posiblemente asociada a la Pequeña Edad de Hielo (600 a 250 años AP); y d) condiciones semiáridas actuales.

La evidencia arqueológica revela ocupaciones de cazadores-recolectores desde comienzos del Holoceno (*ca.* 10.000/11.000 AP), focalizadas en la caza de camélidos silvestres (vicuña y guanaco) (Aschero y Martínez, 2001; Olivera y Elkin, 1995). A lo largo de miles de años, estos grupos humanos sufrieron procesos de cambio que podrían haber involucrado la incorporación paulatina de cierto manejo selectivo de poblaciones de camélidos, que desembocarían en la llama domesticada (4000-5000 años AP). La siguiente fase húmeda dominante (*ca.* 4500-1500 AP) habría presentado condiciones más benignas y mayor oferta de recursos que coincidieron y, quizás, favorecieron: a) el inicio del pastoralismo; b) el inicio de los cultivos; y/o c) cambios en los territorios de caza. Así, *ca.* 3000 años AP, se establecieron nuevas sociedades con mayor grado de sedentarismo que implementaron prácticas agropastoriles complementadas con la caza. La economía, en este momento inicial, se habría organizado principalmente alrededor del pastoreo, mientras que el cultivo no sería tan destacado. Hacia los 2000/1900 años AP, comenzaría un paulatino aumento demográfico, acompañado de un incremento de la producción agrícola, sin disminuir la importancia del pastoreo y la caza de camélidos.

Finalmente, el período Tardío/Inca (*ca.* 1100 a 450 AP) coincide con una fase predominantemente árida (*ca.* 1500 AP-actual), con breves interrupciones más húmedas hace *ca.* 650 años y en la denominada Pequeña Edad de Hielo (*ca.* 600-250 AP). Para este momento final del Holoceno, destacaremos dos casos interesantes aportados por la investigación respecto de la relación humano-ambiente, su significación en estudios de cambio climático y la repercusión socioeconómica en ambientes desérticos de riesgo.

ABANDONO DE UN SISTEMA AGRÍCOLA ARQUEOLÓGICO: ¿CAMBIO CLIMÁTICO?

Curiosamente, el inicio de importantes sistemas de cultivo en la Puna Sur coincide con uno de los momentos de mayor aridez (*ca.* 1000-900 AP, Anomalía Climática Medieval). Durante ese periodo, en los sectores bajos y medios de la cuenca de Antofagasta de la Sierra (Catamarca) se desarrollan sistemas agrícolas con regadío, como Bajo del Coypar, y grandes sitios habitacionales (La Alumbreira) asociados con profundos cambios en la organización social y política (Olivera y Vigliani 2000-2002; Salminci *et al.* 2014).

Bajo del Coypar utilizó para la producción agrícola intensiva y extensiva una superficie de *ca.* 600 ha, en que los incas (*ca.* 450 AP) introdujeron mejoras en el sistema de riego por canales y terrazas; pero, en algún momento posterior, el sistema agrícola del Bajo del Coypar fue abandonado. En la actualidad, solo unas 10 ha se utilizan para el cultivo de alfalfa destinada al pastoreo. ¿La decisión humana del abandono respondió a un cambio climático o estuvo vinculada a situaciones histórico-sociales propias del siglo XVI?

Nuestros estudios edafológicos demostraron que el suelo no registra una acumulación significativa de sales (salinización por regadío). El análisis químico de las tierras cultivadas en la actualidad señala que contiene más materia orgánica (0,6 a 0,5%) y fósforo (6,4 14 ppm) que la tierra sin cultivo (Tchilinguirian y Olivera, 2000); y lo mismo ocurre con el potasio, el sodio y Ca+Mg solubles (op. Cit. Tchilinguirian y Olivera 2000). Lo anterior refuerza la idea de que la tierra está lejos de agotarse y que su potencial se mejora mediante el cultivo razonable.

Para apoyar estas conclusiones, se desarrolló el cultivo de cuatro hectáreas dentro de los campos arqueológicos mediante técnicas tradicionales, llevado a cabo por una habitante del área (Sra. Santos, Claudia). Esta parcela de tierra sirvió como un control experimental con el fin de recoger datos valiosos sobre la técnica de cultivo y la productividad de las granjas (Figura 1). Como resultado, se obtuvieron datos sobre: 1) características en la preparación y el

mantenimiento de la tierra, siembra y cosecha; 2) cantidad de horas / hombre utilizadas; 3) programas de riego y la cantidad de agua utilizada; y 4) productividad y eficiencia. Esta experiencia se documentó durante cuatro años (2002-2006), y se verificaron dos cosechas de alfalfa durante el verano (enero y marzo) y el confinamiento de las ovejas durante el invierno (julio) para el pastoreo; la cosecha media en verano se estimó en 5000/5500 kg/ha. Las investigaciones refuerzan la idea de que el abandono de los campos de Bajo del Coypar ocurrió luego de la ocupación Inka coincidente con una fase paleoambiental húmeda (PEH: 600-250 años AP); por lo tanto, había suficiente agua para el riego. En consiguiente, se interpreta que fue resultado de decisiones humanas quizás relacionadas con la política española del siglo XVI y la reorganización de la población originaria para ser utilizada como mano de obra minera. Así, con la racionalidad apropiada, podrían reactivarse los campos para beneficio de la población, actualmente afectada por graves problemas socioeconómicos.

LAS VEGAS DEGRADADAS: ¿ACCIÓN HUMANA O IMPACTO AMBIENTAL?

Otro aspecto abordado por la investigación se centra en las causas de la degradación de las vegas (Tchilinguiran y Olivera, 2013; Alaniz, 2016). Las vegas en la puna son unidades de vegetación con pastos útiles para la actividad pecuaria, oasis vitales en el desierto, asociados a vías de agua permanente o semipermanente. En ocasiones, las familias riegan e inundan terrenos aledaños a una vega natural, con lo que se genera una vega artificial aledaña a la primera. Los suelos orgánicos de las vegas artificiales raramente superan los 5 a 7 cm y, ante falta de riego, las plantas se secan rápidamente y la vega artificialmente creada se degrada. La acción humana como agente de degradación de las vegas se vincula a la extracción de agua para riego o consumo, que origina una pérdida del volumen aguas abajo; a la pérdida de vegetación hidrófila por salinización de la vega (las sales se acumulan por la evaporación de anegamientos originados por el riego excesivo de vegas con drenaje pobre y suelos de texturas finas); y a la construcción y excavación de canales rectilíneos en la vega, que producen un aumento de la escorrentía junto con erosión y un descenso de la capa freática. La construcción de canales artificiales origina impactos puntuales de reducida extensión y reversibles ya que el canal se colmata rápidamente de vegetación y sedimentos. En las cuencas de drenaje ubicadas aguas arriba de vegas degradadas no hallamos ocupaciones arqueológicas o históricas que puedan haber originado impactos antrópicos significativos en las vegas.

En Corral Grande (río Mojones) se hallaron canales de riego y corrales históricos localizados aguas abajo de una vega actualmente degradada, lo que implica que en épocas históricas la vega fue activa y se extendió en estos corrales. Los fechados de los paleosuelos de esta vega degradada (ca. 200 a 152 años AP) son consistentes con la edad de los corrales históricos. En este caso, se interpreta que dichos corrales fueron abandonados por falta de agua en la vega, asociada a un proceso de degradación no antrópico (Figura 2). En el río Calalaste, se halló una situación similar: el sitio agrícola "Punta Calalaste" tardío (ca. 1000 a 450 AP) se alimentaba de canales de riego ubicados aguas abajo de una vega degradada; la antigua extracción de agua para riego debió realizarse cuando el caudal era mayor y no impactó en la degradación de la vega.

En cambio, no se han hallado sitios arqueológicos o históricos con campos de cultivo en la vega del salar de Carachipampa ni en la de la quebrada de Ilanco, ambas notablemente degradadas en épocas tardías e históricas. Estos casos no solo muestran el efecto de cambios ambientales no antrópicos, sino también que estos procesos de degradación se agudizaron dramáticamente en los últimos 150 años, en coincidencia con la Revolución industrial y los cambios climáticos a nivel global (v.g., aumento de T° por efecto invernadero). No fue posible aún establecer una relación directa entre estos fenómenos y su grado de incidencia, pero es una coincidencia que debería estudiarse en profundidad. Finalmente, la llegada de los europeos en el siglo XVI introdujo ganado exótico (cabras, ovejas, vacas y burros) que contribuyó a este proceso, ya que su escasa adaptación al ambiente local produjo mayor degradación de los pastizales, mientras que los camélidos sudamericanos (llamas y vicuñas) son pastoreadores de bajo impacto.

