

Ciencia e Investigación

Primera revista argentina de información científica / Fundada en enero de 1945



EL AGUA: UNA SUSTANCIA EXTRAORDINARIA Y SÓLO UNA SIMPLE MOLÉCULA

■ Miguel A. Blesa y
Alicia Fernández Cirelli

COMBATIENDO LA SEQUÍA CON FLAVODOXINA

■ Juan José Pierella Karlusich y
Néstor Carrillo

LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA EN ARGENTINA: PROBLEMÁTICAS Y DESAFÍOS

■ Alejandra V. Volpedo

EL DESIERTO COMO ESPACIO DE OPORTUNIDAD: DESERTIFICACIÓN VERSUS DESARROLLO SUSTENTABLE

■ Elena María Abraham y
Mario Salomon

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS OASIS DEL OESTE ARGENTINO

■ José A. Boninsegna

COMPROMISO

con el bienestar de todos

HACEMOS
ENERGÍA
NUCLEAR



NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A.

ATUCHA I / ATUCHA II / EMBALSE

Despejá tus dudas sobre la energía nuclear en: www.na-sa.com.ar



Ministerio de
Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Presidencia de la Nación

TOMO 64 N°1
2014

EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Editora

Dra. Nidia Basso

Editores asociados

Dr. Gerardo Castro

Dra. Lidia Herrera

Dr. Roberto Mercader

Dra. Alicia Sarce

Dr. Juan R. de Xammar Oro

Dr. Norberto Zwirner

**CIENCIA E
INVESTIGACIÓN**

Primera Revista Argentina
de información científica.

Fundada en Enero de 1945.

Es el órgano oficial de difusión de
La Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias.

A partir de 2012 se publica en dos
series, Ciencia e Investigación
y Ciencia e Investigación Reseñas.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma
de Buenos Aires, Argentina.
Teléfono: (+54) (11) 4811-2998
Registro Nacional de la
Propiedad Intelectual
N° 82.657. ISSN-0009-6733.

Lo expresado por los autores o
anunciantes, en los artículos o
en los avisos publicados es de
exclusiva responsabilidad de los
mismos.

Ciencia e Investigación se
edita on line en la página web
de la Asociación Argentina
para el Progreso de las
Ciencias (AAPC)
www.aargentinapciencias.org

El agua, a pesar de su estructura simple, posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. Las figuras muestran los puentes de hidrogeno en el agua; el ciclo hidrológico que garantiza su renovación; cómo las especies modificadas genéticamente son más resistentes a la escasez de agua; las especies comerciales que se verían afectadas por el deterioro de su calidad; cómo el cambio climático ha afectado los glaciares, ilustrado con una foto de 1914 y otra de 1982; y la frontera entre tierras secas irrigadas "oasis" y tierras secas no irrigadas "desierto".



SUMARIO

EDITORIAL

Agua y ambiente

Alicia Fernández Cirelli 3

ARTÍCULOS

El agua: una sustancia extraordinaria y sólo una
simple molécula

Miguel A. Blesa y Alicia Fernández Cirelli..... 5

Combatiendo la sequía con flavodoxina

Juan José Pierella Karlusich y Néstor Carrillo 23

La biodiversidad acuática en Argentina: problemáticas y
desafíos

Alejandra V. Volpedo 33

Impacto del cambio climático en los oasis del oeste
argentino

José A. Boninsegna 45

El desierto como espacio de oportunidad: desertificación
versus desarrollo sustentable

Elena María Abraham y Mario Salomon 59

INSTRUCCIONES PARA AUTORES 67

... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre los trabajadores científicos que cultivan disciplinas diversas y órgano de expresión de todos aquellos que sientan la inquietud del progreso científico y de su aplicación para el bien.

Bernardo A. Houssay

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente
Dr. Miguel Ángel Blesa

Vicepresidente
Dr. Eduardo H. Charreau

Secretaria
Dra. Alicia Sarce

Tesorero
Dr. Marcelo Vernengo

Protesorero
Dra. Lidia Herrera

Presidente Anterior
Dra. Nidia Basso

Presidente Honorario
Dr. Horacio H. Camacho

Miembros Titulares
Ing. Juan Carlos Almagro
Dr. Alberto Baldi
Dr. Máximo Barón
Dr. Gerardo D. Castro
Dra. Alicia Fernández Cirelli
Ing. Arturo J. Martínez
Dr. Alberto Pochettino
Dr. Carlos Alberto Rinaldi
Dr. Alberto C. Taquini (h)
Dr. Juan R. de Xammar Oro

Miembros Institucionales
Sociedad Argentina de Cardiología
Sociedad Argentina de Farmacología Experimental
Sociedad Argentina de Hipertensión Arterial
Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica
Sociedad Argentina de Investigación Clínica
Unión Matemática Argentina

Miembros Fundadores
Dr. Bernardo A. Houssay – Dr. Juan Bacigalupo – Ing. Enrique Butty
Dr. Horacio Damianovich – Dr. Venancio Deulofeu – Dr. Pedro I. Elizalde
Ing. Lorenzo Parodi – Sr. Carlos A. Silva – Dr. Alfredo Sordelli – Dr. Juan C. Vignaux – Dr.
Adolfo T. Williams – Dr. Enrique V. Zappi

AAPC
Avenida Alvear 1711 – 4º Piso
(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina
www.aargentinapciencias.org

Agua y ambiente

■ Alicia Fernández Cirelli

Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA).
Instituto de Producción Animal (INPA).
Universidad de Buenos Aires (UBA).
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Técnicas (CONICET).
Av. Chorroarín 280. 1427 Buenos Aires. Argentina.

ceta@fvet.uba.ar, inpa@conicet.gov.ar

*“There is no more crucial issue to human society than the future of water in this planet”,
Rajendra Pachauri (Premio Nobel de la Paz, 2007).*

Hay muchas definiciones de ambiente, pero más allá de lo que cada una de ellas incluya o exprese es indudable que escapa a la imaginación humana concebir un espacio natural sin agua en alguno de sus estados o agua aislada del ambiente en que se encuentra.

¿Por qué dedicar un número a Agua y ambiente? ¿Podemos concebir la vida sin agua? Evidentemente no. Y si esto es así, la pregunta que surge es qué hace del agua una sustancia tan especial. ¿Por qué es un compuesto esencial para la vida y el desarrollo de la humanidad? Lo primero que nos surge es pensar cuáles son sus propiedades y por qué estas son tan especiales que la cultura del agua ha estado presente a lo largo del tiempo en todas y cada una de las antiguas civilizaciones.

Una mirada química nos lleva a pensar que es una molécula absolutamente simple si la comparamos con las biomoléculas como el ADN o las proteínas. Sin embargo, sus propiedades son únicas y están regidas por la estructura de sus moléculas.

A nuestra tierra se la ha llamado con sobrada razón “el planeta del agua”. Sin embargo, es moneda corriente hablar de la escasez de agua, riesgo muy serio del que ningún país está exento. La mayor parte del agua se encuentra en los océanos (en un porcentaje mayor al 97%). El agua de mar por su salinidad (del orden de 35 g/L) no es apta para el consumo humano. Los recursos de agua dulce son renovables, pero finitos, limitados y frágiles, con una demanda creciente. El agua se renueva a través del ciclo hidrológico, que es un proceso complejo que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración. El uso que hacemos del agua para las distintas actividades que desarrollamos lleva a deteriorar su calidad. La respuesta adecuada para enfrentar el riesgo de la escasez de agua debe ser de orden ético y cultural. Pero esa respuesta debe estar basada en un conocimiento científico acabado y pertinente con el aporte de las diferentes disciplinas que hacen al mejor conocimiento de este recurso imprescindible.

En un tema tan amplio podríamos tratar procesos geoquímicos, modelos hidráulicos, contaminación microbiológica, contaminación química, regulación de oferta y demanda, cuestiones legales, entre otros aspectos. Elegimos sin embargo, una presentación de sus propiedades únicas a pesar de la simplicidad de su estructura química; cómo desde la biotecnología se pueden aportar soluciones al problema de la escasez; cómo los

cambios en la calidad de agua alteran la biodiversidad acuática; cuán importante es ver la vulnerabilidad de este recurso al cambio climático, para analizar finalmente la relación entre cuestiones físicas como la desertificación y sus consecuencias sociales como la exclusión.

El mayor usuario del agua es la agricultura, representando aproximadamente un 70% en nuestro país, en el cual la fuente de agua para riego es mayormente agua superficial, mientras que el agua de bebida animal es mayormente agua subterránea. La producción de alimentos insume grandes cantidades de agua, el agua que no vemos, también denominada agua virtual. La producción de 1 kg de carne vacuna representa 15.000 litros de agua en promedio.

La limitación de agua, representa la principal causa de pérdida de rendimiento en cultivos. Este es un tema de extremo interés pues la demanda de alimentos aumenta con el aumento de la población. La respuesta a esta problemática vendrá de la mano de la biotecnología, con el desarrollo de líneas transgénicas con tolerancia aumentada a diversas fuentes de estrés ambiental, incluyendo sequía.

La República Argentina posee gran variedad de ecosistemas acuáticos continentales y marinos, lo que conlleva a una importante riqueza de especies acuáticas. Sin embargo, en las últimas décadas éstos han sido impactados por diversas problemáticas como la contaminación, la sobreexplotación de especies, la presencia de especies invasoras, la alteración en los corredores de desplazamiento de la biota acuática y los cambios asociados a la variabilidad climática, con la consecuente pérdida de hábitats y de servicios ecológicos que brindan estos ambientes.

En Argentina, una de las regiones más vulnerables al Cambio Climático son los oasis productivos del centro-oeste. La actividad agrícola, industrial, la producción de hidroelectricidad y los asentamientos humanos dependen casi exclusivamente del agua proveniente de la fusión de la nieve y de los cuerpos de hielo que se encuentran en la Cordillera de los Andes. Los estudios realizados mediante el uso de modelos regionales de circulación general han permitido construir hipótesis sobre el impacto del cambio climático, estimar la vulnerabilidad de la región y diseñar posibles medidas de adaptación.

En esta región, la provincia de Mendoza comprende un vasto territorio de tierras secas, organizado sobre la base de la confrontación entre tierras secas irrigadas "oasis" y tierras secas no irrigadas "desierto". En el presente, los territorios no irrigados de Mendoza no sólo deben dialogar con un soporte físico limitado y frágil sino además, con fuerzas sociales, políticas y económicas que los ubican en los márgenes del sistema. Por eso es importante el establecimiento de Sistemas de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación participativos tendientes a promover una estrategia de desarrollo rural de las tierras secas no irrigadas, basada en los recursos endógenos del territorio y que permita la inclusión plena de estos territorios y actores en los procesos de producción.

En esta pequeña muestra que abarca este número, queda claro cómo la compleja problemática del agua requiere de la investigación desde diferentes disciplinas, que aportan desde su óptica soluciones que nos permitirán superar una crisis crucial para nuestra sociedad.

EL AGUA: UNA SUSTANCIA EXTRAORDINARIA Y SÓLO UNA SIMPLE MOLÉCULA

Palabras clave: agua, molécula, propiedades del agua, calidad del agua, sistemas naturales.
Key words: water, molecule, water properties, water quality, natural environments.

El agua es esencial para la vida y para el desarrollo de las sociedades. La cultura del agua ha estado presente a lo largo del tiempo en todas y cada una de las antiguas civilizaciones, cuyo desarrollo dependió en gran parte del agua. El agua puesta en atmósfera mantiene el ciclo hidrológico en constante movimiento. Este ciclo es un proceso complejo que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración, que describe al agua en la naturaleza. En contraste, la química se desarrolló esencialmente en el laboratorio. Este trabajo apunta esencialmente a describir las propiedades del agua, propiedades que la hacen única y que están regidas por la estructura de las moléculas que la forman: Existe en las tres fases, sólida, líquida y gaseosa dentro de los límites de temperatura y presión naturales en la tierra; posee una gran capacidad calorífica; la propiedad de expandirse cuando se congela; una alta constante dieléctrica y una alta tensión superficial. La escasez de agua dulce es un riesgo muy serio del que ningún país está ajeno. Los recursos de agua son renovables, pero finitos, limitados y frágiles con una demanda creciente. La respuesta adecuada debe ser de orden ético y cultural. Este recurso fundamental es, desde el punto de vista químico, sólo una simple molécula.

■ Miguel A. Blesa^{1,2}
Alicia Fernández Cirelli^{3,4*}

¹Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica.

²Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín.

³Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-UBA-CONICET).

⁴Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Instituto de la Universidad de Buenos Aires (CETA). Av. Chorroarín 280 (C1427CWO). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

* afcirelli@fvvet.uba.ar

Water is essential for life and social development. The culture of water has been present in each of ancient civilizations, whose existence has been deeply influenced by water resources. The hydrological cycle including precipitation, run-off, evapotranspiration and infiltration describes the natural movement of water. On the other hand, chemistry has flourished in the laboratory. Water properties, based in its molecular structure, make this substance unique: it exists in the three phases (solid, liquid, gas) at normal pressures and temperatures usual in our planet; it possesses a high calorific capacity; the property of expansion on freezing; a high dielectric constant and a high surface tension. Freshwater scarcity is a serious risk which involves every country. Water resources are renewable but finite, limited and fragile with increasing demand. An accurate response should be ethical and moral. This crucial resource is, from a chemical point of view, only a simple molecule.

■ INTRODUCCIÓN

El agua cubre más del 70% de la superficie del planeta; se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable moldea la Tierra. Posee propiedades únicas que la ha-

cen esencial para la vida. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una alta capacidad calorífica que se pone en juego en el ciclo hidrológico y en su uso industrial y la notable propiedad de expandirse cuando se congela. Con su movimiento puede moldear el paisaje y afectar el clima.

A las temperaturas y presiones típicas de la superficie de la Tierra, el agua puede encontrarse en los estados sólido, líquido o gaseoso. El agua líquida constituye una alta fracción del inventario total del agua del planeta y esta característica está íntimamente relacionada con el desarrollo de la vida en la Tierra. El agua constituye el medio

ideal en el cual pueden tener lugar las complejas reacciones bioquímicas y todas las teorías del origen de la vida hablan de un “caldo primordial” en el cual se sintetizaron las primeras moléculas biológicas y después las primeras formas de vida. Según Tales de Mileto (624-546 a.C.) considerado como el “padre de la filosofía”, todo nacía del agua que era el elemento básico del que estaban hechas todas las cosas, pues se constituye en vapor, que es aire, nubes y éter; del agua se forman los cuerpos sólidos al condensarse y la Tierra flota en ella. Creía que era la sustancia original del universo de la cual todo había surgido y a la cual todo debía retornar en última instancia. No está tan lejos de la respuesta que da la Docta Simpatía a sus examinadores en *Las Mil y Una Noches*:

Él volvió a preguntar:

-¿Cuál es el origen de la creación?

Ella dijo:

-Alá hizo a Adán con barro seco, el barro se formó con espuma, la espuma se sacó del mar, el mar de las tinieblas, las tinieblas de la luz, la luz de un monstruo marino, el monstruo marino de un rubí, el rubí de una roca, la roca del agua y el agua se creó con la palabra omnipotente: ¡Sea!

Historia de la Docta Simpatía, Las Mil y Una Noches (autor anónimo)

Si lo miramos desde las Ciencias Químicas vemos, sin embargo, una sustancia muy simple, compuesta de sólo dos elementos: hidrógeno y oxígeno y formada por moléculas con una estructura muy simple: dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno, con bajo peso molecular (18).

Por contraste, mirando desde la misma disciplina, cuando pensamos en las moléculas de la vida ¿en qué pensamos? Inmediatamente nos vienen a la mente el ADN, las proteínas, los glicoconjugados...

Ésos son ejemplos de biomoléculas, todas ellas de alto peso molecular y estructuras complejas: primarias, secundarias, terciarias, cuaternarias. ¡Qué paradoja! Porque sin agua la vida, tal como la conocemos, es imposible, a pesar de que no surja como ejemplo de biomolécula en nuestro imaginario químico.

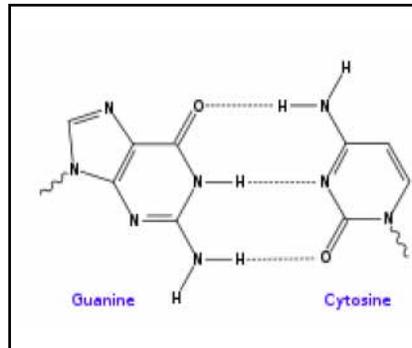


Figura 1: Puentes H entre guanina y citosina.

¿Qué mantiene juntas las dos hebras de ADN?: puentes de hidrógeno. La Figura 1 muestra un par de bases de dos hebras de DNA, fuertemente unidas por puentes de hidrógeno. La estructura global se muestra en la Figura 2.

La formación de puentes de hidrógeno es una propiedad muy característica del agua, como se muestra en la Figura 3.

Gran parte de las propiedades que hacen al agua esencial para la vida se relacionan con esta propiedad. La conformación de las proteínas es el hecho estructural ligado a su función y si nos preguntamos cuál es uno de los factores que la estabilizan veremos que son los puentes de hidrógeno.

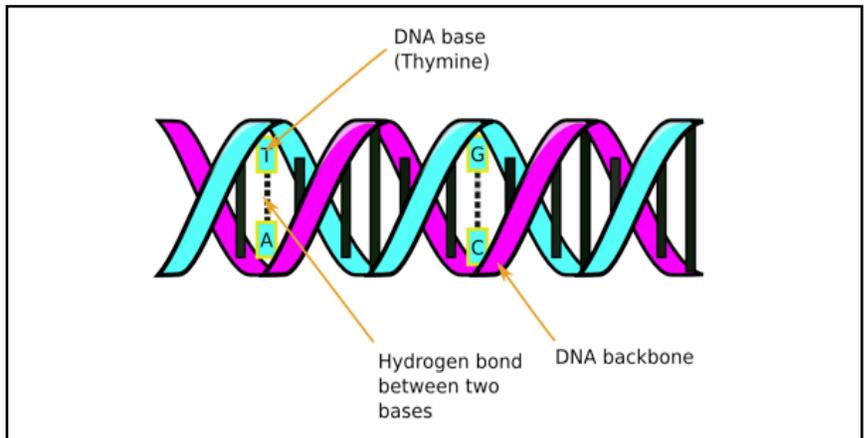


Figura 2: La doble hélice de ADN.

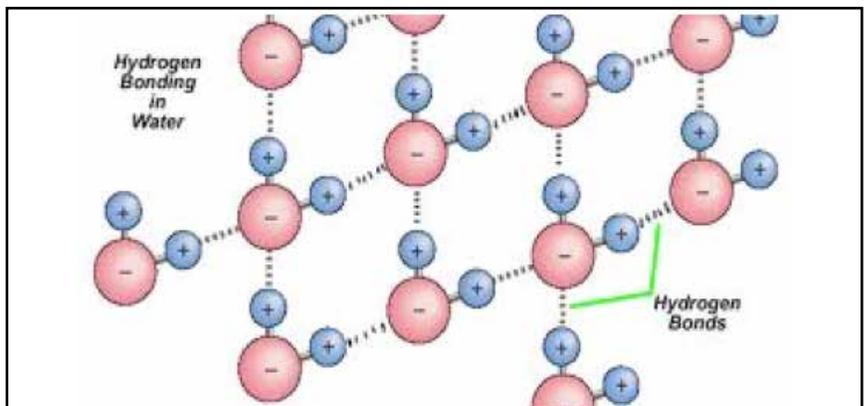


Figura 3: Puentes H en el agua.

El agua tiene interesantes y únicas propiedades que explican el papel que juega en la naturaleza y en la vida. Nos podemos formular infinidad de preguntas que nos remiten a las propiedades del agua y al papel de las mismas en nuestro mundo. Por ejemplo: ¿Cuál es el pH del agua? ¿Cuál es el rango de pH compatible con la vida? ¿Por qué la biota acuática puede resistir cambios de temperatura? ¿Por qué algunas sustancias se disuelven fácilmente en agua y otras no? ¿Por qué aquellas que no se disuelven fácilmente son las que se bioacumulan en organismos?

El agua se renueva a través del ciclo hidrológico que es sustentado por la energía solar, está indisolublemente ligada a la vida y al ambiente, todo gracias a sus propiedades que también son la base de sus numerosos y diferentes usos.

Esa sustancia, constituida por moléculas tan simples, ha estado fuertemente ligada al desarrollo de las civilizaciones.

■ EL AGUA Y LAS CIVILIZACIONES

Este trabajo apunta esencialmente a describir las propiedades químicas del agua, propiedades que la hacen única y que están regidas por la estructura de las moléculas que la forman. Es, sin embargo, útil recordar brevemente que el agua es, para la humanidad, mucho más que una sustancia química. La cultura del agua ha estado presente a lo largo del tiempo en todas y cada una de las antiguas civilizaciones cuyo desarrollo dependió en parte del agua. Cada una de estas civilizaciones entendió a su manera dicha cultura desarrollando creencias, mitos, arquitecturas y un sinfín de saberes y usos relacionados con el vital líquido.

La cultura egipcia tiene una extensa relación con la cultura del agua. Su forma de vida se desarrollaba en torno al Río Nilo. Los egipcios supieron utilizar muy bien el recurso agua para la producción de alimentos y también como elemento de ocio y relajación. En la Antigua Grecia se consideró el agua como el origen de la vida. Los dioses del agua siempre ocuparon un lugar privilegiado en la vida de los griegos que, a su vez, adquirieron los romanos. Había dioses como Poseidón, dios del mar, y otras deidades: Las Náyades, hijas de Zeus y ninfas de los ríos y arroyos que abandonan las aguas para danzar. Afrodita y Venus: nacidas del mar.

Para el mundo islámico el agua tiene un sentido de purificación tanto de cuerpo como de alma. Dar agua es ser piadoso. Los musulmanes desarrollaron canalizaciones, crearon baños, fuentes y alcázares de enorme belleza.

El agua tiene gran importancia en las religiones. Es un elemento que proporciona vida, lo cual le otorga un grado indiscutiblemente divino. Por ejemplo, es utilizada para el bautismo (nacimiento espiritual al cristianismo).

En nuestro continente, la relación entre la población y el ambiente físico en el noroeste ha variado significativamente a lo largo del tiempo y se evidencia particularmente en el manejo del agua. Los pueblos originarios en sus primeros momentos en los lugares más desérticos se desarrollaron en armonía con el ambiente circundante. La relación de estas culturas con el agua fue muy fuerte, priorizando el uso para las cosechas, que garantizaban su alimentación y construyendo obras para su manejo (canales, reservorios). En todas las culturas se observa claramente la dualidad de mirada religiosa y

de desarrollos tecnológicos para el uso del agua. Para los mayas, en el Yucatán mexicano, el agua era la fuente y origen de todo y era importante su dios del agua, Chaac, que controlaba la lluvia. Pero en paralelo, aprovechaban los cenotes para proveerse de agua y construyeron sofisticados acueductos. Los aztecas construyeron Tenochtitlán en medio de una laguna y distribuían el agua con un sistema de cañerías abiertas. Los incas, por su parte, construyeron complejos canales en Machu Picchu y movían el agua por gravedad para alimentar su sistema de agricultura en terrazas. Y para ellos, la mujer del dios supremo Viracocha, llamada Mama Cocha, era la *Madre del Agua* así como la Pacha Mama era la *Madre de la Tierra*.

La conquista española introdujo una visión diferente que se puso en evidencia también en el manejo de los recursos hídricos. Este manejo se alejó de la sustentabilidad, produciendo problemas de abastecimiento y salud. El ambiente era considerado por los españoles como un recurso y no como una parte esencial de la vida y el desarrollo de la población. Actualmente, el crecimiento demográfico junto con otros factores, como las migraciones internas, implica una creciente demanda de alimento y agua que impacta en su calidad y cantidad. Este hecho nos lleva a reflexionar sobre la importancia de considerar el agua y el ambiente como parte indisoluble de la vida misma y basar su uso en este paradigma.

Las antiguas civilizaciones nos han dejado su legado. Como reza una inscripción en un monumento fúnebre egipcio: *Quiera Osiris ofrecerte agua fresca*.

Lógicamente, en las expresiones culturales de la cultura judeocristiana también aparece recu-

rrentemente el agua. Podríamos hablar de la literatura o de la pintura; mencionemos sólo algunos casos en que el agua se vincula con la música. La *Música Acuática* de Händel (ver y oír http://www.youtube.com/watch?v=sr3k7jE_4v8), los *Juegos de Agua* de Ravel (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=LwiULUzp8ks>), los *Jardines bajo la Lluvia* de Debussy (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=4iH8kFrGnqc>), son ejemplos de ella. Y también aparece en la música contemporánea de autores ligados a otras culturas: el *Hechizo de la Lluvia* del japonés Toru Takemitsu (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=9sbhPvtW0vM>), o el *Ciclo del Agua* del marroquí Ahmed Essayad (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=D6RHOTpIGSM>) son ejemplos de ello. También abundan los ejemplos en la música popular, como el célebre *Singin' in the rain* del filme musical del mismo nombre cantado y bailado por Gene Kelly (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=D1ZYhVpdXbQ>) o las piezas folclóricas dedicadas al río Paraná, como la *Canción del Jangadero* de Jaime Dávalos, algunas canciones de *Los de Salta* (*Río río*, ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=dd8mtll6lOk>; *Capricho del río*, ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=2GRduPA11Fk>).

Dice un crítico sobre la música de Essayad: *Para Essayad, que nunca ha perdido contacto con los paradigmas de su cultura original, el agua es símbolo ineludible del flujo del tiempo y de la renovación permanente pero es también, como para los pobladores del desierto, la representación de un tesoro preciado y de resonancias con frecuencia dramáticas.* La analogía entre el fluir del agua y el fluir del tiempo no puede estar mejor expresada que en el famoso texto de Borges:

*Mirar el río hecho de tiempo y agua
y recordar que el tiempo es otro río,
Saber que nos perdemos como el río
y que los rostros pasan como el agua.*
Jorge Luis Borges, *Arte Poética*.

■ EL AGUA EN LA NATURALEZA

A nuestra tierra se la ha llamado con sobrada razón, el "planeta del agua". Si no fuera por la invasora presencia del agua en ella las formas de vida que conocemos simplemente no existirían. Si este planeta no estuviera a 150 millones de kilómetros de nuestro Sol, la Tierra no tendría su actual mezcla de humedad gaseosa, líquida y sólida.

El Sol produce la evaporación

Cuadro 1

Los estados de ánimo y el agua

Singin' in the rain asocia la lluvia con la alegría del enamoramiento. No es eso lo más usual. La música popular está llena de ejemplos en los que la lluvia se asocia a la nostalgia, a la tristeza. Baste recordar *Esta tarde vi llover* de Armando Manzanero, o *Lágrimas del alma* (ver y oír <http://letras.com/miguel-aceves-mejia/1238994/>) cantada por el *Rey del Falsete*, Miguel Aceves Mejía (1915-2006), cuya letra mostramos a continuación,

Después de un día lluvioso
El cielo se oscurece
Ahí es donde comienza
Mi pecho a suspirar.
Recuerdo aquella tarde
De nuestra despedida
Pues era un día como este
Que no podré olvidar.

Por eso cuando llueve
Me lleno de recuerdos
Y con tristeza espero
La horrible oscuridad.
Las lágrimas del alma
Semejan esta lluvia;
La noche con su manto
Tendrá su día de luz.