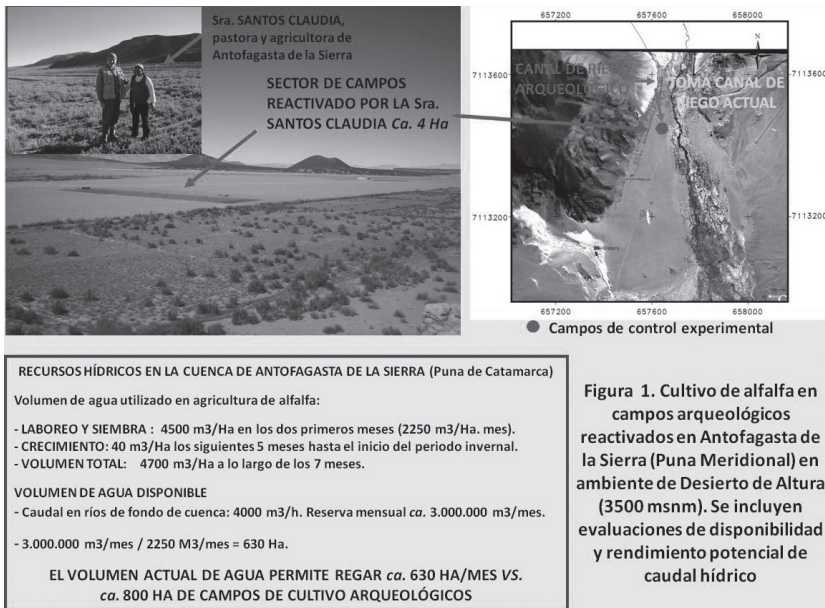
CONSIDERACIONES FINALES

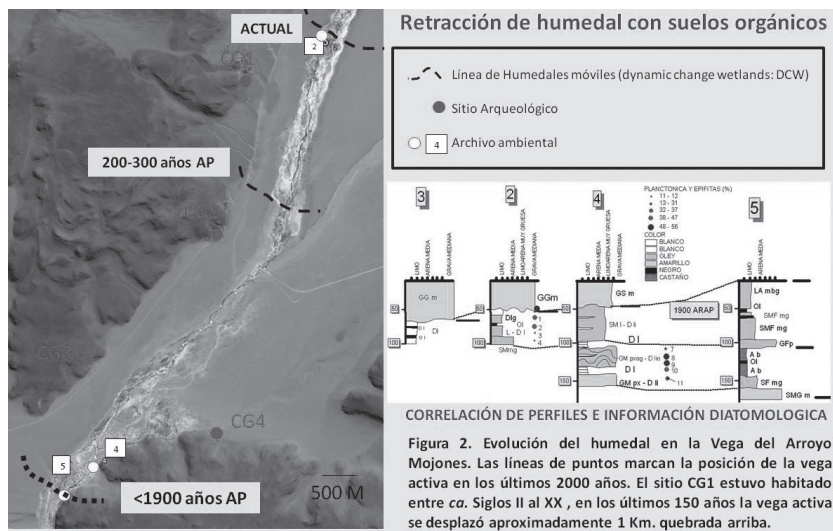
El ambiente no es solo el escenario en el cual se desarrollan las sociedades, sino que ambos están ligados de manera dinámica. Conocer el desarrollo de estas situaciones en el pasado tiene interés directo sobre las actividades socioeconómicas actuales; en particular, en regiones áridas/semiáridas, donde las condiciones de alto riesgo e incertidumbre obligan a buscar soluciones para asegurar un desarrollo sostenible en el tiempo. Nuestro objetivo fue dar cuenta de la potencialidad que poseen los estudios interdisciplinarios del tipo presentado para comprender los complejos mecanismos involucrados en la relación hombre-ambiente a diferentes escalas. Asimismo, quisimos llamar la atención sobre la equifinalidad de resultados que diferentes procesos pueden plantear, al aumentar la ambigüedad de las conclusiones si no se adoptan adecuados recaudos para controlar diferentes tipos de datos y vías analíticas.

Los actuales y dramáticos requerimientos frente al cambio climático y su repercusión en aspectos socioeconómicos, especialmente de poblaciones humanas más vulnerables, agudizan el interés por entender el comportamiento y la evolución de los ecosistemas particularmente sensibles, como es el caso de la Puna argentina.

AGRADECIMIENTOS

A todos los miembros del equipo que, desde distintas áreas de investigación, son parte clave de los resultados de los proyectos. Las investigaciones son financiadas por la Universidad de Buenos Aires a través del proyecto "Paleoambiente, procesos socioculturales e impacto ambiental durante el Holoceno en la Puna Argentina: una aproximación multidisciplinaria (Etapa II)" Programa UBACyT Área: CAMBIO CLIMÁTICO (PIUBACC) 20620130100003BA (2014/2017), y por el CONICET a través del "Proyecto Arqueología Ambiental del Holoceno Tardío en la Puna Argentina", PIP CONICET 112-201101-00567.





REFERENCIAS

- Alaniz, L. (2016): *Degradación de suelos en vegas de la Puna, Antofagasta de la Sierra. Carrera de Geología*. Tesis de licenciatura. 140 p. FCEN, UBA.
- Aschero, C. y J. Martínez (2001): Técnicas de caza en Antofagasta de la Sierra, Puna Meridional Argentina. *Relaciones de la SAA XXVI*: 215-241
- Dincauze, D. (2000): *Environmental Archaeology: Principles and Practice*. Cambridge University Press, Londres.
- Escola, P. (1996): Riesgo e Incertidumbre en economías agro-pastoriles: consideraciones teórico-metodológicas. *Arqueología* 6: 9-24.
- Grana, L., P. Tchilinguirian, D. E. Olivera, C. Laprida y N. I. Maidana 2016: "Síntesis paleoambiental en Antofagasta de la Sierra: heterogeneidad ambiental y ocupaciones humanas en los últimos 7200 años cal AP". *Intersecciones en Antropología*, 17 (2), 19-32.
- Grosjean, M., C. Santoro, L. Thompson, L. Núñez y V. Standen (2007): Mid-Holocene Climate and Culture Change in the South Central Andes. En: Anderson, J. et al. (eds.), *Climate Change and Cultural Dynamics: A Global Perspective on Mid-Holocene Transitions*. San Diego, Academic Press & Elsevier, pp. 51-115.
- Grosjean, M. y L. Núñez (1994): "Lateglacial, Early and Middle Holocene Environments, Human Occupation and Resource Use in the Atacama (Northern Chile)". *Gearchaeology: An International Journal*, 9 (4), 271-286

- Lupo, L., M. R. Morales, H. D. Yacobaccio, A. Maldonado y M. Grosjean (2007): "Cambios ambientales en la Puna Jujeña durante los últimos 1200 años: explorando su impacto en la economía pastoril". En *Actas del XVI Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Tomo III. Revista Pacarina* 16: 151-156. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Jujuy.
- Olivera, D. & D. Elkin (1995): "De agricultores y pastores: El proceso de domesticación en la Puna Meridional Argentina". *Zoarqueología de Camélidos*, 1: 95-124.
- Olivera, D., P. Tchilinguirian y M. J. de Aguirre (2006): "Cultural and environmental evolution in the Meridional Sector of the Puna of Atacama during the Holocene". En *Change in the Andes: origins of social complexity, pastoralism and agriculture*, XIV Congreso de la Unión de Ciencias Prehistóricas y Protohistóricas de Europa. Oxford, British Archaeological Reports (BAR) International Series 1524. Oxford, Archaeopress, pp. 7-15.
- Olivera, D. y S. Vigliani (2000-2002): "Proceso cultural, uso del espacio y producción agrícola en la puna meridional argentina". *Cuadernos del INAPL*, 19, 459-481.
- Salminci, P., P. Tchilinguirian y K. Lane (2014): "Bordos and Boundaries: Sustainable Agriculture in the High Altitude Deserts of Northwest Argentina, AD 850-1532". *Journal of Anthropology and Archaeology*, 2 (1), 189-218.
- Tchilinguirian, P., y M. Morales (2013): "Mid-holocene Paleoenvironments in Northwestern Argentina: Main Patterns and Discrepancies". *Quaternary International*, 307, 14-23.
- Tchilinguirian, P. y D. Olivera (2000): "De aguas y tierras: aportes para la reactivación de campos". *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, XXV, 99-117.
- Tchilinguirian P. y D. Olivera (2013): "Degradación y formación de vegas puneñas (900-150 años AP), Puna Austral (26°S) ¿respuesta del paisaje al clima o al Hombre?". *Acta Geológica Lilloana*, 24 (1-2), 41-61.
- Tchilinguirian, P., y D. Olivera (2015): "Late Quaternary paleoenvironments, South Andean Puna (25°-27°S, Argentina)". En L. Pintar (ed.), *Hunter-gatherers from a high-elevation desert. People of the Salt Puna (northwest Argentina)*. BAR International Series 1524. Oxford, Archaeopress.
- Tchilinguirian P., D. Olivera y L. Grana (2008): "Expansiones y retrocesos de humedales de altura durante el holoceno, Puna austral, Argentina. Implicancias ambientales". *XVII Congreso Geológico Argentino. Simposio Paleoclima durante el Cenozoico Tardío*. Jujuy.
- Valero-Garcés, B. L., A. Delgado-Huertas, N. Ratto, A. Navas y L. Edwards (2000): "Paleohydrology of Andean saline lakes from sedimentological

and isotopic records, Northwestern Argentina". *Journal of Paleolimnology*, 24: 343-359.

Yacobaccio, H. (1994): "Biomasa animal y consumo en el Pleistoceno-Holoceno Surandino". *Arqueología*, 4, 43-71.

Yacobaccio, H. y M. Morales (2013): "Ambientes pleistocénicos y ocupación humana temprana en la Puna argentina". *Boletín de Arqueología PUCP*, 15, 337-356.

GLOSARIO

Anomalía Climática Medieval: periodo de clima extraordinariamente cálido en la región del Atlántico norte, que duró desde aproximadamente el siglo X hasta el siglo XIV.

Años AP: años antes del presente, medida normalizada para considerar la cronología obtenida a partir de medios relativos o absolutos (por ejemplo, Carbono 14) desde el presente hacia atrás.

Biomasa: cantidad total de materia viva presente en una comunidad o ecosistema

Cuenca endorreica: en geografía, extensión de terreno más ancha y menos profunda que un valle, cuyas aguas desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.

Fase Paleoambiental: periodo de tiempo con condiciones ambientales similares. se define a partir de varios proxydatos.

Fase Paleoclimática: periodo de tiempo con condiciones climáticas similares. Se define a partir de varios proxydatos.

Holoceno: Geología, última fase de la era cuaternaria, sigue al Pleistoceno y se extiende desde hace unos 10 000 años hasta la actualidad.

Paleoambiente: antiguo ambiente sedimentario que estuvo activo en la antigüedad. Puede estar enterrado por sedimentos o hallarse degradado o transformado en otro ambiente.

Paleoclima: antiguas condiciones climáticas de un área. Se define por algún factor climático tal como el valor o la distribución de las precipitaciones, la temperatura, la nubosidad o el viento.

Pequeña Edad de Hielo: periodo de clima extraordinariamente frío que abarcó desde aproximadamente el siglo XIV hasta mediados del XIX, según las regiones.

Planicie aluvial: geoformas fluviales de acumulación, activas desde el punto de vista sedimentario y morfodinámico. Poseen una topografía deprimida y plana y están sujetas a la inundación, a la sedimentación y al modelado del curso de agua.

Pleistoceno: Geología, primera fase de la era Cuaternaria, se extiende desde hace unos 2 millones de años hasta hace unos 10.000.

Proxydato: parámetro químico (por ejemplo, carbonatos), biológico (por ejemplo, polen), geológico (por ejemplo, facies sedimentarias) hallado en un archivo sedimentario que sirve para interpretar una condición paleoambiental como paleohumedad, paleotemperatura, paleovegetación, etcétera.

Terraza aluvial: geoformas de erosión fluvial inactivas que se disponen en forma de rellanos adyacentes a los cursos de agua.

Vega: pastizal discreto y de extensión variable, frecuentemente asociado a sistemas palustres, cursos fluviales y vertientes. Usualmente presenta una cobertura vegetal mayor al 70% y una alta productividad vegetal.

MEDICIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL AL CAMBIO CLIMÁTICO EN POBLACIONES RURALES

Mariano Eriz¹ y Esteban Otto Thomasz¹

RESUMEN

Se espera que el cambio climático tenga graves efectos sobre las poblaciones de los países emergentes dado que, en muchos casos, los ingresos de dichas economías dependen fuertemente de la agricultura; sus poblaciones rurales dependen altamente de la autoproducción de subsistencia y, asimismo, se encuentran financiera y técnicamente menos equipadas para adaptarse a nuevos escenarios climáticos. En este sentido, planear medidas focalizadas que faciliten la adaptación para reducir el impacto del cambio climático sobre la pobreza y la seguridad alimentaria requiere de métodos de identificación de regiones vulnerables en los ámbitos nacional, regional y local. Por todo lo anterior resulta importante identificar a qué riesgos están expuestas las poblaciones y en qué grado, lo que permitirá priorizar las políticas destinadas a mitigar o adaptar dichas regiones vulnerables y localizar las características poblacionales de cada territorio. A su vez, nuevas políticas públicas deberán incorporar el análisis de vulnerabilidad social al cambio climático para ser más efectivas en los años venideros. El objetivo principal de esta nota es presentar el estudio del desarrollo de un indicador georreferenciado que mida la vulnerabilidad respecto del cambio climático en los ámbitos nacional, regional y local.

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM). Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los riesgos relacionados con el cambio climático están aumentando rápidamente en las comunidades altamente vulnerables, que viven en diferentes condiciones de acuerdo con el lugar donde habitan: ciudades, zonas rurales o asentamientos informales. Los probables impactos directos del cambio climático y la variabilidad climática incluyen: precipitaciones extremas, estrés por calor, inundaciones pluviales y fluviales, deslizamientos de tierra, sequías, incremento de la aridez, escasez de agua con impactos indirectos en las personas, las economías y los ecosistemas (Revi *et al.*, 2014).

Según el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), los países en desarrollo serán los que presenten un mayor impacto por el cambio climático en el corto plazo. La seguridad alimentaria y los ingresos provenientes del sector agrícola se verán afectados por las precipitaciones extremas y las sequías, debido a que se generarán cambios en las áreas productivas; esto, a su vez, tendrá un impacto desproporcionado en el bienestar de los productores rurales (IPCC, 2014). Existe consenso respecto de que, en los últimos años, la variabilidad climática se ha incrementado en la Argentina (Barros *et al.*, 2015).

Las diferencias en la exposición y la vulnerabilidad a los riesgos climáticos a menudo son consecuencia de diversos factores y de las desigualdades multidimensionales producidas por los dispares procesos de desarrollo. La vulnerabilidad al cambio climático es una función de, como mínimo, tres factores: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Adger, 2006).

Es por esto que resulta necesario identificar los diferentes riesgos a los que las poblaciones están expuestas y en qué grado, lo que permitirá adoptar políticas públicas focalizadas en mitigar o adaptar las regiones más vulnerables y localizar las diversas características de las poblaciones a lo largo del territorio. Futuras políticas públicas, para ser más adecuadas, deberán incorporar la vulnerabilidad social respecto del cambio climático.

Miola y Simonet (2014) proporcionan una útil exposición informativa y una clasificación de los siguientes indicadores de riesgo climático:

- Índice de Riesgo al Cambio Climático Global (CRI): Cuantifica el impacto de los eventos climáticos extremos.
- Índice de Riesgo Mundial (WRI): Define al riesgo como la interacción entre los peligros y la vulnerabilidad (que comprende susceptibilidad, capacidad de supervivencia y capacidad de adaptación).
- Índice de Adaptación Global de *Notre Dame* (ND-GAIN): Define una guía para priorizar y medir el progreso de adaptación al cambio climático y otras fuerzas globales.

- Centro para el Desarrollo Global (CGDev): Cuantificación de la vulnerabilidad a los climas más extremos; incremento del nivel del mar y pérdida de la productividad de los agricultores para la asignación de recursos de costo efectivo para la adaptación.
- Monitor de Vulnerabilidad Climática (DARA): Mide el impacto de cambio climático en la salud, el clima, el hábitat y la economía de los seres humanos.

Aunque cada uno de estos índices tiene un diseño en particular y explora diferentes dimensiones, todos ellos son calculados a nivel agregado (nivel nacional) y, en casi todos los casos, proveen un ranking entre los países. Es decir, no proveen información de las regiones o un ranking dentro de las diferentes zonas de un mismo país; a su vez, tampoco proponen un subindicador que permita construir índices personalizados.

En el caso puntual de la vulnerabilidad social, se destaca el capítulo de “Indicadores de vulnerabilidad social estructural de la Tercera Comunicación Nacional”. De acuerdo con la línea de investigación resumida en esta nota, se partirá de datos existentes en estudios preliminares, pero se trabajará en una metodología de construcción de índice con base en Thomasz *et al.* (2014) y Eriz y Thomasz (2016).

CONCEPTUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD

La *vulnerabilidad* es definida como una situación latente caracterizada por la convergencia de circunstancias que aumentan la probabilidad de las personas y hogares de sufrir contingencias que disminuyan dramáticamente su bienestar. Es un concepto multidimensional que mediante el se busca identificar factores que refuerzan la reproducción de procesos que deterioran el nivel de vida de hogares e individuos (Thomasz *et al.*, 2014).

El análisis de vulnerabilidad complementa a los indicadores estáticos ya que adopta una perspectiva *ex ante* acerca del bienestar y amplía el análisis a individuos y hogares no considerados por los indicadores estáticos, dado que su alcance es mucho más amplio (McDonald, 2013). La vulnerabilidad es entendida como combinación de la exposición de los agentes a shocks, por un lado, y su menor resiliencia a ellos, por otro; lo que puede derivar en la perpetuación o la profundización de los estados de pobreza (The World Bank, 2003). En la misma línea, Calvo y Dercon (2005) definen a la vulnerabilidad como la magnitud de la amenaza de un futuro estado de pobreza.

VULNERABILIDAD SOCIAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Siguiendo el aporte realizado en la Tercera Comunicación Nacional (2015), se puede aseverar que la vulnerabilidad social es una componente clave para focalizar políticas públicas de manera más eficiente. En un contexto de cambio en las variables climáticas, analizar y comprender los diferentes grados de vulnerabilidad de un grupo social determinado permite evaluar con qué recursos materiales y no materiales cuentan las personas para enfrentar los desafíos que imponen los riesgos climáticos –eventualmente más severos– así como también la capacidad de resiliencia que tienen las personas para poder hacer frente a dichos fenómenos.

La Tercera Comunicación Nacional propone la aplicación de un índice de vulnerabilidad social frente a desastres, a fin de evaluar las heterogéneas situaciones sociales y estructurales o de base de la Argentina. Según propone el documento, la construcción de dicho índice puede entenderse como un proceso dinámico, que es estructurado en tres dimensiones: las condiciones sociales *per se*, las condiciones habitacionales y las condiciones económicas. A su vez, cada una de estas dimensiones está conformada por diferentes variables.

Los autores proponen diferentes enfoques para agregar la información y obtener un indicador agregado, aplicando un proceso que realiza una serie de pasos metodológicos para alcanzar sus objetivos.

Nuestro proyecto de investigación propone realizar redefiniciones en las variables incluidas en el indicador de vulnerabilidad y en el método de agregación de las variables. Es decir, diseñar un nuevo indicador de vulnerabilidad social que pueda captar la realidad socioeconómica de las personas sin descartar ningún tipo de información relevante, utilizando variables cuantitativas y cualitativas, y que permita obtener diferentes grados de vulnerabilidad para poder clasificar a la población del país en grupos homogéneos con la finalidad de priorizar las políticas públicas.

Cabe destacar que, en la construcción del indicador propuesto, se tendrán en cuenta otras variables no incluidas en el índice de vulnerabilidad presentado en la Tercera Comunicación Nacional. Por ejemplo, variables relacionadas con el acceso al financiamiento, al sistema de salud, al entendimiento de sistemas de alerta, etc. Del mismo modo, se planifica incorporar un número mayor de variables para medir las diferencias socioeconómicas entre las personas. Para este último punto se utilizarán las variables propuestas en Eriz y Thomasz (2015), que presentan un modelo alternativo y gradual para medir las necesidades básicas insatisfechas utilizando información cualitativa; de este modo, se logra captar los matices presentes en el ámbito social.

Además, en el indicador de vulnerabilidad socioeconómica agregado, se incorporarán variables que tengan en cuenta la importancia relativa de cada sector económico en el ámbito territorial; es decir, la importancia que tienen la agricultura, el turismo, la energía y el transporte en relación con ingresos económicos, en el PBG de cada región o localidad.

COMENTARIOS FINALES

Cualquier intento por desarrollar teorías o aplicar políticas que conduzcan a reducir la vulnerabilidad debería hacer hincapié no solo en la información cuantitativa, sino también en un análisis profundo y consistente sobre cómo es percibido dicho concepto por la población, para lo cual es necesario incorporar diversos aspectos medibles a través de variables cualitativas.

El indicador propuesto no solo utilizará los métodos estadísticos clásicos, sino también diferentes operadores de agregación de información lingüística con el objetivo de incorporar todos los datos disponibles.

La teoría de conjuntos borrosos y los modelos lingüísticos se usa para expresar matemáticamente aquellos conceptos que son típicos del lenguaje y del pensamiento humano y, por lo tanto, permiten tratar con sistemas complejos, como el económico. Dicha teoría hace viable operar con las mismas variables que se utilizan en las medidas tradicionales: ingreso, precio, cantidad, necesidades básicas, capacidades, acceso a información, etc.

La construcción de indicadores multidimensionales de vulnerabilidad a eventos climáticos permitirá operacionalizar el enfoque multidisciplinario del cambio climático y brindar información resumida, que permitirá desarrollar en forma más eficiente políticas de adaptación, de mitigación y de prevención y atención de catástrofes.

REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2006): "Vulnerability". *Global Environmental Change*, 16 (3), 268-281.
- Barros, V. R., J. A. Boninsegna, I. A. Camilloni, M. Chidiak, G. O. Magrín y M. Rusticucci (2015): *Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation*. *WIREs Climate Change*, 6, 151-169. doi: 10.1002/wcc.316.
- Calvo, C. y S. Dercon (2005): *Measuring individual vulnerability*. Discussion Paper Series. vol. 229. Oxford, University of Oxford, Department of Economics.

- Eriz, M. y E. O. Thomasz (2016): "Measuring Socio Economic Vulnerability: An Alternative Approach". *Fuzzy Economic Review*, (en prensa).
- IPCC (2014): "Summary for policymakers". En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White (eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-32.
- McDonald, L. (2013): "Household Vulnerability to Poverty in Vanuatu and the Solomon Islands". *Australian Agency for International Development*. Working Paper, Melbourne.
- Miola, A. y C. Simonet (2014): *Concepts and Metrics for Climate Change Risk and Development – Towards an index for Climate Resilient Development*. JRC Science and Policy Reports. Luxemburgo, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra.
- Revi, A., D. E. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R. B. R. Kiunsi, M. Pelling, D. C. Roberts y W. Solecki (2014): "Urban areas". En C. B. Field *et al.* (eds.), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectorial aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, pp. 535-612.
- The World Bank (2003): *Social Risk Management: The World Bank's Approach to Social Protection in a Globalizing World*, Social Protection Department, Washington.
- Thomasz, E., M. Castelao, J. Massot y M. Eriz (2014): "Riesgo social: Medición de la vulnerabilidad en grupos focalizados". *Cuadernos del CIMBAGE*, 16: 27-51.

VALUACIÓN ECONÓMICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: EL CASO DEL SECTOR AGRÍCOLA ARGENTINO

Esteban Otto Thomasz,¹ María Teresa Casparri¹ y Ana Silvia Vilker¹

RESUMEN

En la Argentina, el sector agropecuario y el complejo agroindustrial tienen una elevada importancia económica no solo a escala regional sino también en términos fiscales y del sector externo. Durante el período 2003-2015, el sector primario y las manufacturas de origen agropecuario representaron en promedio el 56% del valor exportado, con lo que generaron divisas por aproximadamente USD 440.000 millones. Este conjunto de exportaciones se encuentra expuesto al riesgo climático. Por ello, resulta sumamente relevante estudiar el impacto económico que dicho riesgo puede ocasionar en la economía argentina. En los últimos años se han desarrollado estudios que estiman los efectos del cambio y variabilidad climática sobre los rindes de los principales cultivos de la región pampeana y de otras regiones del país. No obstante, dichos estudios carecen de valuaciones de índole monetaria. Por ello, en este trabajo se realiza una síntesis de los distintos enfoques utilizados para medir el impacto del cambio climático, y de aquellos que abordan el fenómeno de variabilidad climática. A su vez, se brinda una primera estimación económica de la pérdida de ingresos por producción de soja generada por la ocurrencia de eventos climáticos extremos; en particular, de eventos de sequía. Las estimaciones son de carácter agregado y son realizadas como paso inicial a los fines de establecer órdenes de magnitud para dimensionar la problemática.

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM). Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una extensa agenda de investigación y de políticas públicas vinculadas al cambio climático. No obstante, cambio climático, variabilidad climática, catástrofes y cuestiones ambientales son conceptos que deben ser claramente diferenciados. Del mismo modo, riesgo, vulnerabilidad, impacto y valuación económica son conceptos que en muchos casos no son correctamente utilizados.

En el marco de este estudio, se define “valuación económica” al dimensionamiento de los impactos estimados en valor, es decir, valuados en términos monetarios, en los que necesariamente intervienen precios y cantidades.

Incorporar precios a los modelos de valuación no constituye una tarea sencilla, por los siguientes motivos:

- precios y cantidades no son variables independientes;
- los precios son explícitos solamente donde existen mercados;
- aún si existiesen mercados, los precios son representativos si el mercado es lo suficientemente líquido;
- existen innumerables situaciones en las que no existen mercados y los precios no son visibles: en este sentido, surge la necesidad de aplicar modelos de valuación;

Por otro lado, cuando se analizan casos o sectores económicos, existen dos dimensiones en las que generalmente se realizan valuaciones económicas:

- daños al acervo: representan los daños a la infraestructura (“variable stock”). Generalmente, se estiman en el marco del análisis de catástrofes climáticas;
- daños a la productividad: representa la baja en la capacidad de generación de ganancias futuras, que afecta el flujo de fondos (“variable flujo”).

Cuando se analizan los impactos esperados en diversas actividades económicas desde la perspectiva de los efectos sobre la productividad (pérdidas económicas o resignación de ganancias), resulta necesaria la construcción de un escenario de base, sobre el cual se compararán los flujos proyectados en escenarios de cambio climático o flujos estresados en escenarios de variabilidad climática (incluyendo, en este caso, eventos extremos).

En relación con los diferentes sectores económicos, generalmente son estudiadas las actividades primarias (agricultura, ganadería, pesca, forestación), el sector energético y el sector transporte, dado que el clima genera

efectos directos sobre tales actividades (en muchos casos, constituye directamente un riesgo de producción). En este sentido, también resulta necesario diferenciar entre impactos directos e impactos indirectos. Los impactos directos son aquellos que afectan la producción de la actividad analizada, mientras que los impactos indirectos son aquellos que se difunden hacia la cadena de actividades relacionadas (transformación, comercialización, servicios, etcétera).

En definitiva, la valuación económica del cambio climático, de los eventos de variabilidad climática y de las catástrofes climáticas constituye un campo de estudio altamente complejo pero, a la vez, desafiante. En general, el dimensionamiento en términos monetarios es una de las grandes falencias en el conjunto de estudios realizados a escala internacional, y sobre todo en el caso de los países emergentes, dada la carencia de información y la baja transparencia de muchos mercados (lo cual dificulta la estimación de precios). Se plantea el estudio de distintos enfoques y una estimación preliminar de la pérdida de ingresos en el cultivo de soja generada por eventos de sequía en el agro argentino.

VALUACIÓN ECONÓMICA

El objetivo general de esta nota es iniciar la discusión acerca de los modelos existentes para la valuación económica del riesgo climático, e intentar asimismo estimar un modelo preliminar que brinde valores que puedan ser tomados como órdenes de magnitud para dimensionar la problemática. En particular, se presentan estimaciones de pérdida de ingresos producidos por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, específicamente, en casos de sequías. Por su significancia económica, se abordará en primera instancia el caso de la soja. De acuerdo con la conceptualización presentada en la introducción, se analizará la pérdida directa de ingresos generada por eventos de variabilidad climática extrema sobre un escenario de base.

Una breve reseña de diferentes enfoques y metodologías que permiten el abordaje de la temática (enfoque macroeconómico, el enfoque sectorial y el enfoque de ajuste tendencial) serán discutidos previamente.

Enfoque macroeconómico: toma como base la información que surge de las cuentas nacionales y estima el impacto del clima en cada sector de actividad en términos de PIB. Se utiliza un modelo de equilibrio general estocástico que modeliza el sistema económico incorporando al clima como un insumo más dentro de la función de producción, lo que afecta por tanto la productividad del sector. Los impactos del cambio climático se simulan

como *shocks* (negativos) de producción a los distintos sectores que modifican el coeficiente técnico asociado a una función de producción.

Enfoque sectorial: está constituido por una mayor especificidad de las características del caso analizado, estimando relaciones entre la producción y las variables climáticas. Puede dividirse en modelos agronómicos y modelos ricardianos. En el enfoque agronómico se estiman las respuestas de los productos estudiados a variaciones de temperatura y precipitaciones, o bien otras variables climatológicas. En tanto, en el enfoque ricardiano se estiman los efectos del cambio climático en el valor de la tierra, o bien en el beneficio de los agricultores. Vale destacar que la mayoría de los estudios realizados en la Argentina pueden incluirse, en líneas generales, dentro del enfoque sectorial (ya sea agronómico o ricardiano); y en todos los casos, en lo relativo a la microeconomía; es decir, para una localidad o área determinada. Por otro lado, la Tercera Comunicación Nacional incorpora proyecciones de largo plazo de comportamiento de los rindes de los cultivos, pero no presenta estimaciones en términos monetarios.

Enfoque de ajuste tendencial: se basa en modelos de ajuste econométrico de series históricas, que analizan desvíos respecto de la tendencia de la serie. Con los valores de rendimientos por hectárea se ajusta una función de tendencia que permite obtener los rendimientos esperados o tendenciales. Con ellos se calcula la diferencia entre los verdaderos valores obtenidos en las distintas cosechas y los estimados. Sobre esa base, se determinan los casos de desviaciones negativas extremas, los que se contrastan con información climática para determinar que la caída de los rindes se explique por eventos meteorológicos.

Siguiendo este último enfoque, la pérdida económica comprende no solamente la baja en las cantidades producidas, sino también los efectos en los precios. La valuación presentada es en términos de valor bruto de producción. La metodología, alcances y limitaciones de la valuación pueden constatarse en Thomasz *et al.* (2015).

RESULTADOS

En el caso de la producción de soja en la Argentina, se identifican los eventos de 1989, 1997, 2003, 2008 y 2011, como años con caídas extremas de los rindes. Vale destacar que tales años son coincidentes con eventos de sequía. La estimación de pérdida de valor de producción en cada unos de los eventos se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 1: Estimación de pérdidas de cultivo de soja por eventos de sequía en millones de dólares de 2016

Año	Valor (en millones de dólares)
1989	USD 503,72
1997	USD 1.287,92
2003	USD 3.61,99
2008	USD 4.838,44
2011	USD 2.412,38

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas totales en la producción de soja por eventos de sequía, bajo la metodología de eventos extremos, ascienden a un total de USD 9.404,45 millones. El evento de mayor significancia es la campaña del 2008-2009, con una pérdida estimada en USD 4.838,44 millones.

Es importante resaltar que los valores estimados deben tomarse a los fines de establecer órdenes de magnitud, y no como valores puntuales. El modelo presentado brinda un lineamiento general, pero aún dista de ser preciso. Brinda un primer dimensionamiento conservador de la problemática, dado que la estimación no contempla las pérdidas por otros eventos climáticos (como por ejemplo, inundaciones) ni tampoco mide los impactos indirectos; es decir, los efectos negativos sobre la cadena de productiva y el empleo (transporte, comercialización, servicios, etcétera).

CONSIDERACIONES FINALES

La valuación económica del cambio climático constituye un campo de estudio multidisciplinario que debe ser abordado en forma inmediata: de tales estimaciones surgen los valores necesarios para fundamentar el financiamiento de distintas políticas de adaptación, mitigación y atención de catástrofes.

Esto permitirá no solamente establecer órdenes de prioridad para inversión de recursos fiscales, sino asimismo fundamentar con mayor exactitud pedidos de financiamiento a organismos multilaterales.

Actualmente, el Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos aplicados a la Economía y la Gestión del Universidad de Buenos Aires ha iniciado el desafío de realizar tales valuaciones, en el marco de un proyecto que tiene como objetivo final la construcción de indicadores que permitan

la identificación de las áreas y sectores económicos que presentan mayores pérdidas económicas por eventos climáticos, como también la identificación de grupos sociales vulnerables.

Esta nota breve constituye el primer paso de difusión del tema, donde a partir de una metodología pragmática y accesible se ha dimensionado el nivel de pérdidas ocurridas en eventos pasados. La magnitud de dichas pérdidas hacia el futuro dependerá de que la frecuencia de los eventos climáticos extremos se incremente o no.