Sumido en el letargo
El pensamiento implora
Que aclare nuestro cielo
Y vuelva a ser feliz.



del agua de los océanos, así como la de los lagos, los embalses y los ríos. Otra contribución importante a la humedad atmosférica proviene de la superficie de las hojas de las plantas, mediante transpiración. El agua puesta en la atmósfera mantiene el ciclo (*ciclo hidrológico*) en constante movimiento. Este ciclo es un proceso complejo que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapo-transpiración y la infiltración.

Cuando las masas de humedad entran en contacto con masas de aire más frío, se producen la lluvia, el granizo y la nieve. Si la precipitación cae sobre un suelo relativamente impermeable, el agua correrá por el suelo formando pequeños

arroyos o riachuelos. Pero si la superficie del suelo es bastante porosa se producirá una mayor infiltración. Una vez que el agua comienza a infiltrarse por la superficie del suelo, se mueve mucho más lentamente. Si el suelo es muy compacto o contiene mucha arcilla, el agua apenas circulará. En este caso, puede tardar cientos de años en alcanzar el nivel freático, esa zona subterránea de la tierra que está saturada de agua. La humedad que llega hasta las aguas

subterráneas no queda separada para siempre del agua que circula en el ciclo hidrológico terrestre. Aunque con lentitud, las aguas subterráneas se mueven hacia el océano. El ciclo continúa, la Tierra sigue funcionando con el agua en movimiento perenne, pero su cantidad en lo esencial se mantiene constante. El motor de ese ciclo perenne es la energía solar. La Figura 4 da una posible imagen cualitativa del ciclo del agua.

El inventario de agua en nuestro planeta es del orden de $1,4 \times 10^{18}$ toneladas, cantidad muy elevada. Sin embargo, más del 97% de esa agua está en los océanos y no está fácilmente disponible para el hombre. El agua que usa el hombre proviene del ciclo hidrológico y es por lo tanto un recurso renovable pero finito. Se calcula que al año se evaporan aproximadamente $3,6 \times 10^{14}$ toneladas de agua de los océanos. Sin embargo, la mayor parte se precipita nuevamente sobre los mismos océanos. Los océanos dan cuenta de aproximadamente 97,5 % del agua del planeta. Únicamente un 2,5% es agua dulce. Los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares representan casi el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua de superficie accesible rápidamente sólo el 1%. Esta baja cantidad de agua de superficie fácilmente accesible se encuentra principalmente en lagos (52%) y humedales (38%).

Los contenidos de agua, en gramos de cada uno de los reservorios involucrados en el ciclo hidrológico, se muestran en la Figura 5 que presenta un esquema simplificado del movimiento del agua. En dicha figura se señalan los contenidos de agua de los diversos reservorios y la magnitud de los flujos entre ellos. Allí se ha optado por incluir a todas las aguas dulces en un solo reservorio. La Figura 5 indica los flujos entre reservorios. Aún cuando la fracción contenida en la atmósfera es muy pequeña (del orden de 10^{-5} del total), el intercambio de agua entre la atmósfera y el mar o entre la atmósfera y las aguas dulces es muy dinámico y la cantidad total de agua que pasa por la atmósfera por año es un orden de magnitud mayor que la totalidad del inventario de aguas dulces (líquida) del planeta. La atmósfera es la cinta transportadora del agua en el ciclo hidrológico.

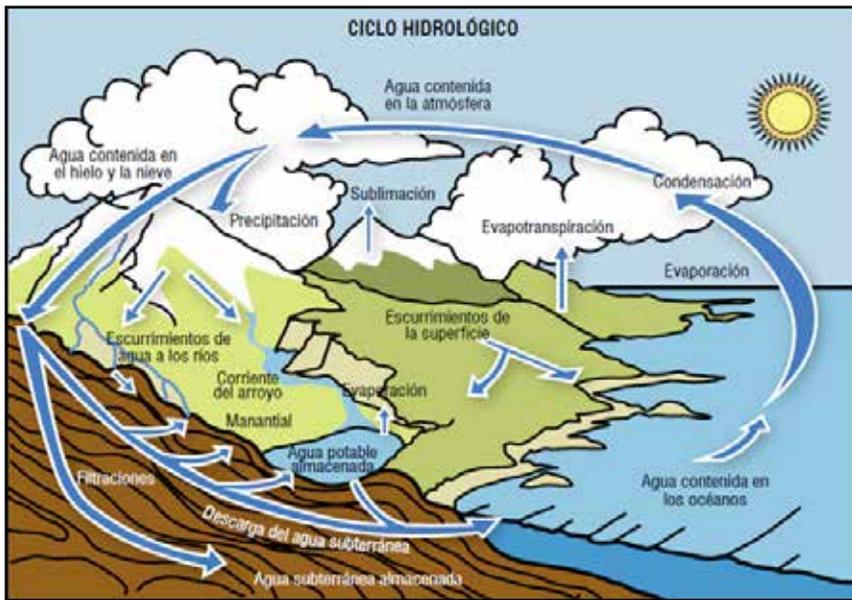


Figura 4: El ciclo hidrológico.

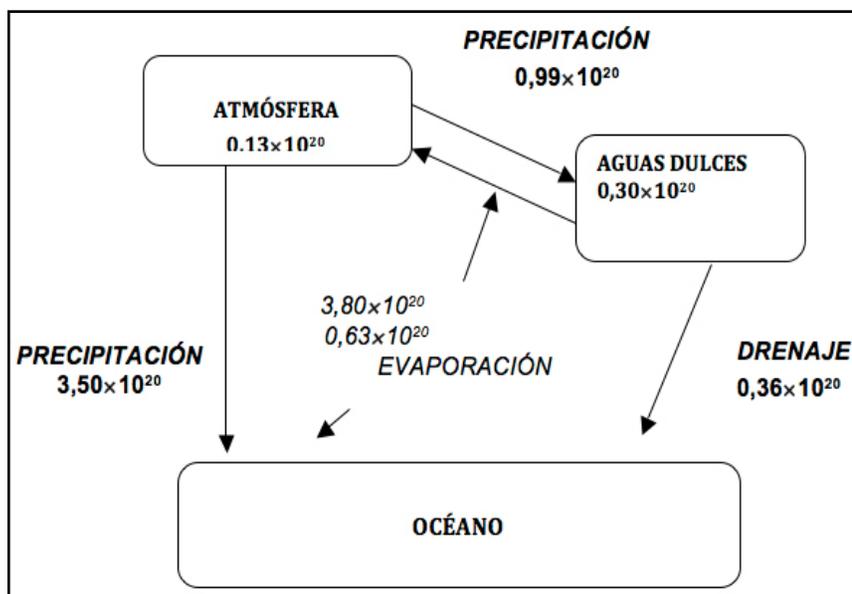


Figura 5: Ciclo hidrológico simplificado; los contenidos de los reservorios están dados en g, y los flujos en $g \text{ año}^{-1}$.

A partir de las masas de agua en cada reservorio y de los flujos máxicos es posible calcular los tiempos de residencia del agua en el océano, en lagos y ríos y en la atmósfera. Estos valores que indican el tiempo que, *en promedio*, permanece una molécula de agua en el reservorio resultan ser del orden de 3550 años, 4 meses y 11 días, respectivamente.

En realidad es conveniente dividir el agua de mar, definiendo dos compartimientos diferentes: las aguas superficiales y las aguas profundas porque, como ya se dijo, las mismas se mezclan muy lentamente entre sí. El valor de 3550 años es entonces un promedio pesado de dos tiempos de residencia muy diferentes. Los tiempos de residencia de lagos y ríos y de estos últimos entre sí son también muy diferentes. Por este motivo se distingue entre sistemas lóticos (con tiempos de residencia cortos) y lénticos (o leníticos, con tiempos de residencia más largos).

De la Figura 5 puede verse que llueve sobre la tierra más de 120×10^{12} toneladas de agua por año. Pero esa agua se distribuye de manera irregular, tanto en el tiempo como en el espacio. La Figura 6 muestra la distribución espacial de lluvia en enero, donde las zonas más áridas están en blanco y las más húmedas en azul intenso. Se puede encontrar en <http://en.wikipedia.org/wiki/File:MeanMonthlyP.gif> la secuencia de imágenes correspondientes a todos los meses.

La distribución espacial muy despareja que muestran los sitios en los que se registraron promedios anuales máxicos y mínimos de precipitaciones puede consultarse en: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/globalextremes.html>. En Sudamérica, basta recorrer 2755 km en línea recta para trasladarse desde Arica, en Chile, donde llueve menos de 1 mm

Cuadro 2

¿Cuánto tiempo perdura el agua antes de renovarse?

Los organismos vivos tienen una cantidad de agua aproximadamente constante, pero esa agua está en permanente renovación. Lo mismo ocurre con el agua atmosférica, con el agua de los ríos, etc. *En World Water Balance and Water Resources of the Earth, UNESCO, 1999* encontramos valores sobre los tiempos que tarda el agua en renovarse:

Agua biológica: varias horas

Agua atmosférica: 8 días

Aguas fluviales: 16 días

Humedad del suelo: 1 año

Agua de pantanos: 5 años

Agua de lagos: 17 años

Agua subterránea: 1400 años

Glaciares de montaña: 1600 años

Océanos: 2500 años

Casquetes polares: 9700 años

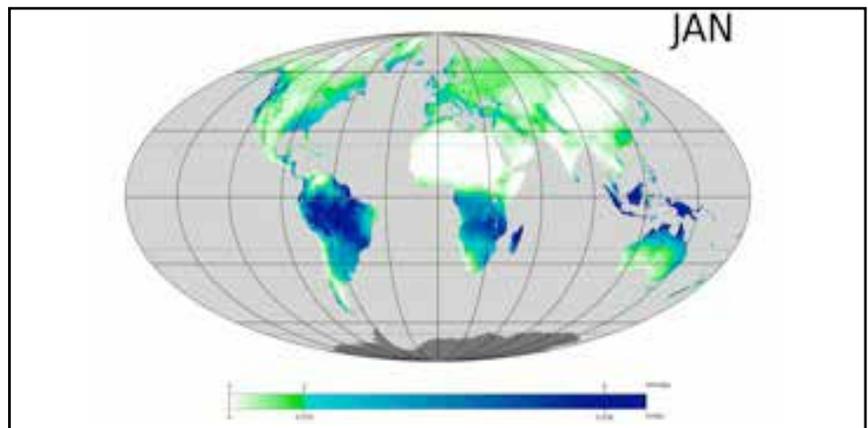


Figura 6: Precipitaciones medias en el mes de enero.

por año, hasta Lloró, en Colombia, donde se estima que llueve más de 13.000 mm por año.

■ UN CAMBIO DE ESCALA: DEL AGUA EN LOS SISTEMAS NATURALES AL AGUA EN EL LABORATORIO

El ciclo hidrológico describe al agua en la naturaleza. En contraste, la química se desarrolló esencialmente en el laboratorio. Para comprender el comportamiento de los sistemas químicos en el laboratorio, los químicos desarrollaron la Termodinámica Química y el concepto de *equilibrio químico*. Las condiciones de equilibrio se alcan-

Cuadro 3

Las unidades que miden la cantidad de agua caída.

La cantidad de agua caída suele medirse en milímetros. ¿Cuánta agua representa 1mm en la Ciudad de Buenos Aires? La superficie de la ciudad es de 203,3 km² o 203,3 millones de metros cuadrados. Como 1 mm= 0,001 m, una capa de 1 mm en toda la ciudad equivale a un volumen de 203.300 m³ o a 203.300 toneladas de agua. Dado que las precipitaciones anuales en Buenos Aires superan los 1000 mm, la cantidad de agua que cae sobre la ciudad por año es mayor que 200 millones de toneladas.

zan cuando no se observan cambios con el transcurso del tiempo: por ejemplo, el color permanece constante en un matraz que contiene una mezcla de sustancias que reaccionan entre sí. Para formular las leyes de la Termodinámica Química es imprescindible definir previamente los conceptos de *sistema* y *medio ambiente*.¹ El sistema es una porción delimitada del universo que constituye el motivo de estudio; un sistema en el laboratorio puede ser la solución contenida en un matraz cónico o un recipiente hermético que contiene un gas a cierta presión y a cierta temperatura. El resto del universo es el medio ambiente. Entre el sistema y el medio ambiente puede haber o no haber intercambio de energía; un sistema que no intercambia energía con el medio ambiente se llama adiabático. También puede haber o no haber intercambio de materia; los sistemas que no intercambian materia con el medio son sistemas cerrados y en general los sistemas de laboratorio son sistemas cerrados.

En cambio, los sistemas acuosos naturales son un lago, un mar, un río, un acuífero (subterráneo), etc. Los sistemas naturales que nos interesan son sistemas abiertos, porque intercambian materia constantemente con el medio ambiente. La Figura 4 ilustra las diversas posibilidades.

Los *sistemas naturales* que intercambian materia entre ellos son en general de gran tamaño (por ejemplo, el mar que intercambia materia con la atmósfera y con los sedimentos). Los sistemas naturales son apreciablemente diferentes de los sistemas de laboratorio especialmente por sus dimensiones. Además, son muchas veces idealizaciones más que entes físicos; baste pensar en la hidrosfera como un sistema. La distinción entre sistema y medio ambiente se esfuma, si no desaparece

totalmente, cuando estudiamos sistemas naturales. El intercambio de materia y de energía tiene lugar entre sistemas de tamaños muchas veces comparables más que entre un sistema pequeño y un medio ambiente de capacidad infinita. Cada uno de esos sistemas es un *reservorio* y en la naturaleza lo que observamos son *flujos* entre los reservorios (flujos de materia, de energía).

Cuando el intercambio de materia se acopla con un flujo de energía se alcanza en muchos casos un *estado estacionario* y los flujos de materia entre reservorios se transforman en ciclos cerrados: la materia se mueve incesantemente entre los reservorios, pero la cantidad presente en cada reservorio es constante en el tiempo. Para nuestros fines, el ciclo hidrológico es el ejemplo más acabado, donde el flujo incesante del agua entre los reservorios es posible gracias al flujo de energía, esencialmente proveniente del Sol.