REFERENCIAS

- Baethgen, W. E. (2008): Climate Risk Management and Adaptation to Climate Change. In: Uruguay, Climate Change Here and Now. Supplementary document for the UNDP Report on Human Development. UNDP Uruguay, Montevideo
- Casparri, T., Thomasz, O. y A.S. Vilker (2015): Medición económica de los efectos de la variabilidad climática en la actividad agrícola argentina. Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas FCE- Universidad de Buenos Aires
- CEPAL. (2014): La economía del cambio climático en la Argentina. Primera aproximación. Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Deschenes O. y M. Greenstone (2007): "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather". *The American Economic Review*, 97 (1), 354-385.
- Dirección Nacional de Planeamiento de Colombia y Banco Internacional de Desarrollo (2014): *Impactos económicos del cambio climático en Colombia*. Síntesis. Bogotá, Colombia
- Murgida. A. M., M. I. Travasso, S. González y G. R. Rodríguez (2014): "Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina". Serie medio ambiente y desarrollo, 155. Santiago de Chile, Naciones Unidas.
- Ortiz de Zárate, M. J., J. J. Ramayon y A. L. Rolla (2014): "Agricultura y Ganadería impacto y vulnerabilidad al cambio climático. Posibles medidas de adaptación". Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.
- Thomasz, E., M. Casparri, A. Vilker, G. Rondinone y M. Fusco (2015): "Medición económica de eventos climáticos extremos en el sector agrícola: el caso de la soja en Argentina". *Revista de Investigación en Modelos Financieros*, 4 (2):30-57

INCENTIVOS ESTATALES PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO RESPONSABLE EN ARGENTINA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

María Teresa Casparri,¹ Javier García Fronti¹ y Pablo Matías Herrera¹

RESUMEN

La relación entre las actividades agrícolas y el clima es de mutua interacción. Por un lado, la producción agropecuaria depende claramente de las vicisitudes climáticas. Por otro lado, el desarrollo de la actividad emite gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo cual contribuye a los aspectos negativos del cambio climático. Sin embargo, contando con incentivos estatales, la agricultura puede contribuir a la mitigación, tanto reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, como favoreciendo el secuestro de carbono mientras se mantiene la producción de alimentos. El Estado cuenta con dos clases instrumentos de financiamiento para contribuir a una agricultura sustentable. Por un lado, las políticas de desarrollo rural ayudan a que las economías regionales crezcan con inclusión social, ayudando a mitigar los efectos negativos del cambio climático. Por otro lado, el Estado también debe financiar la investigación y la innovación en el sector para lograr un aumento de productividad, a la vez que la reducción del impacto negativo ambiental. En el desarrollo de este trabajo, se hace referencia a este segundo tipo de instrumentos y se analizan diversas líneas de financiamiento del Estado argentino a la innovación agropecuaria que consideran la dimensión social.

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM). Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las políticas públicas vinculadas al sector agropecuario deben contemplar la relación de mutua interacción con la problemática del cambio climático. Por un lado, los niveles de producción agropecuaria se ven impactados por el cambio climático; y por otro lado, las actividades agropecuarias emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, los cuales contribuyen a los aspectos negativos del cambio climático. En los últimos años, el crecimiento del mercado de innovaciones agropecuarias está generando nuevos riesgos, desafíos y necesidades en el ámbito empresarial y en el de las políticas públicas. Frente a estos nuevos retos, y sabiendo que la financiación pública de las innovaciones tiene gran importancia en la promoción del crecimiento económico, es relevante analizar críticamente las políticas de financiamiento. Se debe dar participación a la sociedad desde la idea misma, para que el proceso de innovación sea socialmente responsable y se realice *con y para* la sociedad.

Es necesario que los expertos, las empresas privadas, agencias gubernamentales y la sociedad estén involucrados en un proceso de innovación responsable. A partir de un conocimiento técnico, económico y político se debe reflexionar, deliberar y confrontar entre diversos puntos de vista e interpretaciones para dar sustentabilidad futura. En particular, si se cuenta con incentivos estatales eficientes, la agricultura puede contribuir a la mitigación, tanto reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, como favoreciendo el secuestro de carbono mientras se mantiene la producción de alimentos.

El Estado cuenta con dos clases de instrumentos de financiamiento para contribuir a una agricultura sustentable. Por un lado, las políticas de desarrollo rural que ayudan a que las economías regionales crezcan con inclusión social, lo que contribuye a mitigar los efectos negativos del cambio climático. Por otro lado, el Estado también debe financiar la investigación y la innovación en el sector para lograr un aumento de productividad, a la vez que la reducción del impacto ambiental negativo. Estos últimos instrumentos son el objeto de estudio en este capítulo.

Este capítulo se propone analizar el financiamiento público aplicado a innovaciones agropecuarias desde una perspectiva de sustentabilidad dinámica responsable. Para ello se estructura en tres secciones. En la primera se describe la relación entre un Estado presente con políticas públicas y la sustentabilidad del sector agropecuario. La segunda sección introduce el concepto de políticas públicas responsables. La tercera sección analiza, a la luz de las dos primeras, diversas líneas de financiamiento del Estado argentino a la innovación agropecuaria que consideran la dimensión social.

El Estado y la sustentabilidad dinámica del sector agrícola

Sustentabilidad es uno de los términos más usados dentro de los discursos políticos de los últimos años, no siempre con la misma connotación. El término fue mencionado por primera vez en el siglo XVIII, cuando Hans Carl von Carlowitz escribió su texto denominado *Sylvicultura Oeconomica* (Carlowitz, 1713), donde enunció normas para la gestión de los bosques a largo plazo. En lenguaje coloquial, *sustentabilidad* implica el mantenimiento de las propiedades de un sistema en un sentido general.

Si bien la definición tradicional pone de relieve los conceptos de necesidad de los humanos (presentes y futuros) y las limitaciones (técnicas, políticas, económicas y sociales), lo hace en forma estática (Brundtland, 1987). El sector agropecuario argentino tiene una dinámica compleja e incierta que se constituye a partir de agentes que interactúan con diversas perspectivas e intereses, por lo que una comprensión estática es insuficiente. Se requiere contar con una perspectiva dinámica de no-equilibrio, complementada con una constructivista.

Ante esta situación, ¿cómo deben responder los Estados a los desafíos del cambio climático, de forma de lograr una actividad agropecuaria sustentable? El enfoque propuesto es reflexivo en una escala individual y deliberativo socialmente. En primer término, se debe construir la articulación problemática entre el sector agropecuario y el cambio climático. Esta debe ser compartida por los diferentes actores: el Estado, el mercado y, fundamentalmente, los afectados (o necesitados de soluciones agropecuarias innovadoras). Luego se buscarán soluciones de acuerdo con el problema compartido dentro de una red con interés, tal vez, conflictivo. Es claro que estos procesos se encuentran íntimamente ligados: diferentes personas conciben el mundo de diversas formas; estos diferentes contextos de discusión propuestos negocian para llegar a acuerdos en contextos inciertos en los que el conocimiento es incompleto (Hajer & Wagenaar, 2003; Leach *et al.*, 2007). En la siguiente sección, esta perspectiva incorpora el concepto de responsabilidad, de forma que las innovaciones agropecuarias financiadas por los Estados sean socialmente inclusivas.

Innovación socialmente responsable

En la sección anterior se presentó una perspectiva dinámica de no-equilibrio complementada con una constructivista (que da agencia a humanos y materiales) de manera integrada. En esta sección se ahondará sobre el rol que tienen las innovaciones socialmente responsables dentro de la perspectiva propuesta en la sección anterior.

Si bien el concepto de *innovación responsable* ha sido analizado en la literatura desde comienzos de este siglo (Hellstrom, 2003), su aparición en el discurso vinculado con las políticas públicas europeas se dio recién en mayo de 2011. El modelo europeo de innovación responsable se basa en el principio de inclusión, requiere la participación de todos los actores desde las primeras etapas y se propone un proceso de coconstrucción para asegurar la corresponsabilidad. Owen *et al.* (2012) remarcan tres características principales del discurso europeo en la materia. En primer término, es destacable el énfasis sobre el concepto de ciencia para la sociedad, claramente enfocado en lograr que la investigación y la innovación resuelvan problemas concretos de la sociedad en el contexto de una democracia deliberativa. La segunda característica del discurso es la interacción de la ciencia con la sociedad, y remarca la necesidad de que la investigación y la innovación den respuestas sociales y coconstruyan el futuro desarrollo. La tercera característica se refiere a la vinculación explícita entre innovación y responsabilidad, y reclama que cada actor asuma la propia (Owen *et al.*, 2012).

La comisión detalla seis principios para que la innovación sea responsable. 1) postula la necesidad de compromiso de todos los actores sociales –investigadores, empresarios, responsables políticos y la sociedad civil– en el proceso de investigación e innovación. 2) se requiere un compromiso de igualdad de género. 3) se impulsa el aprendizaje creativo; Europa no solo debe aumentar su número de investigadores, también es necesario formar mejor a los futuros actores para que cuenten con el conocimiento y las herramientas necesarias para participar plenamente y asumir responsabilidad en el proceso de investigación e innovación. 4) se postula un principio ético como una forma de garantizar resultados de alta calidad. 5) se propone que los procesos innovadores sean transparentes y accesibles para la población en general. 6) a manera de resumen, se propone que el diseño de la innovación se realice para y con la sociedad (Stilgoe *et al.*, 2013).

La innovación, para que sea responsable, debe cumplir la regulación, comunicar eficientemente el proyecto y su propósito, realizar una reflexión anticipatoria de las posibles aplicaciones y sus impactos sociales y, por último, tiene que articular mecanismos para incluir a los actores en el proceso. Si se pretende que sea sustentable, urge la necesidad de plantear la problemática de la construcción de nuevas normas, dando primeramente lugar a un diálogo normativo en términos teóricos y luego adaptar esa teoría a la realidad.

Financiamiento a la agroindustria y al desarrollo sustentable con inclusión social

Una vez definido lo que se entiende por gobernanza sustentable e innovación responsable en las agrotecnologías, en el presente apartado se

dará cuenta de cómo el Estado financia la investigación y la innovación en el sector para lograr un aumento de productividad, a la vez que reduce el impacto negativo ambiental. En esta línea, dentro del plan del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) se define una estrategia de desarrollo institucional que pone énfasis en los desarrollos y cambios institucionales necesarios para lograr una intervención efectiva, aborde que queda sintetizado en la fórmula innovación inclusiva y producción sustentable. Además, mediante una estrategia de focalización, define sectores específicos entre los que incluye a la agroindustria y al ambiente y desarrollo sustentable (MINCyT, 2011).

Para promover estos sectores, desde el 2010, a través del Fondo Sectorial (FONARSEC) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), el MINCyT ha otorgado fondos destinados a asociaciones público-privadas que desarrollen capacidades tecnológicas, tanto para la agroindustria como para el medio ambiente. Específicamente, estos financiamientos se canalizaron a través de los Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial (FITS) y los Fondos Sectoriales (FS). La diferencia entre ambas líneas de financiamiento radica en que, mientras los FITS están dirigidos a financiar parcialmente proyectos que tengan como meta el desarrollo de capacidades tecnológicas para mejorar la competitividad y sustentabilidad, los FS están dirigidos a financiar plataformas tecnológicas para promover la innovación tecnológica.