Uno de los enfoques más sencillos usados al estudiar sistemas naturales es la búsqueda de la descripción de los estados estacionarios que describen la cantidad de materia presente en cada reservorio y los flujos entre ellos. Si el estado estacionario sufre una perturbación,

la dinámica de intercambio entre los reservorios genera una respuesta del sistema en busca del equilibrio. Estos conceptos son los que justifican el concepto de *ciclos naturales*. El ciclo hidrológico es el ejemplo más importante para nuestros fines.

■ LAS PROPIEDADES DEL AGUA

El agua es una sustancia molecular constituida por moléculas discretas: H_2O . La molécula de agua es angular; el ángulo H-O-H es de $104,5^\circ$ y la distancia H-O es de $1,01 \text{ \AA}$.² La Figura 3 muestra la estructura electrónica de la molécula de agua aislada (por ejemplo en fase gaseosa a presiones bajas), con dos uniones O-H y dos pares electrónicos solitarios (región más negativa de la imagen de la izquierda). En la jerga de la Química Cuántica, la hibridación del átomo de oxígeno es sp^3 y cada unión O-H se forma por solapamiento de un híbrido de esa naturaleza con el orbital s del hidrógeno. Figura 7.

El diagrama de fases del agua se muestra en la Figura 8. Este diagrama demarca las regiones de presión y temperatura en las cuales son estables cada una de las fases (líquida y vapor y un número importante de fases sólidas). Sobre las líneas coe-

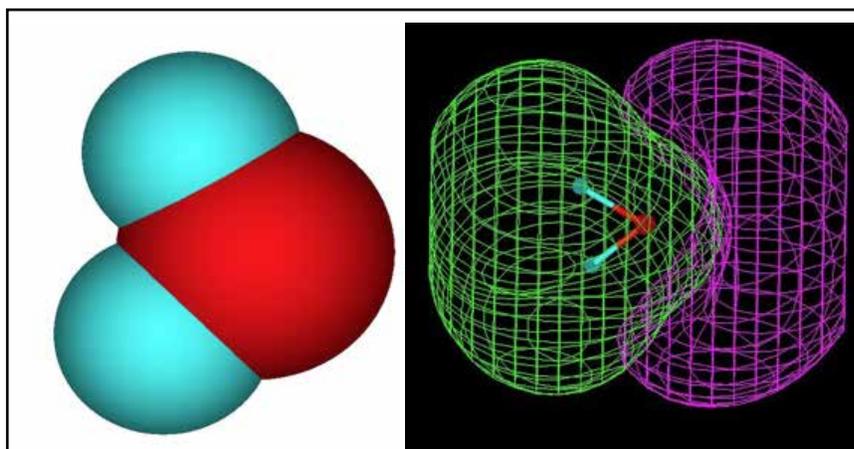


Figura 7: La molécula de agua. La imagen de la derecha muestra curvas de isodensidad electrónica, realizadas con el software Hyperchem 7, con un máximo en el oxígeno.

xisten en equilibrio dos fases y en el punto de intersección de las curvas sólido / líquido / vapor coexisten las tres fases (punto triple). La Figura 8 ilustra algunas de las propiedades especialmente importantes del agua líquida: su amplio ámbito de estabilidad y la posibilidad de cambio de estado en un ámbito moderado de temperaturas y presiones, fácilmente alcanzables en la superficie de la Tierra. Las diversas fases sólidas aparecen a presiones elevadas.

En condiciones normales de presión (0,1 MPa, 1 atm, Figura 8) el agua es líquida entre 0 y 100°C o 273 y 373 K. Ambos valores son altos en relación con la posición del hidrógeno y del oxígeno en la Tabla Periódica e indican que se necesita mucha energía para fundir el hielo o para evaporar el agua líquida. (Tabla I).

Para fundir hielo y para vaporizar agua se necesita mucha más energía que para realizar los mismos procesos en sustancias constituidas por moléculas análogas, por ejemplo amoníaco NH_3 o metano CH_4 . Las razones hay que buscarlas en la estructura del hielo y del agua líquida. El hielo contiene átomos de oxígeno que están rodeados por cuatro H, dos provenientes de la propia molécula y otros dos de moléculas vecinas. Los cuatro átomos de hidrógeno definen aproximadamente un tetraedro con dos distancias H-O de 1,01 Å y dos de 1,74 Å. Todos los átomos de hidrógeno están involucrados en la formación de fuertes puentes de hidrógeno con dos átomos de oxígeno de moléculas vecinas. En el agua líquida, esta estructura se mantiene localmente, pero los puentes de hidrógeno se rompen con facilidad y el ordenamiento de largo alcance se pierde. Ello confiere a las moléculas la alta movilidad característica del estado líquido. La energía requerida

para romper los puentes de hidrógeno explica el alto calor de fusión del hielo. En el calentamiento del agua, desde 0 hasta 100°, estos puentes de hidrógeno se rompen y ello conduce también a una alta capacidad calorífica³ ($18 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$). Finalmente, en la ebullición, esos puentes terminan de romperse y el calor de vaporización es también elevado.

Los cambios de estado del agua juegan un papel no despreciable en las regulaciones del clima tanto directamente, por el calor absorbido

o liberado, como indirectamente, por ejemplo, por la reflectividad de la energía solar, el **albedo**, que es mayor sobre superficies de hielo (las nubes juegan un papel análogo).

En virtud de las estructuras del agua líquida y del hielo, la densidad de éste es menor razón por la cual el hielo flota en el agua. La necesidad de mantener coordinación tetraédrica alrededor del oxígeno en una red rígida como la del sólido obliga a empaquetamientos poco compactos en el hielo, por fusión se rompen di-

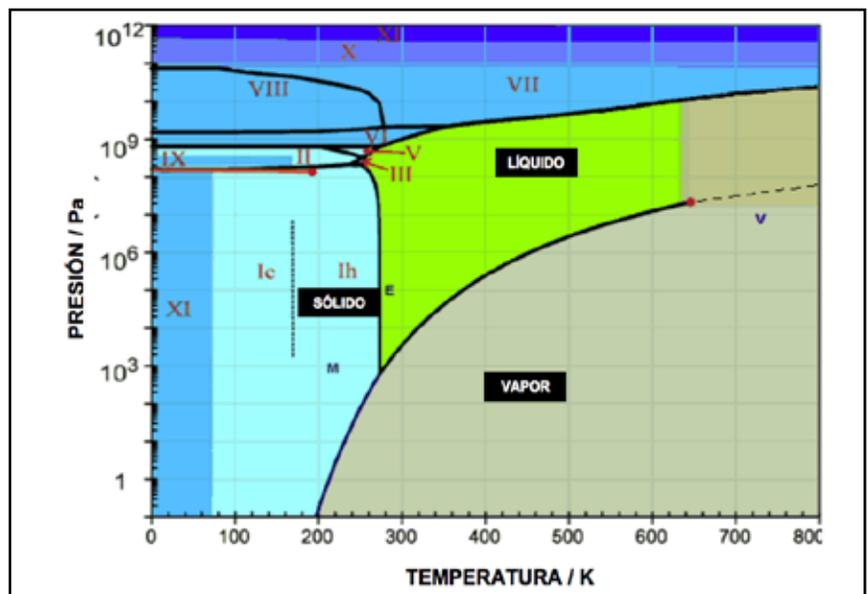


Figura 8: Diagrama de fases del agua pura. Nótese que la escala de presiones es logarítmica. Tomado de *Water Structure and Behavior*, M. Chaplin, London Southbank University, 2007 (<http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>).

TABLA I

Algunas propiedades físicas del agua.

Propiedad	Valor
Volumen molar a 4°C	18 cm ³ / mol
Calor de vaporización a 0°C	45,05 kJ/mol
Calor de fusión	6,02 kJ/mol
Momento dipolar	1,85 D
Constante dieléctrica a 25°C	78,4
Viscosidad a 20°C	0,01 poise
Energía superficial	72,75 dinas/cm

námicamente los puentes de hidrógeno con mucha facilidad conduciendo a un empaquetamiento más compacto, con mayor densidad. Esta propiedad tiene también consecuencias ambientales importantes, como la protección frente a la solidificación de masas de agua líquida por capas de hielo que se forman en la superficie.

Los cambios de fase asociados con la formación de témpanos en las regiones polares y con los cambios de la densidad del agua líquida cuando cambia la temperatura generan también un efecto de alta importancia en la dinámica de las aguas oceánicas y en la regulación del clima. El agua en las regiones polares está sometida a bajas temperaturas, con lo que su densidad aumenta. Además, cuando se congela el agua de mar se forma hielo de salinidad mucho más baja que el agua líquida (en el caso límite más sencillo el hielo es agua pura, sin sales) y las sales se acumulan en el agua líquida. Se produce así un aumento de la salinidad y densidad en las aguas líquidas frías que es responsable de las corrientes marinas profundas que da origen a la *circulación termohalina*. Este mecanismo se suma al efecto

causado por los vientos, definiendo el patrón global de circulación oceánica. Las corrientes profundas de agua fría eventualmente emergen, al calentarse, y el circuito de las aguas se cierra con las corrientes cálidas de superficie (como la corriente del Golfo). La Figura 9 muestra las corrientes profundas en rojo, y las superficiales en azul. Los principales sitios de formación de aguas profundas están identificados con las letras L (Labrador), G (Groenlandia), W (Mar de Weddell) y R (mar de Ross).

La temperatura de congelamiento del agua depende de la salinidad, en función de un conocido fenómeno, el *descenso crioscópico* (este tema puede consultarse en cualquier texto de Química General) y es por eso que una solución salina al 3,5% como el agua de mar congela a temperaturas algo inferiores a los 0°C.

La densidad máxima del agua se alcanza a una temperatura próxima a los 4°C. Este máximo en la densidad tiene otra consecuencia importante. El mezclamiento vertical depende fuertemente de los gradientes de densidad; las aguas menos densas subirán y las más densas baja-

rán. En el agua, eso significa que las aguas más profundas, al adoptar temperaturas próximas a los 4°C alcanzan su máxima densidad y no se mezclan apreciablemente con aguas superficiales, lo que resulta en una estratificación térmica. Entre otros fenómenos este escaso mezclamiento determina que la capacidad de absorción de sustancias presentes en la atmósfera se vuelva muy lento. Es así que, si bien potencialmente el mar tiene la capacidad de absorber todo el dióxido de carbono que el hombre está liberando a la atmósfera, en la práctica la respuesta del océano es extremadamente lenta y el dióxido de carbono se acumula en la atmósfera.

La variación de la presión de vapor (p_v) del agua con la temperatura (ver Figura 8) viene dada por la ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$\log p_v = A - \frac{\Delta H}{2,3RT} \quad (1)$$

En la ecuación (1), A es una constante y ΔH la entalpía (calor) de vaporización. Esta ecuación describe la influencia de la temperatura sobre la presión parcial del agua en la fase gaseosa cuando está en equilibrio con el agua líquida. La situación de equilibrio entre agua líquida y su vapor ocurre cuando la humedad relativa ambiente, H.R.A., definida por la ecuación (2), es de 100%. Como la presión de equilibrio p_v aumenta con la temperatura según la ecuación (1), la presión de vapor de agua p necesaria para mantener una H.R.A. fija aumenta con la temperatura de manera análoga. El bien conocido efecto de "secado" del aire por calefacción y el empañamiento de superficies frías se describen con esta ecuación.

$$\text{H.R.A.} = 100 \times (p / p_v) \quad (2)$$

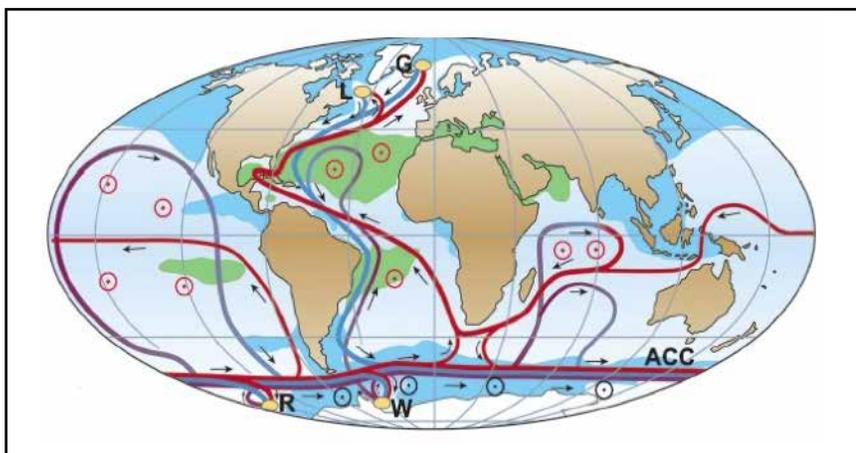
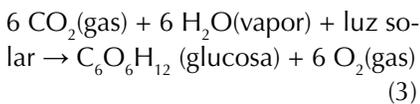


Figura 9: Mapa de corrientes submarinas. Para interpretación completa de la figura, véase la referencia original: S. Rahmstorf, *Thermohaline Ocean Circulation*, en *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, Editor: S.A. Elias. Elsevier, Amsterdam 2006).

Disolución de gases en agua

Los cuerpos de agua tienen distintas proporciones y composición de gases disueltos, predominando los gases atmosféricos. Existen dos gases que son cruciales para el desarrollo de la vida en los sistemas acuáticos: el oxígeno (O₂) y el dióxido de carbono (CO₂).

En última instancia, todo el oxígeno proviene de la fotosíntesis, ecuación (3).



En esta ecuación, de forma simplificada, se identifica a la biomasa con glucosa. Esta reacción tiene lugar constantemente en la región iluminada de los mares, por acción de las algas. Más importante, esta reacción dio origen al oxígeno atmosférico en un proceso que cambió la composición atmosférica por acción de los seres vivos hace más de dos mil millones de años. En la actualidad, el oxígeno disuelto en las aguas proviene de la producción fotosintética de las algas y de la reabsorción del oxígeno del aire. La primera de estas fuentes no es realmente significativa debido a que su aporte es pequeño. Por otra parte, cuando las algas mueren su degradación consume oxígeno, por lo cual es mayor la cantidad que consumen que la que aportan.

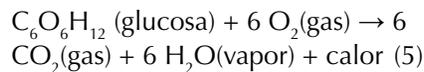
Analicemos la fijación de oxígeno desde la atmósfera. Los químicos definen la solubilidad de oxígeno en agua como la concentración máxima que puede alcanzarse en condiciones óptimas de equilibrio. Según la ley de Henry, a temperatura constante la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas en contacto con el líquido; matemáticamente, esta ley se

expresa por la ecuación (4).

$$\text{Concentración de O}_2 \text{ en agua} = K_H p\text{O}_2 \quad (4)$$

En esta ecuación, K_H es una constante cuyo valor es más chico cuanto más alta es la temperatura (la solubilidad disminuye con la temperatura).

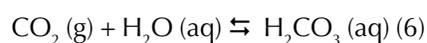
La degradación de la materia orgánica por medio de oxígeno puede representarse por la ecuación inversa a la (3):



Esta reacción puede representar la respiración y los procesos de descomposición en presencia de aire. Estos procesos producen una disminución de los niveles de oxígeno en cursos de agua que puede provocar incluso la mortandad de peces.

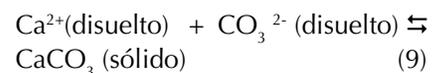
Si se cumplieran las leyes de la termodinámica, las aguas naturales en contacto con aire estarían siempre saturadas en oxígeno: si la fotosíntesis produce más, el exceso se debe liberar a la atmósfera; si la respiración consume oxígeno, el mismo se repone desde el aire. Sin embargo, los tiempos que requieren estos procesos de intercambio con el aire son largos y las aguas pueden estar subsaturadas o sobresaturadas por tiempos prolongados.

A diferencia del oxígeno o el nitrógeno atmosférico, la solubilidad del dióxido de carbono en agua no depende solo de la temperatura: la acidez del agua tiene una influencia crucial porque el dióxido de carbono es un ácido que reacciona con los iones hidróxido, según las ecuaciones (6) - (8):



La proporción de CO₂ en la atmósfera es de sólo 0,035 %, por lo tanto si consideramos agua pura en equilibrio con el aire, la cantidad de CO₂ disuelto será realmente baja. Sin embargo, en sistemas naturales se deben considerar otros factores en la evaluación del CO₂ disuelto en agua, por ejemplo, las algas producen CO₂ durante una fase de sus procesos metabólicos en ausencia de luz y también se produce CO₂ a raíz del proceso de decaimiento de la materia orgánica, mientras que las algas lo consumen en la fase fotosintética para sintetizar biomasa. En otras palabras, como lo indican las ecuaciones (3) y (5), las transformaciones de la biomasa afectan al dióxido de carbono de forma opuesta a cómo afectan al oxígeno disuelto.

Además, en la definición de la solubilidad del dióxido de carbono, también juega un papel importante la solubilidad de los carbonatos, especialmente los de calcio. Las aguas naturales contienen calcio disuelto que reacciona con los iones carbonato formando los depósitos calcáreos:

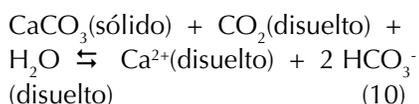


En el transcurso de las eras geológicas se han formado grandes masas de estos carbonatos en el lecho del mar; un ejemplo espectacular es el de las estalactitas y estalagmitas (Figura 10).

En la actualidad esos sedimentos calcáreos pueden reaccionar con el dióxido de carbono disuelto, con lo cual, a partir de una molécula disuelta se generan dos iones disueltos:



Figura 10: Estalactita y estalagmita a punto de unirse para formar una columna (tomado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Estalactita>).



Los cálculos de las concentraciones en condiciones de equilibrio son algebraicamente engorrosos pero sencillos. En la actualidad, los mismos se realizan fácilmente con programas diseñados especialmente para ello. El lector interesado en más detalles puede consultar la bibliografía (Blesa y col. 2012).

Rara vez los cuerpos de agua están equilibrados con la atmósfera o con los sedimentos calcáreos. La actividad biológica ha ido moldeando este paisaje natural y todo el carbonato de calcio de los sedimentos marinos es de origen biológico, se formaron por acción metabólica de los organismos marinos. Ese es también el origen de las "arenas blancas" de, por ejemplo, las playas de Varadero, en Cuba, "arenas" que no son silíceas, sino carbonato de calcio.



Figura 11: Imagen de la playa de Varadero (Cuba), Tomada de <http://www.vuelaviajes.com/la-espectacular-playa-de-varadero-en-cuba/>.

El comportamiento del agua y de los aceites (fases líquidas no miscibles).

Los seres vivos contienen una cantidad elevada de agua, por ejemplo, alrededor del 70% de nuestro peso es agua. Pero los organismos vivos tienen también regiones no acuosas, constituidas por sustancias orgánicas que son muy poco miscibles con agua.

¿Qué pasa cuando una sustancia se encuentra con regiones acuosas y no acuosas en el organismo? ¿Dónde se disuelven? Las sales, como el cloruro de sodio, se disuelven en el agua y poco o nada en las sustancias no miscibles con agua o lipídicas, que podríamos denominar genéricamente aceites o grasas. En

cambio, los compuestos orgánicos pueden tener mayor o menor afinidad por cualquiera de las dos fases; se dice que pueden ser hidrofílicos o lipofílicos. Si la molécula tiene grupos iónicos, como por ejemplo el ácido ascórbico (vitamina C), su solubilidad en agua será elevada. En cambio, si posee cadenas largas de átomos de carbono y no posee grupos iónicos o polares, se concentrará en las grasas; tal es el caso, por ejemplo, del DDT. Sus moléculas se muestran en la Figura 12.

En general, cualquier sustancia X se distribuirá entre las dos fases, en grado variable. El equilibrio que se establece en estas situaciones es el siguiente, donde las concentraciones se representan con corchetes:

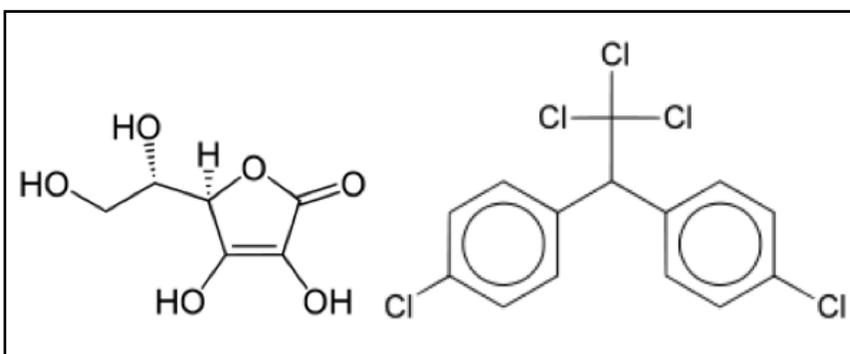
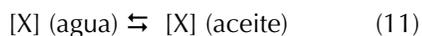


Figura 12: Las moléculas de ácido ascórbico (hidrofílico, a la izquierda) y del DDT (hidrofóbico, a la derecha).



La constante de equilibrio correspondiente K_d , recibe el nombre de coeficiente de distribución o coeficiente de partición:

$$[X] (\text{aceite}) / [X] (\text{agua}) = K_d \quad (12)$$

La distribución de sustancias orgánicas no polares entre agua y sólidos naturales u organismos puede visualizarse como un proceso de partición entre la fase acuosa y la materia orgánica presente en suelos o biota.

Ya en 1900 investigadores que estudiaban el comportamiento de drogas no polares descubrieron que podían usar la partición entre agua y solventes como el n-octanol como un "modelo" para la distribución de fármacos en el organismo. Si bien la partición entre una solución acuosa y estos solventes no es idéntica a lo que pasa con los organismos es directamente proporcional. Es decir, una acumulación mayor en las grasas de un organismo corresponde a una partición más favorable en el solvente orgánico. La constante de partición octanol-agua se usa entonces para describir la afinidad de cualquier sustancia por las regiones grasas. Cuanto más alto es K_{ow} mayor es el riesgo que esa sustancia se acumule en el organismo:

$$K_{ow} = C_o / C_w \quad (13)$$

Esta constante, K_{ow} está relacionada con la toxicidad que un contaminante puede tener en el organismo (LD_{50}).

Procesos de oxidación reducción en aguas naturales.

La solubilidad y los procesos de ácido-base controlan las concentraciones de iones inorgánicos como el carbonato en las aguas, mientras

que el contenido orgánico en el agua está dominado por reacciones de oxidación reducción, siendo las más importantes las que involucran al oxígeno disuelto.

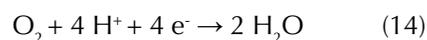
Las reacciones de óxido-reducción, denominadas comúnmente *reacciones redox*, involucran cambios en el estado de oxidación de las especies intervinientes existiendo intercambio de electrones. Este tipo de reacciones resulta de importancia vital en los sistemas acuosos naturales y en aguas de desecho. Muchas reacciones redox que, desde el punto de vista termodinámico estarían favorecidas, suelen no ocurrir u ocurrir tan lentamente que no son apreciables. Algunas son catalizadas por microorganismos, por ejemplo, la degradación de materia orgánica por acción del oxígeno.

Para el análisis de los procesos de óxido reducción en medios acuosos se usa el concepto de pE, análogo al de pH, que se define como el *logaritmo negativo de la actividad electrónica*. La actividad de H^+ se utiliza para determinar las características ácidas o básicas del agua y, por analogía, el pE indica si las condiciones son oxidantes o reductoras. *Cuando la actividad electrónica es alta, el pE es bajo y las condiciones son reductoras, mientras que cuando la actividad electrónica es baja, el pE es alto y las condiciones del medio son oxidantes.*

Los sistemas acuáticos son sistemas dinámicos que normalmente no están en equilibrio. Por ejemplo, pueden coexistir materia orgánica y oxígeno disuelto que deberían reaccionar entre sí pero lo hacen lentamente. Por ese motivo, los sistemas acuosos naturales están muchas veces en estado estacionario como ya se explicó. Aun así, la aplicación de los modelos de sistemas en equilibrio resulta útil para visualizar ten-

dencias en aguas naturales y sistemas de desecho con un modelo lo suficientemente sencillo para poder comprenderlos.

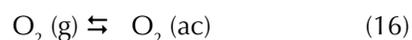
De lejos, el más importante agente oxidante en las aguas naturales es el oxígeno molecular disuelto, O_2 . En la reacción, cada uno de sus átomos de oxígeno se reduce desde su estado de oxidación cero hasta el estado -2 en el H_2O . La hemireacción que muestra la tendencia del oxígeno a captar electrones oxidando a otras sustancias, si tiene lugar en aguas ácidas es,



mientras que la que ocurre en aguas alcalinas es



La concentración de oxígeno disuelto en agua es pequeña a causa de su baja solubilidad y, por tanto, es precaria desde el punto de vista ecológico. Para la reacción



la constante de equilibrio que debe considerarse es la constante de la Ley de Henry, K_H , que para el oxígeno a $25^\circ C$ es $1,3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$:

$$K_H = [O_2 (ac)] / P_{O_2} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \quad (17)$$

Puesto que en el aire seco la presión parcial de oxígeno, P_{O_2} , es de $0,21 \text{ atm}$, se tiene que la solubilidad del O_2 es $8,7$ miligramos por litro de agua ($8,7 \text{ ppm}$). Debido a que las solubilidades de los gases aumentan al disminuir la temperatura, la cantidad de O_2 que se disuelve a $0^\circ C$ ($14,7 \text{ ppm}$) es mayor que la cantidad que se disuelve a $35^\circ C$ ($7,0 \text{ ppm}$). En las aguas servidas, la oxidación de la materia orgánica ha consumido todo el oxígeno y la putrefacción

tiene lugar en condiciones parcialmente anaeróbicas.

■ EL AGUA Y LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

En ausencia de cualquier impacto humano, las aguas que fluyen en los sistemas naturales presentan concentraciones variables de determinadas sustancias químicas (en forma disuelta o como partículas en suspensión) y organismos biológicos. Esta composición varía en función del terreno por el cual circula el agua ya que ésta tiene la capacidad de disolver determinados minerales. Además, deben añadirse las entradas atmosféricas de origen natural como los aerosoles procedentes de los océanos o las sustancias que provienen de las erupciones volcánicas, además de la materia orgánica procedente del proceso de erosión de los suelos o de los subproductos del ecosistema que se encuentra en el seno del río. Esta variabilidad también se observa en los cursos de agua desde su nacimiento hasta su desembocadura. A medida que los ríos fluyen, aumentan las interacciones con el entorno y las concentraciones de las diferentes sustancias. Estas diferencias son pequeñas comparadas con las provocadas por la actividad humana. El hombre tiene la capacidad de modificar de forma importante la calidad del agua.

En la medida en que usamos el agua hemos generado *ciclos antrópicos*. Captamos de las fuentes naturales agua cuya calidad es mejor a la del agua que devolvemos a esos mismos cuerpos de agua. Debemos conocer y tener en cuenta todas las fases del *ciclo hidrológico natural*, para lograr sustentabilidad. Para ello, es necesario no solo velar por la utilización y la distribución eficiente del agua dulce sino también salvaguardar el estado de la cuenca de captación y las aguas subterrá-

neas (antes del consumo), así como el tratamiento y la eliminación adecuada de las aguas de desecho (después del consumo). Es necesario privilegiar el conocimiento del vínculo existente entre el uso del agua y los ecosistemas que la abastecen.

El agua tiene diferentes usos y cada uno presenta requerimientos específicos. No es lo mismo regar un cultivo que una plantación de árboles, ni es de esperar que el agua usada para refrigerar un reactor químico tenga los mismos requisitos que el agua para cocinar. La actividad humana que más agua demanda es la agricultura; en nuestro país, el 70% del consumo de agua se destina a esta actividad.