En la actualidad, se ha puesto en marcha una línea de financiamiento de la ANPCyT que hace más explícitas las estrategias de desarrollo institucional y de focalización del MINCyT, considerando la dimensión social dentro de las innovaciones tecnológicas. Esta línea es el ANR Social 2016, que es canalizado a través el Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR). Consiste en aportes no reembolsables dirigidos a empresas; es la primera convocatoria del FONTAR orientada al desarrollo de tecnologías con impacto social. El objetivo es financiar proyectos que tengan como meta la innovación tecnológica y la transferencia de conocimiento para impulsar procesos de desarrollo social y territorial, con eje en poblaciones vulnerables, pequeños productores, microemprendimientos y/o regiones del país con capacidades productivas poco desarrolladas. Entre los proyectos elegibles se han seleccionado temáticas vinculadas con la producción de cultivos no tradicionales y uso eficiente de la energía mediante innovaciones tecnológicas.

Según afirmase la directora del FONTAR, la línea de financiamiento ANR Social 2016 incluye subsidios destinados a empresas, cooperativas y pymes con la idea de acompañar a estas organizaciones y dotarlas de herramientas para que puedan salir adelante promoviendo un impacto social real en las comunidades (ANPCyT, 2016). La convocatoria de proyectos para recibir este

tipo de financiamiento permaneció abierta hasta el mes de junio de 2016, y contemplaba dos modalidades de proyectos. Para aquellos en que el desarrollo tecnológico propuesto estuvo orientado a fortalecer las capacidades tecnológicas y/o comerciales de un sector productivo de la economía social, se ofreció un monto máximo de \$3.500.000. Para aquellos en que la propuesta de desarrollo tecnológico estaba orientada al usuario final, se ofreció un monto máximo de \$2.500.000 por proyecto.

Sin embargo, los ANR Social no son los primeros subsidios que tienen en cuenta la dimensión social. Desde el mismo MINCyT, en el año 2008, se creó el Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS) para contribuir a la detección de demandas sociales que requirieran participación del sector científico tecnológico en su resolución. Uno de los objetivos del programa fue promover e impulsar la inclusión social, con participación y protagonismo de todos los actores, a través del desarrollo y/o la implementación de tecnologías que impliquen mejoras de la calidad de vida. Para su cumplimiento, el PROCODAS cuenta con una línea de financiamiento denominada "Proyectos de Tecnologías para la Inclusión Social" (PTIS) que incluye el área de Agricultura Familiar.

CONCLUSIÓN

Una gobernanza sustentable y una investigación e innovación responsable en las agrotecnologías refieren a la habilidad de las naciones, organizaciones e individuos para crear su futuro deseado de manera continuada, mediante la generación de un proceso que contemple los recursos, procesos, relaciones con grupos de interés y sus impactos. La generación del círculo virtuoso de la innovación responsable implica la introducción de criterios económicos, sociales y ambientales.

Con líneas de financiamiento dirigidas hacia las innovaciones tecnológicas que mejoren la productividad del sector agropecuario teniendo en cuenta los impactos ambientales y sociales se da cuenta del esfuerzo que realiza el Estado para la promoción de una gobernanza sustentable y una investigación e innovación responsable en estas áreas. Si bien es cierto que dentro de las diversas líneas de financiamiento la dimensión social es abordada de diferentes maneras, se confirma la iniciativa por parte de Estado de promover innovación inclusiva y la producción sustentable, focalizándose en la agroindustria y en el ambiente. Quedará por ver si, a partir de estos esfuerzos, se logra la generación de un círculo virtuoso de innovación responsable que introduzca criterios económicos, sociales y ambientales.

REFERENCIAS

- ANPCyT. (2016): "La directora del FONTAR se reunió con el gobernador de La Rioja". Disponible en: <http://www.agencia.mincyt.gob.ar/frontend/agencia/post/2171/print>
- Brundtland, G. H. (1987): *We have only one earth: metalworkers, economic growth, and the environment*. Geneva, International Metalworkers' Federation.
- Carlowitz, H. C. v. (1713): *Sylvicultura oeconomica*. Leipzig, Verlegts Johann Friedrich Braun.
- Hajer, M. A., y H. Wagenaar (2003): *Deliberative policy analysis: understanding governance in the network society*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hellstrom, T. (2003): "Systemic innovation and risk: technology assessment and the challenge of responsible innovation". *Technology in Society*, 25 (3), 369-384.
- Leach, M., G. Bloom, A. Ely, P. Nightingale, I. Scoones, E. Shah, et al. (2007): *Understanding governance: pathways to sustainability. STEPS Working Paper 2*. Brighton, STEPS Centre.
- MINCyT. (2011): *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Lineamientos estratégicos 2012-2015*. Buenos Aires, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- Owen, R., P. Macnaghten y J. Stilgoe (2012): "Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society". *Science and Public Policy*, 39 (6), 751-760.
- Scoones, I., M. Leach, A. Smith, S. Stagl, A. Stirling y J. Thompson (2007): *Dynamic systems and the challenge of sustainability: STEPS Centre Working paper 1*.
- Stilgoe, J., R. Owen y P. Macnaghten (2013): "Developing a framework for responsible innovation". *Research Policy*, 42 (9), 1568-1580.

BIOCOMBUSTIBLES DE MICROALGAS Y BIOGASIFICACIÓN: ROL EN EL LARGO PLAZO PARA LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS DOS TECNOLOGÍAS

Javier G. Fernández-Velasco,¹ Mishka Talent² y Roque Pedace³

RESUMEN

Se discute el potencial de desarrollo en la Argentina, en el largo plazo, de la biogasificación y el cultivo de microalgas. Se analiza su valor como respuesta a las necesidades tecnológicas y a las restricciones que plantea el cambio climático tanto en adaptación como en mitigación en el sector agropecuario. Se expone la forma en que ambas tecnologías pueden vincularse y se propone un detallado análisis geográfico para evaluarlas en función de sus insumos principales.

El cambio climático afectará significativamente la producción agropecuaria argentina (Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático). Las alternativas socioproductivas en el largo plazo deberán enfrentar una oferta hídrica más restringida y de mayor variabilidad interanual, que consideren condiciones extremas, como las olas de calor y las sequías. Por esta razón se ha propuesto allí un aumento en el área irrigada bajo cultivo como medida de adaptación.

Por otro lado, el creciente incremento de la población mundial y la mejora del nivel de vida en los países en desarrollo conllevan un aumento en la demanda de alimentos y en el consumo energético, actualmente basado en los combustibles fósiles. Además de los problemas ambientales, el uso de estos combustibles genera dependencia de ellos en su matriz energética. Por esta razón, se hace necesaria la aplicación y perfeccionamiento de nuevas

1. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina.

2. The Australian National University. Canberra, Australia

3. Universidad de Buenos Aires. Maestría en Política y Gestión de la Ciencia y la Tecnología (MAECYT). Buenos Aires, Argentina.

tecnologías de energía que logren la reducción de la emisión de gases de “efecto invernadero”, como las que no dependen de los seres vivos: hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica de alta y baja potencia y mareomotriz. Además, están las basadas en los seres vivos, que involucran la producción de biomasa a partir de energía originada en la radiación solar, la que es capturada por las plantas a partir de la fotosíntesis. Esa biomasa se transforma en biocombustibles, en los que se conserva aquella energía. Sin embargo, la fotosíntesis en tierra firme involucra la evaporación de agua de los vegetales (transpiración) en conjunto con la de los suelos en los que crecen (evapotranspiración). Debido a la expansión de la frontera agropecuaria, muchas de las nuevas zonas geográficas tienen muy altas tasas de evaporación, las que empeorarán bajo el cambio climático.

Los biocombustibles contribuyen a la sostenibilidad energética y a la mitigación del efecto invernadero. Son neutros en la emisión neta de CO₂: el emitido por combustión es compensado por fijación fotosintética. Cuanto mayor es el uso de biocombustibles, menor es la demanda de los combustibles fósiles y menor también la emisión neta de CO₂ a la atmósfera. Los biocombustibles de primera generación se obtienen a partir de biomasa, que es también fuente de alimentación (azúcar y almidón para producir etanol, y aceites para producir biodiésel) y, por lo tanto, compiten con la demanda para la alimentación mundial. En cambio, los de segunda generación usan biomasa no comestibles. Estas pueden originarse en residuos (por ejemplo, aceites usados en medio urbano, los “rastros” del medio rural y otros residuos lignocelulósicos, como los de la forestación) o en cultivos que no son útiles para la alimentación, producidos específicamente para hacer un biocombustible (“cultivos energéticos”). Pero incluso para estos, se requieren suelos/territorios que podrían ser reservados para otros propósitos. Esos cultivos también pueden necesitar el agua de riego que demandará la adaptación al cambio climático.

Las microalgas y el biogás pueden ser una solución para ese dilema. Por esa razón, las microalgas son consideradas fuentes de biomasa para biocombustibles de tercera generación. Estos microorganismos fotosintéticos tienen funciones metabólicas y requerimientos nutricionales similares a los de las plantas superiores, pero son microscópicos, del tamaño de un glóbulo rojo. Son “plantas” en “miniatura”. Requieren luz para sus necesidades energéticas, agua, CO₂ y los mismos minerales para su nutrición que las plantas superiores, en aproximadamente las mismas proporciones. Las microalgas se encuentran en ambientes de agua dulce, salobre de diferentes concentraciones y marina, e incluso crecen muy bien en aguas residuales tratadas.

Algunas microalgas tienen, en condiciones óptimas, productividades de biomasa mucho mayores (90 t peso seco.ha⁻¹.año⁻¹) que muchos cultivos

clásicos (Duke, 1983; Chisti, 2007), y tienen la potencialidad de ser un recurso importante para la producción sostenible de biocombustibles y otras materias primas (Sheehan *et al.*, 1998). Su explotación en ambientes artificiales terrestres puede no competir por suelos cultivables ni por agua dulce (Benemann y Pedroni, 2007). El único método de cultivo a gran escala que puede llegar a ser suficientemente económico, con las tecnologías actuales, es el de piletones a cielo abierto (0,5 ha) con provisión de CO₂ concentrado (no es suficiente el presente en el aire) y una profundidad de unos 30 cm (a mayores profundidades, no llega la luz solar, que es toda absorbida a las profundidades menores) (Borowitzka, 2005; Benemann y Pedroni, 2007).