Nosotros advertimos sin duda nuestro uso de agua cuando requerimos en la ciudad la provisión para cocinar, para higiene. Ésta es el agua que vemos, cuyo origen es lo que algunos autores llaman "agua azul", es decir el agua en ríos, lagos, acuíferos. El requerimiento diario de agua de bebida para una persona adulta está entre 2 y 4 litros, pero a ello se debe sumar el agua usada para cocinar y para la higiene personal y del hogar. Por ese motivo, el consumo en una ciudad es del orden de 260 litros por día y por persona pero en Buenos Aires la cifra es mucho más alta, del orden de 670 litros por día y por persona; el grueso se gasta en la descarga de los inodoros, en la ducha, en el lavarropas, etc. A ello se suman las pérdidas en los artefactos domiciliarios, en la red de distribución y en usos tales como la limpieza de veredas y autos con mangueras.

Pero además del "agua azul" también hay agua que no vemos. Se requiere entre 2000 y 5000 litros por día para producir los alimentos necesarios para alimentar a una persona. Según estimaciones realizadas,

para producir una papa mediana se requieren 25 litros de agua, para 1 kg de cítricos hacen falta 1000 litros, para 1 kg de carne de vaca, 15000 litros. Esa agua que no vemos se denomina "**agua virtual**" y se define como el agua que contienen los productos e incluye el agua necesaria para producirlos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha definido **huella hídrica** de una persona o de un país como el volumen total de agua dulce utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por dicha persona o país. El promedio de la huella hídrica en la Argentina es de 1.404 m³ /cápita/año y el promedio de la huella hídrica mundial es de 1.243 m³/cápita/año.

El comercio de productos agrícolas que constituye el 15% del comercio mundial es un vector básico del intercambio de agua. De esa manera, los exportadores de productos agrícolas exportan agua y los importadores la importan. Estados Unidos es el primer exportador de agua virtual, ocupando nuestro país el cuarto lugar. Por otra parte, Japón, China y España se encuentran entre los primeros 10 países importadores de agua virtual. Los países de Medio Oriente y África del Norte son también grandes importadores de agua virtual. Minimizar la importancia del agua virtual conduce a no valorar debidamente el agua.

La escasez de agua dulce es un riesgo muy serio, del que ningún país está ajeno. Los recursos de agua son renovables pero finitos, limitados y frágiles. Por otra parte, la demanda es creciente. El agua no puede ser una mercancía en los mismos términos que otros bienes y recursos, por eso la respuesta adecuada debe ser de orden ético y cultural. En la historia de la humanidad la utilización

■ **NOTA**

del agua ha unido mucho más de lo que ha dividido. Así y todo, la palabra "rival" viene del latín *rivalis*, que designa a los habitantes de las riberas opuestas de un mismo río. Qué mejor que recordar aquí a Iva Zanicchi cantando *La orilla blanca, la orilla negra* (ver y oír <http://www.youtube.com/watch?v=m442tFMAZ44>).

Este recurso fundamental, esencial para la vida y el desarrollo es desde el punto de vista químico sólo una simple molécula.

Algunas secciones de este artículo siguen textualmente el material incluido en la referencia 2, Blesa, M.A., Apella, M.C. y dos Santos, A. (2012) *Agua y Ambiente. Un Enfoque desde la Química* EUDEBA.

Cuadro 4

Algunos datos sobre el agua.

- Se puede vivir cerca de un mes sin alimentos, pero solo una semana sin agua
- Cerca del 70% de la piel humana es agua
- Mujeres y niños de la mayoría de las regiones en desarrollo recorren una distancia media de 10 a 15 kilómetros diarios para abastecerse de agua.
- Unas 34000 personas mueren diariamente por enfermedades relacionadas con la calidad del agua, como diarrea o lombrices intestinales. Es lo mismo que si se estrellaran 100 aviones jumbo y murieran todos sus ocupantes.
- Una persona necesita cinco litros de agua diarios para beber y cocinar y otros 25 litros para su higiene personal.
- Una vaca lechera necesita beber unos cuatro litros de agua por cada uno de leche que produce
- El tomate contiene 95% de agua
- Para fabricar cuatro neumáticos se precisan 9.400 litros de agua
- Cada día se utilizan 1.400 millones de litros de agua para imprimir la prensa de todo el mundo.

Fuente: International Development Initiative of Mc Gill University, Canada y sint Paul Water Utility, Minnesota, Estados Unidos.

Cuadro 5

Sequías e Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires.

Desde los inicios de nuestra historia independiente, las actividades agropecuarias en la Provincia de Buenos Aires han estado asociadas a los ciclos de sequías e inundaciones.

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

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

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

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

Fue en 1832 cuando John Whitakker intentó introducir el primer molino "*wind power hydraulic machine*". El inventor recomendaba a los ganaderos su uso para asegurar el continuo suministro de agua para sus haciendas; su invento, sin embargo, generó desconfianza de los ganaderos.

En 1858 se realizó la Primera Exposición agrícola rural argentina y en 1866 se creó la Sociedad Rural Argentina. En 1880, los molinos de viento se exhibieron en sus exposiciones y en 1901 se introdujo su complemento indispensable, el tanque australiano.

En 1884 Florentino Ameghino publicó su obra "Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe". Allí criticó las obras de canalización y sostuvo la importancia

de las obras de retención para la recarga de acuíferos y reserva para los períodos de sequía.

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

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



Florentino Ameghino

En contraposición, en la década del 70 del siglo pasado se instaló un período húmedo con algunas interrupciones y se produjeron grandes inundaciones en la Cuenca del Salado. Durante la inundación de 1980, precipitaron 60 km³ de agua en un mes y se evaporaron o escurrieron sólo 5 km³ en tres meses, por lo que quedó el territorio inundado un largo tiempo.



El puente ferroviario sobre el río Salado en Parada Río Salado (Ramal Altamirano Las Flores, FCG Mitre), en 1980 (Museo Ferroviario de Ranchos, http://flavam.com/museo_ferroviano_ranchos/galparadariosalado.htm), A la izquierda, en la actualidad. A la derecha, en 1980.

La Llanura pampeana tiene una superficie aproximada de 600.000 km², una exigua pendiente 10 – 30 cm / km y escaso desarrollo de red de drenaje. Por lo tanto, prevalecen los movimientos verticales de agua sobre los horizontales. La transferencia horizontal, en la cual se moviliza por arroyos, ríos y canales hasta llegar al mar, se dificulta por su escasa pendiente. La transferencia vertical está dominada por la evapotranspiración y la infiltración.

(Fernández Cirelli, 2011)

Para más información sobre la química del agua en sistemas naturales, se puede consultar esta obra.

■ BIBLIOGRAFÍA

Benjamin, M. M. (2001) *Water Chemistry*, McGraw-Hill Science Engineering.

Blesa, M.A., Apella, M.C., dos Santos, A. (2012) *Agua y Ambiente. Un Enfoque desde la Química*, EUDEBA.

Chaplin, M. (2008) *Water structure and Behavior*, London Southbank University, <http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>.

Fernández Cirelli, A. (2011) Los ciclos del agua: su función y protagonismo en el agrosistema argentino. *Encrucijadas* N° 50, 54-59.

Morel, F.M.M., Hering, J. (1993) *Principles and Applications of Aquatic Chemistry*, Wiley-Interscience.

Schwarzenbach, R., Gschwend, P., Imboden, D. (2003), *Environmental Organic Chemistry*. John Wiley and Sons.

Stumm, W., Morgan, J. (1996) *Aquatic Chemistry*, Tercera Edición, Wiley-Interscience.

Stumm, W. (1992) *Chemistry of the Solid – Water Interface*, Wiley-Interscience.

World water balance and water resources of the Earth (1999), UNESCO.

■ NOTAS

1 En Termodinámica Química, es usual llamar medio ambiente (o medioambiente) al medio que rodea al sistema. El uso de dicho término se ha extendido a las Ciencias Ambientales, pero para la palabra inglesa *environment* es preferible usar simplemente el término *ambiente*.

2 $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$. El angstrom (\AA) no es una unidad del sistema SI empleado internacionalmente, pero todavía se usa para describir distancias interatómicas.

3 La capacidad calorífica es la energía que se requiere para calentar un gramo un grado. Esta capacidad es mucho mayor para el agua líquida que para el amoníaco o el metano.

Recuperación de tecnologías ancestrales y sustentables en Jujuy

La vicuña como modelo de producción sustentable

Ciencia e historia se unen para preservar a la vicuña

**Cazando vicuñas anduve en los cerros
Heridas de bala se escaparon dos.**

**- No caces vicuñas con armas de fuego;
Coquena se enoja, - me dijo un pastor.**

**- ¿Por qué no pillarlas a la usanza vieja,
cercando la hoyada con hilo punzó ?**

**- ¿Para qué matarlas, si sólo codicias
para tus vestidos el fino vellón ?**

Juan Carlos Dávalos, Coquena

Lo primero es pedir permiso a la Pachamama. Porque a ella, en la cosmovisión andina, pertenecen las vicuñas que se extienden por el altiplano de Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Una ceremonia ancestral, unida a la ciencia moderna, permite que comunidades y científicos argentinos exploten de manera sustentable un recurso de alto valor económico y social.

La vicuña es una especie silvestre de camélido sudamericano que habita en la puna. Hasta 1950-1960 estuvo en serio riesgo de extinción debido a la ausencia de planes de manejo y conservación. Desde la llegada de los españoles se comenzó con la caza y exportación de los cueros para la obtención de la fibra, que puede llegar a valer U\$600 por kilo, lo que llevo a la casi desaparición de estos animales. Por ese entonces, la población de vicuñas en América era cercana a los 4 millones de ejemplares, en 1950 no eran más de 10.000.

A fines de la década del 70 Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Ecuador firmaron un Convenio para la conservación y manejo de la vicuña que permitió recuperar su población hasta contar en la actualidad con más de 76 mil ejemplares en nuestro país.

En Santa Catalina, Jujuy, a 3.800 metros sobre el nivel del mar, investigadores de CONICET, junto a comunidades y productores locales, han logrado recuperar una tecnología prehispánica sustentable para la obtención de la fibra de vicuña. Se trata de una ceremonia ancestral y captura mediante la cual se arrean y esquilan las vicuñas silvestres para obtener su fibra. Se denomina chaku y se realizaba en la región antes de la llegada de los conquistadores españoles. Según Bibiana Vilá, investigadora independiente de CONICET y directora del grupo Vicuñas, Camélidos y Ambiente (VICAM) *"Hoy podemos pensar en volver a hacer ese chaku prehispánico sumado a técnicas que los científicos aportamos para que las vicuñas pasen por toda esa situación sufriendo el menor stress posible. Las vicuñas vuelven a la naturaleza, la fibra queda en la comunidad, y nosotros tomamos un montón de datos científicos."*

El chaku

El chaku es una práctica ritual y productiva para la esquila de las vicuñas. Durante el imperio inca, las cacerías reales o chaku eran planificadas por el inca en persona. En esta ceremonia se esquilaba a las vicuñas y se las liberaba nuevamente a la vida silvestre. La fibra obtenida era utilizada para la confección de prendas de la elite y su obtención estaba regulada por mecanismos políticos, sociales, religiosos y culturales. Se trata de un claro ejemplo de uso sustentable de un recurso natural. Hugo Jacobaccio, zoológico e investigador principal de CONICET, explica que *"actualmente el chaku concentra hasta 80 personas, pero durante el imperio inca participaban de a miles. Hoy las comunidades venden esa fibra a acopiadores textiles y obtienen un ingreso que complementa su actividad económica principal, el pastoreo de llamas y ovejas"*.

El proceso comienza con la reunión de todos los participantes, luego toman una soga con cintas de colores reunidos en semicírculo y arrean lentamente a las vicuñas guiándolas hacia un embudo de red de 1 km de largo que desemboca en un corral. Cuando los animales están calmados se los esquila manipulándolos con sumo cuidado para reducir el stress y se los libera. Hoy, 1500 años después del primer registro que se tiene de esta ceremonia, la ciencia argentina suma como valor agregado: el bienestar animal y la investigación científica. En tiempo del imperio Inca, el chaku se realizaba cada cuatro años, actualmente se realiza anualmente sin esquila a los mismos animales *"se van rotando las zonas de captura para que los animales renueven la fibra"* explica Jacobaccio. Según Vilá *"es un proyecto que requiere mucho trabajo pero que demuestra que la sustentabilidad es posible, tenemos un animal vivo al cual esquilamos y al cual devolvemos vivo a la naturaleza. Tiene una cuestión asociada que es la sustentabilidad social ya que la fibra queda en la comunidad para el desarrollo económico de los pobladores locales."*

Yanina Arzamendia, bióloga, investigadora asistente de CONICET y miembro del equipo de VICAM, explica que se

esquilan sólo ejemplares adultos, se las revisa, se toman datos científicos y se las devuelve a su hábitat natural. Además destaca la importancia de que el chaku se realice como una actividad comunitaria *“en este caso fue impulsada por una cooperativa de productores locales que tenían vicuñas en sus campos y querían comercializar la fibra. Además participaron miembros del pueblo originario, estudiantes universitarios y científicos de distintas disciplinas. Lo ideal es que estas experiencias con orientación productiva tengan una base científica.”*

Paradojas del éxito.

La recuperación de la población de vicuñas produjo cierto malestar entre productores ganaderos de la zona. Muchos empezaron a percibir a la vicuña como competencia para su ganado en un lugar donde las pasturas no son tan abundantes. En este aspecto el trabajo de los investigadores de CONICET fue fundamental, según Arzamendia *“el chaku trae un cambio de percepción que es ventajoso para las personas y para la conservación de la especie. Generalmente el productor ve a las vicuñas como otro herbívoro que compite con su ganado por el alimento y esto causa prejuicios. Hoy comienzan a ver que es un recurso valioso y ya evalúan tener más vicuñas que ovejas y llamas. Nuestro objetivo es desterrar esos mitos”,* concluye.