Aunque las microalgas necesitan los nutrientes inorgánicos que en los ambientes terrestres están provistos por los suelos, no requieren de la matriz física del suelo, que es indispensable para los cultivos clásicos. Así, se pueden usar territorios artificiales sin suelo, o malos suelos. Por ejemplo, los nutrientes pueden ser provistos por aguas residuales tratadas, de origen cloacal o agroindustrial. Las aguas cloacales tratadas (por procesos microbiológicos) tienen baja concentración de sus compuestos orgánicos originales, pero alta concentración de formas mineralizadas (inorgánicas) de nitrógeno, fósforo y de todos los bioelementos que están en los alimentos que ingresan a una ciudad. De la misma manera, las aguas residuales tratadas de la cría de ganado de corral, cerdos, granjas aviares, tambos y mataderos son fuente de los mismos nutrientes. En todos los casos, esos bioelementos tienen su origen en los ecosistemas agropecuarios.

Típicamente, hay una pérdida completa de los bioelementos contenidos en esas aguas residuales hacia los océanos vía descargas directas o por las capas freáticas y acuíferos. Un principio de sostenibilidad es el de recobrar los nutrientes para volver a usarlos en los campos de cultivo, por medio de algún vector. Como los seres humanos y los animales adultos eliminan todos los bioelementos diferentes de C, H y O que ingieren, en forma de orina y heces, ellos están en las excretas en la misma proporción que en los vegetales que fueron alimento directo o indirecto de los animales y de seres humanos. En una ciudad como Buenos Aires, esa eliminación es equivalente a la masa de fertilizantes comerciales transportada diariamente por un tren con, al menos, 25 vagones de carga (40 t/vagón). De esta manera, el agua servida tratada se convierte en una fuente de agua dulce y fertilizantes que de otro modo se perderían en el Atlántico.

La producción de biomasa de microalgas muestra otras ventajas sobre los cultivos tradicionales: a) la naturaleza hidráulica del cultivo, la que permite la inoculación y cosecha de un cultivo extendido en un único punto de bombeo, como así también el continuo monitoreo y ajuste de parámetros químicos

y la provisión de nutrientes; b) permite el cultivo durante todo el año bajo toda condición; c) permite utilizar CO_2 concentrado provisto por los gases de escape de usinas térmicas y la extracción de petróleo y gas fósiles; por CO_2 de carbonatos y/o por el emitido por combustión a partir de biomasa o biocombustibles, como el biogás. Esto no es posible con cultivos clásicos.

Dependiendo de las sustancias de reserva que acumulen las microalgas en la comunidad natural que se desarrolla en los cultivos a cielo abierto en una localidad dada, se podrá obtener biodiésel, si acumulan aceites; o bioetanol u otros alcoholes, si acumulan sustancias de tipo almidón. Sin embargo, el proceso de obtención de un biocombustible a partir de la biomasa algal por medio de la biogasificación (producción de metano) es una tecnología más simple que la producción de biodiésel a partir de ellas, ya que no se requiere que las algas acumulen ninguna sustancia de reserva en particular. Ocurre en fase acuosa y no requiere de una elevada concentración de las microalgas.

Al mismo tiempo, el cultivo de microalgas contribuye a sanear aún más el agua ("tratamiento terciario"), ya que asimila los nutrientes inorgánicos que de otra manera eutrofizarían los cuerpos de agua receptores.

Sin embargo, el cultivo industrial de microalgas para obtener biocombustibles o alimentos a una escala que contribuya de manera significativa a la sostenibilidad no está desarrollado y requiere de una serie de condiciones. Si todo el diésel que consume la Argentina (15.000 millones de litros/año) fuese biodiésel obtenido a partir de microalgas, haría falta una superficie total de agua de hasta 1.000.000 ha, en un clima benigno. Esta superficie puede estar distribuida en fracciones, pero que no podrían estar muy dispersas. Para la Argentina en particular –y también para todo el mundo, esta tecnología requiere de un análisis tecnoeconómico que involucra lo geográfico, para lo que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son fundamentales. Los cultivos requieren agua, nutrientes inorgánicos y CO_2 concentrado y, para el uso racional del suelo, los territorios en los que tengan lugar no deberían tener valor para otros usos prioritarios. Reservas naturales (parques nacionales y otros) y suelos buenos para cultivos que sean fuente de alimentos, pasturas y montes deberían excluirse. También requieren que la temperatura anual promedio no sea inferior a los 15 °C, y que sea, preferiblemente, mucho mayor. Cada 10 °C de aumento de la temperatura, la velocidad de crecimiento de los seres vivos se duplica. Más allá del acceso al agua, no cualquier lugar desértico es adecuado. La pendiente promedio de los terrenos debe ser baja, tal que la ingeniería para construir los piletos de cultivo sea sencilla, por ejemplo, <0,5%. Por otro lado, la necesidad de que los nutrientes (fertilizantes) sean los provistos por las aguas residuales (por ejemplo, cloacales) tratadas y que,

eventualmente, esa misma agua dulce sea la que se use para el cultivo, requiere que los territorios de cultivo estén cercanos a ciudades de gran tamaño. Si las microalgas que se cultivan son marinas, entonces los sistemas de cultivo tienen que estar suficientemente cerca del mar, tanto en distancia como en altura. Es posible cultivar extensivamente macroalgas en el vasto espacio oceánico, pero las productividades resultan mucho menores bajo condiciones totalmente distintas a las aquí descritas para las microalgas cultivadas en territorio continental.

Al inicio de la difusión de esta tecnología, se podría lograr el CO_2 a partir de usinas termoeléctricas o de la extracción de petróleo y gas natural².

Así, al tener que transportar agua (dulce o marina) para el periódico reemplazo debido a la cosecha y a la compensación de agua evaporada, tanto como CO_2 , los posibles territorios seleccionados por los otros criterios deben estar suficientemente cerca de ciudades y deben ser suficientemente grandes como para que los costos energéticos y monetarios de la infraestructura y operación de esos transportes puedan ser distribuidos en un número grande de hectáreas de cultivo (por ejemplo, 10.000 o más). Esa energía operativa de transporte y la energía incorporada en la infraestructura (por ejemplo, la involucrada en los materiales y en la construcción de las tuberías, prorrateadas por su vida útil) debe ser claramente menor que la que se obtendrá como biocombustible mediante su uso. Con estas restricciones, el análisis SIG identifica las áreas posibles.

La biodigestión en ausencia de O_2 para generar biogás (Twidell y Weir, 2015) es considerada una tecnología a medio camino entre los biocombustibles de primera y segunda generación, porque se puede utilizar como sustrato la totalidad de plantas (desmenuzadas) o residuos. El biogás se utiliza de manera creciente en el mundo para generar electricidad y calor por combustión. Incluso es posible inyectar en gasoductos biogás del cual se han separado el CO_2 y otros gases. El residuo semilíquido de la biodigestión es reciclado en campos de cultivo para aportar nutrientes y carbono al suelo (materia orgánica no digerida), por lo que el balance de carbono final del ciclo puede ser favorable ("emisiones negativas"). Estas inmisiones pueden resultar necesarias para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero que habrían de aumentar la temperatura por encima de los límites fijados como deseables en la Convención de Cambio Climático (1,5°C por sobre los valores de 1850).

La producción de microalgas, y su subsiguiente biogasificación, podría así aportar metano a la muy desarrollada red de ductos de la Argentina, además de generar en el sitio del digestor electricidad despachable, esto es, de manera controlada, para compensar las variaciones en la oferta de otras

fuentes renovables de naturaleza variable e intermitente como la eólica o las solares. Tal vez más importante sea el hecho de que ese biogás puede ser utilizado para cualesquiera otros fines a los que se aplica el gas natural de red en la actualidad, y desplazar al metano fósil. De nuevo, un análisis SIG identificará las zonas núcleo donde se puede producir biogás en grandes cantidades.

A largo plazo será posible que compitan sistemas basados en la fotosíntesis de los vegetales más eficientes en el uso del agua y del espacio. También pueden ser complementarios: generar el CO₂ necesario para las microalgas a partir de la combustión (con o sin biogasificación² previa) de “cultivos energéticos” clásicos. Estos pueden alcanzar altas eficiencias en la conversión de la luz en la energía química que almacena la biomasa, si bien menores que el potencial de las microalgas. Un sistema que combine ambos usos del agua –irrigación en cultivos y reemplazo con microalgas– tendría el máximo rendimiento para la producción de combustibles y alimentos y permitiría la incorporación progresiva de materia orgánica al suelo, con ventajas como medida de adaptación y de mitigación. La biodigestión permitiría reciclar la casi totalidad de los nutrientes en el suelo, contribuir con el CO₂ de la biodigestión y el que resulta de su combustión para el cultivo de microalgas, y exportar el metano producido hacia gasoductos cercanos. Estos sistemas productivos requerirían una mínima fracción del suelo de uso agrícola y del agua disponible para el mismo fin.

REFERENCIAS

- Benemann, J. y P. Pedroni (2007): “Biofixation of fossil CO₂ by microalgae for greenhouse gas abatement”. *Encyclopedia of Hydrocarbons*, 3, 837-861.
- Borowitzka, M. (2005): “Culturing microalgae in outdoor ponds”. En R. Andersen (ed.), *Algal culturing techniques*. Burlington, Elsevier Academic Press, 577.
- Chisti, Y. (2007): “Biodiesel from microalgae”. *Biotechnology Advances*, 25, 294-306.
- Duke J. (1983): *Handbook of energy crops*. Purdue University Indiana, Disponible en: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html
- Sheehan, J., T. Dunahay, J. Benemann, P. Roessler (1998): *A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from algae*. Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-24190
- Twidell, J. y T. Weir (2015): *Renewable energy resources*. Londres, Routledge.

GLOSARIO

Biogás: mezcla directamente combustible de metano (~65%), CO₂ (~30%) y trazas de otros gases.

Biogasificación: biodigestión en ausencia de O₂, en la que cualquier biomasa se descompone en metano y CO₂. Resulta de una serie de procesos microbiológicos, desde la ruptura de macromoléculas en moléculas sencillas, su fermentación y la posterior conversión de los productos de fermentación en metano y CO₂, transformándose en esos gases gran parte de la materia orgánica. El efluente saliente es muy rico en bioelementos mineralizados y sirve como fertilizante.

Eutrofización: enriquecimiento desmedido de nutrientes inorgánicos (y también materia orgánica) en cuerpos de agua por acción humana. Daña el medio acuático porque induce la proliferación de microalgas. Su posterior descomposición consume el O₂ y causa la muerte de la fauna (peces).

Evapotranspiración: suma de la evaporación de agua de vegetales (transpiración) más la del suelo donde viven o la de la superficie de agua, si son flotantes.

Fotosíntesis: proceso bioquímico de captura de la energía lumínica y su transformación en forma de uniones químicas, como por ejemplo, en azúcares, almidones y lípidos. La clorofila es el pigmento principal, que actúa como antena para captar la luz. El CO₂ atmosférico es atrapado como constituyente de esas sustancias.

Macroalgas: “plantas” muy sencillas, típicamente marinas, sin la morfología de tallo, raíz y hoja propiamente dichas de las plantas terrestres, pero creciendo por fotosíntesis. Generalmente constituidas por láminas foliosas macroscópicas, como el caso de la “lechuga de mar”.

Sistema de Información Geográfica (SIG): técnica informática en la que cualquier variable geográfica –sea física, biológica, humana o económica; sea cuantitativa o cualitativa– está digitalizada en porciones pequeñas de superficie. A cada unidad de superficie se le asigna un valor de dichos parámetros. Así, es posible operar con esos valores para lograr mapas que describan los parámetros o relaciones entre ellos.

EL DESARROLLO AGROPECUARIO ARGENTINO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA MIRADA DESDE EL PIUBACC

Uno de los objetivos principales del Proyecto de Fortalecimiento de PIUBACC *“Definición de estrategias participativas en políticas de gestión de los efectos del cambio climático sobre el sector agroalimentario”* fue la creación de un ámbito de debate entre los grupos participantes del programa, que permitiera definir una serie de lineamientos útiles para incorporar en políticas vinculadas con el cambio climático y con el sector agroalimentario.

Entre las principales actividades realizadas en el marco del proyecto se llevó a cabo un taller de discusión que permitió tratar los enfoques, el contenido y los alcances de los artículos que aparecen en esta publicación. Para ello se organizaron tres mesas de debate en las que se trataron los trabajos presentados en torno a de estas temáticas: i) El cambio climático y los escenarios regionales; ii) El cambio climático y la producción agropecuaria; y iii) El cambio climático y los aspectos socioeconómicos.

Los resultados de esas mesas y los artículos de esta publicación sintetizan y permiten sugerir diferentes puntos clave que los gestores y tomadores de decisión deberían considerar al desarrollar políticas públicas, ya sean estas municipales, provinciales y/o nacionales, de mediano o de largo plazo, en relación con las estrategias de adaptación y mitigación asociadas al cambio climático.

Algunos puntos clave y sugerencias surgidas a partir del taller son:

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS ESCENARIOS REGIONALES

Las proyecciones de cambio en el centro y este de Argentina para el clima fueron analizadas a partir de diferentes variables: i) escenarios de cambio

de temperaturas, ii) temperaturas máximas, iii) temperaturas mínimas, y iv) precipitaciones. Los cambios serían más notables en condiciones climáticas extremas, con una reducción del número de días con heladas, un aumento de días con olas de calor y mayor frecuencia de precipitaciones intensas, con el consecuente agravamiento de los riesgos de inundación. Esta tendencia de calentamiento, en particular en el norte de Argentina, está relacionada con el desplazamiento de la actividad ganadera, particularmente en los momentos de lluvia extrema.

La Argentina ha sido, en todo el mundo, uno de los países continentales en los que el incremento promedio de la temperatura ha sido menor, a excepción del noroeste. Sin embargo, en esta región se ha registrado el aumento de las precipitaciones desde la década del sesenta del siglo XX. En relación con áreas con tendencia negativa, se puede mencionar la zona de alta montaña del Comahue.

Otro de los artículos que aparecen en esta publicación destaca que los cambios ambientales se desarrollan en nuestro territorio desde siempre, y que el hombre tiene incidencia en dichos cambios, hecho que puede demostrarse a partir de distintos casos de estudio. Por ejemplo, los estudios paleoambientales en la puna permiten comprender la repercusión de los cambios en el clima sobre los recursos necesarios para la supervivencia humana y las respuestas de los grupos sociales a dichos cambios. Pudo comprobarse que en los últimos 2000 años se retrogradaron 2 km de las vegas; y en los últimos 200, años 1 km, debido a los cambios socioeconómicos.

Otro impacto significativo a escala regional lo constituyen los cambios de los ecosistemas acuáticos de la región pampeana, donde las modificaciones en el uso de la tierra, la agriculturización y el aumento de la temperatura pueden magnificar los efectos en la eutrofización al promover las floraciones de algas potencialmente tóxicas. En la provincia de Buenos Aires, el incremento de la frecuencia e intensidad de las sudestadas altera significativamente los efectos de la contaminación en ríos urbanos.

Es por esto que las predicciones de los escenarios a escala local son claves para planificar el uso del territorio y el manejo de los recursos.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

El cambio climático ha afectado los sistemas de producción en la Argentina, donde se registra en las últimas décadas, un cambio hacia una agricultura continua y el desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente ganaderas. A su vez, los montes o bosques fueron ocupados

por la ganadería, que sufrió un corrimiento a zonas marginales y ecológicamente frágiles.

La modificación antropogénica del clima puede comprometer gravemente la provisión de alimentos, fibras, combustibles y otros bienes y servicios dependientes de la agricultura. El sector agropecuario enfrenta el doble desafío de reducir considerablemente sus emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y de aumentar la producción para satisfacer la demanda creciente de alimentos.

Es por eso que, si bien tenemos la responsabilidad como país productor de alimentos, de incrementar la producción, las políticas de desarrollo a implementar deberían compatibilizar los intereses colectivos y los individuales, equilibrando los costos y los beneficios. En definitiva, se debería fortalecer la implementación de sistemas productivos agropecuarios sustentables.

El cambio climático también afecta a la biodiversidad en sus diferentes niveles y escalas temporales (estacional, anual, decadal, en cientos o miles de años) y afecta a diferentes poblaciones y comunidades. Por ejemplo, el fitoplancton puede adaptarse relativamente a los cambios ambientales. Esto se plasma en trabajos experimentales en los que las diatomeas disminuyen de tamaño al aumentar la temperatura.

Otro ejemplo lo constituyen los peces dulceacuícolas y marinos argentinos, que se ven afectados fisiológicamente; también se ve modificada su distribución.

En este sentido, y teniendo en cuenta que muchas de estas especies son comerciales –lo que puede generar problemáticas socioeconómicas relevantes tanto en las pesquerías comerciales como deportivas– debería profundizarse el estudio de los cambios en los diferentes niveles de organización biológica y en las diversas especies de nuestro país.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La financiación estatal se abre hacia políticas de impacto social desde 2010. Este fenómeno es reciente y merece atención en lo que respecta a medidas que puedan reducir el impacto del cambio climático en el sector agropecuario. Toda inversión que se realice en esta temática debería ser planificada, ejecutada y evaluada *a posteriori*. Los trabajos que aparecen en esta publicación se enfocan en la perspectiva de evaluación, y proponen nuevos criterios al momento de establecer estrategias de planificación. Las políticas públicas a implementar debieran considerar en la producción agropecuaria tanto las pérdidas económicas tanto en el ámbito familiar como a escala nacional.

El impacto del cambio climático puede ser medido de diferentes maneras, como por ejemplo, la de otorgarles una valuación monetaria a las pérdidas asociadas. Ese ejercicio puede ayudar a la toma de decisiones. En este sentido, por ejemplo, las pérdidas totales en la producción de soja por eventos de sequía, bajo la metodología de eventos extremos, ascienden a un total de USD 9404,45 millones entre los años 1989 y 2011, siendo las sequías las que produjeron una pérdida estimada en de USD 4838,44 millones.

Los plazos cortos que imponen los cambios de gobierno atentan contra políticas de eficacia en la mitigación / adaptación frente al cambio climático.

La preocupación socioeconómica se basa, en: 1) a medición de impacto tanto en términos socioeconómicos (vulnerabilidad) como de costos; 2) la formulación de políticas responsables. Entre estos dos puntos hay una interrelación, porque al formular políticas responsables se disminuye el impacto y es posible prever la vulnerabilidad en territorio. La construcción de un indicador de vulnerabilidad social georreferenciado permitirá la identificación y el planeamiento de políticas públicas focalizadas que faciliten la adaptación para reducir el impacto del cambio climático sobre la pobreza y la seguridad alimentaria a escala nacional, regional y local.

Por otra parte, la búsqueda de herramientas de adaptación es un gran desafío, ya que se necesita una amplia gama de soluciones y visiones que, por ejemplo, incluyan desde modelos socioeconómicos hasta desarrollos tecnológicos, como lo es la generación de biocombustibles a partir de las microalgas.

CONSIDERACIONES FINALES

En síntesis, podrían plantearse los siguientes aspectos principales vinculados con el cambio climático y el sector agropecuario de nuestro país:

- El Cambio Climático es uno de los factores que más influencia ejerce sobre el sector agropecuario.
- Los cambios en la precipitación respecto de las condiciones actuales no serían importantes en las próximas décadas; sin embargo, serían más notables los cambios en las condiciones climáticas extremas, con una reducción del número de días con heladas, un aumento de días con olas de calor y mayor frecuencia de precipitaciones intensas, con el consecuente agravamiento de los riesgos de inundación.
- La elaboración de pronósticos climáticos con cierta antelación es una herramienta fundamental para la toma de decisiones acertadas en lo

relativo a la apertura de compuertas de las presas, el riego artificial o las alertas de evacuación frente a fenómenos severos.

- Las diferentes comunidades –como el fitoplancton, o las comunidades de peces– reflejan de diferente modo los cambios ambientales y pueden, en cierto rango, adaptarse a ellos.
- Los estudios sobre el impacto del cambio climático en los peces comerciales son escasos y deberían propiciarse, a fin de brindar herramientas concretas que permitan contribuir al manejo sustentable de las pesquerías.
- La repercusión en aspectos socioeconómicos –especialmente de poblaciones humanas vulnerables ante el cambio climático– agudiza el interés por entender el comportamiento y la evolución de los ecosistemas particularmente sensibles, como es el caso de la puna argentina.
- Se destaca la importancia de construir indicadores de vulnerabilidad social destinados a la planificación de políticas públicas.
- La búsqueda de soluciones que contribuyan a la sostenibilidad energética y a la mitigación del efecto invernadero –como lo es el desarrollo de biocombustibles– constituye una alternativa relevante para explorar.
- El desarrollo de soluciones a los problemas del sector debería enfocarse desde una mirada interdisciplinar.
- Los estudios a diferentes niveles y escalas temporales contribuyen a prever los impactos del clima sobre el desarrollo socioeconómico.
- Se propone a los decisores sopesar armónicamente las políticas a corto, mediano y largo plazo en búsqueda de un equilibrio.
- El Estado debe financiar la investigación y la innovación en el sector agropecuario para lograr un aumento de la productividad, a la vez que minimizar los costos ambientales.

Este libro se terminó de imprimir
en el mes de junio de 2017,
en Imprenta Dorrego
Av. Dorrego 1102, CABA, Argentina.
Tirada: 300 ejemplares