Pedro Navarro es el director de la Cooperativa Agroganadera de Santa Catalina y reconoce los temores que les produjo la recuperación de la especie: *“Hace 20 años nosotros teníamos diez, veinte vicuñas y era una fiesta verlas porque habían prácticamente desaparecido. En los últimos años se empezó a notar un incremento y más próximamente en el último tiempo ya ese incremento nos empezó a asustar porque en estas fincas tenemos ovejas y tenemos llamas”. Navarro identifica la resolución de estos problemas con el trabajo del grupo VICAM: “Yo creo que como me ha tocado a mí tener que ceder en parte y aprender de la vicuña y de VICAM, se puede contagiar al resto de la gente y que deje de ser el bicho malo que nos perjudica y poder ser una fuente más productiva.”*

La fibra de camélido

Además de camélidos silvestres como la vicuña o el guanaco, existen otros domesticados como la llama cuyo manejo es similar al ganado, para impulsar la producción de estos animales y su fibra, el Estado ha desarrollado dos instrumentos de fomento. En la actualidad se encuentran en evaluación varios proyectos para generar mejoras en el sector productor de fibra fina de camélidos que serán financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Se trata de dos Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial destinados a la agroindustria y al desarrollo social que otorgarán hasta \$35.000.000 y \$8.000.000 respectivamente. Los proyectos destinados a la Agroindustria son asociaciones entre empresas y organismos del sector público con el objetivo de mejorar la calidad de la fibra de camélido doméstico a partir del desarrollo de técnicas reproductivas, mejoramiento genético e innovaciones en el manejo de rebaños; incorporar valor a las fibras a partir de mejoras en la materia prima o el producto final; permitir la trazabilidad de los productos para lograr su ingreso en los mercados internacionales y fortalecer la cadena de proveedores y generar empleos calificados.

La convocatoria Desarrollo Social tiene como fin atender problemas sociales mediante la incorporación de innovación en acciones productivas, en organización social, en el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de vida de manera sostenible y fomentar la inclusión social de todos los sectores. Otorgará hasta \$8.000.000 por proyecto que mejore las actividades del ciclo productivo de los camélidos domésticos, la obtención y/o el procesamiento de la fibra, el acopio, el diseño y el tejido, el fieltro y la confección de productos.



COMBATIENDO LA SEQUÍA CON FLAVODOXINA

Palabras clave: sequía Flavodoxina Cianobacterias Transgénicos.
Key words: drought Flavodoxin Cyanobacteria Transgenics.

Los episodios de estrés ambiental, especialmente la limitación de agua, representan la principal causa de pérdida de rendimiento en cultivos. Las plantas responden a estas situaciones mediante la expresión diferencial de una red de genes cuyos productos participan en la percepción, señalización, regulación transcripcional y finalmente la defensa ante la situación hostil mediante cambios bioquímicos y fisiológicos. La estrategia de la genética molecular para el mejoramiento de la tolerancia a condiciones ambientales adversas en cultivos se ha basado mayoritariamente en la sobreexpresión de dichos genes endógenos. El grado de éxito ha sido variable ya que se trata de una respuesta multigénica y, en consecuencia, difícil de predecir y manipular. Las cianobacterias, de las que las plantas han evolucionado a través de un proceso de endosimbiosis, han desarrollado estrategias sustitutivas y unigénicas basadas en el reemplazo de proteínas sensibles al estrés por versiones isofuncionales resistentes. Un ejemplo notorio es ferredoxina, el último componente de la cadena transportadora fotosintética. Ferredoxina resulta particularmente susceptible a los desafíos ambientales y ante tales situaciones muchas cianobacterias son capaces de expresar flavodoxina, que sustituye funcionalmente a ferredoxina aunque con menor eficiencia. Aunque el gen de flavodoxina ha desaparecido de las plantas, la reintroducción de una flavodoxina cianobacteriana en cloroplastos de distintas especies vegetales produjo líneas transgénicas con tolerancia aumentada a diversas fuentes de estrés ambiental, incluyendo sequía. Por lo tanto, las estrategias sustitutivas de los microorganismos siguen siendo efectivas en las plantas y esto abre nuevas perspectivas biotecnológicas para combatir el problema de la deficiencia de agua.

■ **Juan José Pierella Karlusich,
Néstor Carrillo***

Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario
(IBR-CONICET), Universidad Nacional de Rosario.

* carrillo@ibr-conicet.gov.ar

Environmental stresses, especially water limitation, represent the primary cause of crop yield losses. Plants respond to such situations through the differential expression of a gene network whose products are involved in stress perception, signaling, transcriptional regulation and finally the defense against the hostile situation via biochemical and physiological changes. The strategy of molecular genetics to strengthen stress tolerance in crops has been largely based on over expression of those endogenous genes. The success of this approach has been variable as it is a multigenic response and, consequently, difficult to manipulate. Cyanobacteria, from which plants evolved through a process of endosymbiosis, have developed unigenic, substitutive strategies based on the replacement of stress-vulnerable targets by resistant isofunctional proteins. A notable example is ferredoxin, the terminal acceptor of the photosynthetic electron transport chain. Ferredoxin is particularly susceptible to environmental challenges and, under such situations, many cyanobacteria are able to express flavodoxin which functionally substitutes ferredoxin but with less efficiency. Although the Fld coding gene has been lost from the plant genome, the reintroduction of a cyanobacterial flavodoxin in chloroplasts of different plant species gave rise to transgenic lines with enhanced tolerance to multiple sources of environmental stress, including drought. Therefore, the substitutive responses from microorganisms are still effective in plants and this situation opens new biotechnological perspectives to combat the water deficiency problem.

■ ESTRÉS ABIÓTICO EN PLANTAS

Durante su desarrollo, las plantas deben enfrentar condiciones ambientales adversas tales como deficiencia o excesos de agua o de nutrientes, salinidad, temperaturas extremas (heladas y calor), alta intensi-

dad lumínica, radiación ultravioleta, metales pesados, xenobióticos. Si la magnitud del desafío ambiental supera momentáneamente las líneas de defensa y los mecanismos adaptativos de la planta, se produce una situación de estrés ambiental (abiótico) que resulta en retrasos de crecimiento, menor producción de se-

millas y, eventualmente, la muerte.

El estrés ambiental representa la causa principal de la pérdida de cosechas en todo el mundo y se estima que la disminución de los rendimientos promedios de los principales cultivos es mayor al 50%.

Dentro de los distintos tipos de condiciones adversas, la falta de agua es sin duda la fuente de estrés más común y frecuente. En Argentina, el 53% de su superficie total está formada por tierras secas (áridas, semiáridas y subhúmedas secas) y se alcanza el 70% al sumar a este grupo las áreas subhúmedas húmedas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, SAyDS; www.desertificacion.gob.ar/tema/agua/). A escala global, según estimaciones de las Naciones Unidas 2100 millones de personas viven en tierras secas, que ocupan más del 40% de la superficie del planeta y producen el 44% de las cosechas y abastecen la mitad del ganado. (www.un.org/es/events/desertification_decade/).

Además, la agricultura es la principal actividad humana consumidora de agua, correspondiente al 70% del agua utilizada (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexesp.stm

Las actividades humanas incluyendo las malas prácticas agrícolas, la deforestación indiscriminada y las actividades responsables del cambio climático han agravado esta problemática dado que existe un constante aumento de áreas sometidas a déficit hídrico y salinidad. En la Argentina se estima que el 20% del territorio (60 millones de hectáreas) sufre erosión hídrica o eólica y que cada año 650.000 nuevas hectáreas pasan a esa situación (SAyDS, www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=6300). A nivel mundial, el 24% del suelo se está degradando y alrededor de 1.500 millones de personas dependen directamente de estas áreas. Cerca del 20% de los suelos degradados son tierras de cultivo y un 25% pastizales (ONU, www.un.org/es/events/desertification_decade/).

Resulta extremadamente necesaria la reducción de las pérdidas en el rendimiento de los cultivos por estrés ambiental para hacer frente al creciente aumento de las necesidades alimentarias de una población mundial que se estima alcanzará los 9 mil millones de habitantes a mediados de este siglo. Los esfuerzos por satisfacer las demandas de la población en aumento han empujado el cultivo a suelos marginales, donde existe un mayor grado y frecuencia de estrés ambiental.

En este contexto, el desarrollo de nuevos cultivares tolerantes es crucial para mejorar la estabilidad del rendimiento bajo condiciones de estrés ambiental y así garantizar la seguridad alimentaria.

■ ESTRESSES SECUNDARIOS

Si bien cada tipo de estrés abiótico tiene características propias, virtualmente todos derivan siempre en estrés osmótico y estrés oxidativo. Estos dos actúan como estreses secundarios y resultan ser los principales responsables del daño celular y de las inactivaciones bioquímicas.

El estrés osmótico es un desequilibrio en la homeostasis osmótica intracelular que provoca la deshidratación de la célula por la mayor concentración de solutos fuera de ella.

El estrés oxidativo consiste en un aumento significativo de la producción de "especies reactivas del oxígeno" (ERO), y es una consecuencia de la inhibición de la fotosíntesis durante el estrés ambiental. Esto se debe a un desbalance de la fotosíntesis, ya que se reprime la fijación de CO₂ pero la planta sigue recibiendo luz. Como consecuencia la cadena de transporte de electrones se sobre-reduce y en estas condiciones es capaz de ceder electrones directamente al oxígeno molecular (O₂) dando

origen a las mencionadas EROs que incluyen el anión superóxido (O₂⁻), el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y el oxígeno singlete (¹O₂). Las EROs son muy inestables y tienden a reaccionar dentro de las células con proteínas, lípidos y el ADN ocasionando daño celular.

■ RESPUESTA AL ESTRÉS

A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado una serie de mecanismos de defensa contra los efectos nocivos del estrés ambiental y la deficiencia nutricional. A pesar de las diferencias entre cada estrés individual, todos ellos desencadenan una respuesta análoga constituida por una cascada de señales jerárquicas que participan en la percepción, transmisión de la información, regulación transcripcional y finalmente el combate de la situación hostil mediante cambios bioquímicos y fisiológicos. La respuesta al estrés comienza entonces cuando la planta lo percibe a nivel celular, para luego iniciar las rutas de señalización que terminan activando en el núcleo celular genes implicados en la expresión de los elementos finales de la cascada, los genes efectores (Figura 1). Las proteínas codificadas por los genes efectores son responsables de la defensa frente al estrés ambiental mediante diversos mecanismos, incluyendo compensación osmótica, eliminación de EROs, optimización de la captación de nutrientes escasos y reparación de componentes y estructuras celulares dañadas. Se trata de una respuesta multigénica, formada por una compleja red de reguladores interrelacionados y en consecuencia resulta difícil de manipular con fines agronómicos.

■ PERCEPCIÓN DEL ESTRÉS

En primer lugar, las plantas deben ser capaces de detectar las se-

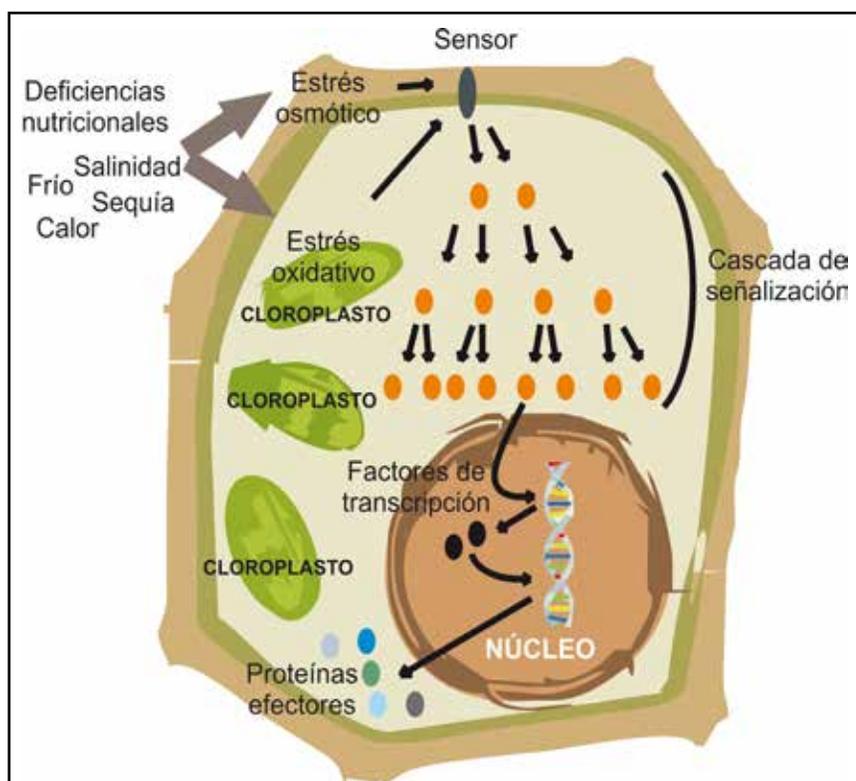


Figura 1: Esquema de las etapas que constituyen la defensa de la célula vegetal frente al estrés ambiental.

ñales ambientales para poder responder de forma adecuada al estrés. La manera en que la planta percibe que el ambiente es hostil constituye la etapa menos conocida de la respuesta a estrés, pero hay algunos sistemas estudiados como la detección de bajas temperaturas por cambios en la fluidez de membrana, de altas temperaturas por desnaturalización de proteínas sensoras, o la detección de EROs por cambios en los estados redox de proteínas sensoras. Hemos mencionado que los estreses osmótico y oxidativo acompañan virtualmente a todos los tipos de estrés ambiental y son los principales responsables del daño celular. Sin embargo, su comportamiento es dual ya que también actúan disparando la respuesta al estrés.

■ TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

Después del reconocimiento inicial de un estímulo de estrés, se in-

duce un proceso de transmisión de la señal desde el receptor del estrés al núcleo celular mediante reacciones químicas en las que participan distintas proteínas de forma ordenada. Una forma de transmitir la señal son las cascadas de quinasas. Consisten en la fosforilación (transferencia de grupos fosfato desde el ATP) a una proteína blanco por parte de un tipo de enzima denominada quinasa. El proceso de fosforilación se repite en la ruta de señalización de manera tal que la proteína blanco es a su vez una quinasa que va a transferir a su vez el grupo fosfato a otra proteína quinasa y así sucesivamente. De esta manera, la señal es amplificada varios órdenes de magnitud a partir de un pequeño número de moléculas inicialmente modificadas por el estrés.

Una vez que la señal llega al receptor final de la cascada se induce la expresión de genes cuyos produc-

tos son factores de transcripción que controlan conjuntos de genes efectores de respuesta a estrés o que actúan en la producción de moléculas reguladoras tales como la hormona vegetal ácido abscísico (ABA) que es una de las moléculas señal de la respuesta a la sequía. Los factores de transcripción son proteínas que reconocen e interactúan con elementos de regulación transcripcional que son secuencias específicas de ADN en las regiones promotoras de los genes regulados.

Finalmente, en el núcleo de la célula vegetal un grupo específico de factores de transcripción provoca la activación de los genes efectores para la defensa frente al estrés ambiental.

La cascada de señales se va diversificando a medida que se mueve corriente abajo, de pocos sensores se disparan varias cadenas de transducción de señales que a su vez activan un cierto número de factores de transcripción y a su vez estos activan un mayor número de genes efectores, que son en última instancia los responsables de la respuesta.

■ PROTEÍNAS EFECTORAS

Estas cascadas terminan finalmente activando genes efectores cuyos productos están implicados en el restablecimiento de la homeostasis celular y la protección y reparación de biomoléculas y membranas dañadas.

Éstos incluyen los genes para la síntesis de sustancias denominadas osmolitos o solutos compatibles que mitigan los efectos deletéreos del estrés osmótico, es decir, actúan como osmoprotectores porque retienen el agua dentro de la célula y evitan que drene al apoplasto. Se trata de amino ácidos como prolina, aminos como glicina-betaína y poliaminas,

azúcares como trehalosa y azúcares alcoholes como manitol.

Otros genes efectores son aquellos que controlan la producción de antioxidantes para eliminar las EROs generadas por estrés oxidativo. Los antioxidantes pueden ser de tipo enzimático y no enzimático. Entre las enzimas que eliminan EROs se encuentran catalasas, peroxidasas y superóxido dismutasas. Los antioxidantes no enzimáticos son compuestos orgánicos de bajo peso molecular como carotenoides, glutatión, la vitamina C (ascorbato) y la vitamina E (tocoferol), que son capaces de reaccionar químicamente con las EROs dando productos relativamente estables y no tóxicos.

Para protegerse contra la desnaturalización de proteínas, que las situaciones adversas pueden causar, se expresan genes efectores que codifican para proteínas denominadas chaperones moleculares que favorecen el adecuado plegamiento y ensamblado de enzimas y otras proteínas. Entre los chaperones moleculares se encuentran las proteínas HSP (Heat Shock Proteins) y las proteínas LEA (late-embryogenesis abundant).

También las membranas son protegidas. Por ejemplo, ante bajas temperaturas aumenta la síntesis de desaturasas lipídicas para incrementar el grado de insaturación de los ácidos grasos y así evitar que la bicapa lipídica se solidifique.

■ REFORZAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DEFENSA ENDÓGENOS

La estrategia aplicada para el mejoramiento de la tolerancia a condiciones ambientales adversas en cultivos se ha basado mayoritariamente en la manipulación de genes endógenos de respuesta a estrés, de tal manera de lograr su expresión por encima de lo que es la respuesta normal de la planta al estrés. La

premisa básica consiste en identificar qué genes se inducen durante distintas situaciones ambientales deletéreas, qué roles cumplen sus productos y finalmente determinar si es un punto de intervención correcto, es decir, determinar si aumenta la tolerancia al sobreexpresarlo. Los logros obtenidos usando este enfoque no han sido muchos ya que se trata de una respuesta modulada por múltiples genes regulados entre sí y con otras vías y, en consecuencia, difícil de predecir y manipular.

Si bien cada tipo de estrés (sequía, calor, heladas, salinidad) dispara una respuesta única, ésta posee algunos elementos comunes e idiosincráticos respecto a otros tipos de estrés y respecto a otras vías metabólicas y morfogenéticas de la planta. Entonces el problema es identificar genes cuya sobreexpresión brinde una mejor respuesta a sequía pero sin afectar el desarrollo y crecimiento de la planta bajo condiciones ambientales óptimas y, de ser posible, aumentando también la tolerancia a otros estreses ya que las plantas en el campo están expuestas generalmente a varias fuentes de estrés en forma simultánea.

La interacción entre las diferentes vías de respuesta a los distintos estreses puede resultar sinérgica, antagónica o concertada. Por ejemplo, la sequía produce un cierre estomático para evitar la pérdida de agua pero el calor produce una apertura de los estomas para favorecer la transpiración y así disminuir la temperatura de la célula. Sin embargo la sequía y el calor se presentan muchas veces juntos en la naturaleza. Esta es una de las razones por las cuales muchos genes identificados como "genes de tolerancia a estrés" han tenido un uso limitado, ya que su sobreexpresión sólo confiere tolerancia en un estrecho rango de condiciones de estrés que en su mayoría no son relevantes en el campo.

Entonces, la superposición entre las cascadas de decisiones inducidas por diferentes fuentes de estrés limita el número de intervenciones útiles y en muchas oportunidades requiere una regulación sofisticada del transgén. Pero, a su vez, este hecho abre posibilidades de obtener tolerancia cruzada a diferentes tipos de estrés mediante una única intervención transgénica.

Como la cascada de señalización se va diversificando corriente abajo, cuanto más arriba de la cascada de respuestas se ubica el gen manipulado genéticamente, es más probable conseguir mayor tolerancia e incluso conseguir tolerancia cruzada. Entonces se ha trabajado mucho con factores de transcripción, ya que al operar en un nivel alto de la jerarquía de la cascada de señalización resultan ser elementos comunes a distintos estreses. Por el contrario, al sobreexpresar genes corriente abajo se obtienen generalmente respuestas específicas. Por ejemplo, al sobreexpresar determinada HSP se puede generar tolerancia a calor pero no a frío ni a sequía.

El problema es que la sobreexpresión del gen de un determinado factor de transcripción u otra proteína en forma constitutiva también puede afectar otras decisiones metabólicas y morfogenéticas en condiciones de ausencia de estrés y por lo tanto es común que las plantas presenten retardos en el crecimiento bajo condiciones óptimas. No sólo es fundamental conocer si determinado gen aumenta su expresión bajo estrés y en qué grado lo hace, sino también la escala de tiempo en que este aumento ocurre y en qué momento desaparece esa inducción del gen. Por lo tanto, la sobreexpresión constitutiva del mismo altera este mecanismo y genera efectos sobre el crecimiento normal de la planta.

Una forma de evitar este incon-

veniente es utilizar promotores inducibles por estrés en lugar de constitutivos, de manera tal que el gen se sobreexpresa solamente en presencia del estrés, por ejemplo sequía, y así se obtenga una mayor tolerancia sin afectar el desarrollo de la planta bajo condiciones de crecimiento normales. Sin embargo, en la práctica existen muchas complicaciones ya que es difícil lograr un nivel de sobreexpresión del factor de transcripción tal que se obtenga un compromiso óptimo entre la tolerancia al estrés y el metabolismo central para el crecimiento y la reproducción. Por otro lado, es imposible obtener tolerancia generalizada. El uso de un promotor inducible por sequía hace que el factor de transcripción sólo se sobreexpresa en respuesta a ese estrés y no obtenemos tolerancia cruzada, a pesar de que el factor de transcripción se sintetice también frente a otros estreses por su promotor endógeno. Esto podría resolverse apilando en la región promotora varias secuencias de reconocimiento, cada una de las cuales responda a un estrés distinto, pero la manipulación génica se va complicando y las consecuencias no siempre resultan predecibles.

En consecuencia, uno de los mayores desafíos es el diseño de plantas transgénicas con mayor tolerancia a una combinación de diversos tipos de estrés, sobre todo a aquellos que se dan en forma simultánea en determinadas regiones. Para lograr esto se necesita un mayor conocimiento sobre la forma en que las diferentes vías de transducción de señales interactúan entre ellas. Se ha sugerido que el desarrollo de tolerancia generalizada a estreses combinados podría necesitar una respuesta única que no puede preverse solamente por la adición de genes inducidos durante cada estrés individual.

■ LAS ESTRATEGIAS SUSTITUTIVAS DE RESPUESTA A ESTRÉS EN MICROORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS

Las cianobacterias, que son los precursores de los modernos cloroplastos, y las algas, muchas de las cuales son "parientes" de las plantas actuales, también se encuentran sometidos a condiciones hostiles pero apelan a estrategias basadas en la sustitución de proteínas sensibles al estrés por otras resistentes, lo cual les permite respuestas rápidas acorde a su corto ciclo de vida. Es decir, en lugar de respuestas complejas y multigénicas, han desarrollado estrategias de tipo substitutivas y unigénicas.

Un ejemplo notable es el reemplazo de ferredoxina (Fd), una ferro-sulfuro proteína particularmente susceptible a los desafíos ambientales, por una flavoproteína isofuncional, flavodoxina (Fld), en condiciones de estrés oxidativo, salinidad y deficiencia de hierro. Fld sustituye funcionalmente a Fd en virtualmente todas sus reacciones, aunque con menor eficiencia. En aquellos microorganismos donde están presentes los genes para ambas variantes isofuncionales, Fd es el transportador preferido, mientras que Fld actúa como sustituto en situaciones de emergencia.

El gen que codifica para Fld ha desaparecido del genoma vegetal durante la larga evolución que llevó a las plantas superiores, a pesar de que también en plantas Fd cae abruptamente ante situaciones de estrés incluyendo sequía o deficiencia de hierro. La declinación de los niveles de Fd resulta desastroso para el metabolismo de la célula vegetal ya que esta proteína es un componente clave de la fotosíntesis, responsable de la distribución de electrones desde la cadena de transporte electrónico a numerosas vías meta-

bólicas del cloroplasto, incluyendo la fijación de CO₂, la asimilación de nitrógeno y azufre, el metabolismo de aminoácidos y la desaturación de ácidos grasos. También participa en procesos regulatorios, disipativos y morfogenéticos. El descenso de la concentración celular de Fd en plantas expuestas a condiciones ambientales hostiles produce una distribución electrónica deficiente en la cadena fotosintética que causa la acumulación de EROs, generando el daño en células y tejidos.

El aumento del nivel de Fd en plantas resulta virtualmente imposible ya que su expresión está sujeta a un control redox post-transcripcional. Resolver esto no es problema simple y tal vez por eso los microorganismos tienen un método alternativo para paliar las situaciones de estrés ambiental, incluyendo la deficiencia de Fe.

Nuestro grupo ha demostrado que la expresión constitutiva de una Fld cianobacteriana en cloroplastos de tabaco no tiene consecuencias fenotípicas bajo condiciones óptimas pero genera un aumento sustancial de la tolerancia a un amplio rango de condiciones de estrés, incluyendo sequía, deficiencia de hierro, oxidantes cíclicos, heladas, radiación UV, exceso de iluminación y altas temperaturas. En la figura 2 se observa bajo sequía una pérdida de turgencia en líneas no transformadas, pero no en las líneas transgénicas que expresan Fld en cloroplastos. La figura 3 muestra un experimento en el cual las plantas fueron regadas con agua dura y alcalina (CaCO₃) para inducir condiciones de deficiencia de hierro que resultan fatales en las plantas no transformadas pero tolerables en las plantas transgénicas. La solubilidad del hierro disminuye en forma drástica con el aumento del pH. Por lo tanto el problema con el hierro en

los suelos no es de escasez, de hecho es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, sino de biodisponibilidad, y un tercio de la superficie terrestre está cubierto con

suelos alcalinos y calcáreos, que limitan el desarrollo de la agricultura.

Cuando esta tecnología fue trasladada a cultivos de interés agronó-

mico como maíz, cebada, colza, tomate y papa se obtuvieron niveles similares de tolerancia (Figura 4).

Luego de demostrar el potencial de esta tecnología, nuestro grupo se ha enfocado a investigar la forma de actuar de Fld en la planta. El diseño de líneas transgénicas con regulación negativa de la expresión de Fd mediante un ARN antisentido resulta en plantas con fenotipos cloróticos y enanos. La expresión de la Fld cianobacteriana en cloroplastos de esas líneas generó la recuperación parcial del arresto en el crecimiento y en los niveles de clorofila, lo que indica que el desarrollo del estrés tolerante se basa, por lo menos parcialmente, en la sustitución de las actividades de la Fd endógena, como ocurre en microorganismos.

Todos estos resultados sugieren que las estrategias sustitutivas, presentes en microorganismos, siguen siendo efectivas en plantas a pesar de haber desaparecido en algún punto de la evolución de estas últimas.

Se encontraron además maneras de potenciar el efecto de Fld para mejorar aún más la tolerancia a estrés, por ejemplo mediante la determinación de la dosis óptima de Fld o mediante la manipulación de su estado redox por la expresión de otra proteína cianobacteriana.

■ ¿POR QUÉ EL GEN DE FLAVODOXINA ESTÁ AUSENTE EN PLANTAS?

Estos resultados muestran que las funciones compensatorias de Fld siguen siendo todavía operativas en plantas a pesar de la divergencia evolutiva entre cianobacterias y plantas. Surge entonces la pregunta de por qué una característica genética que confiere ventajas tan obvias para la supervivencia no fue selec-

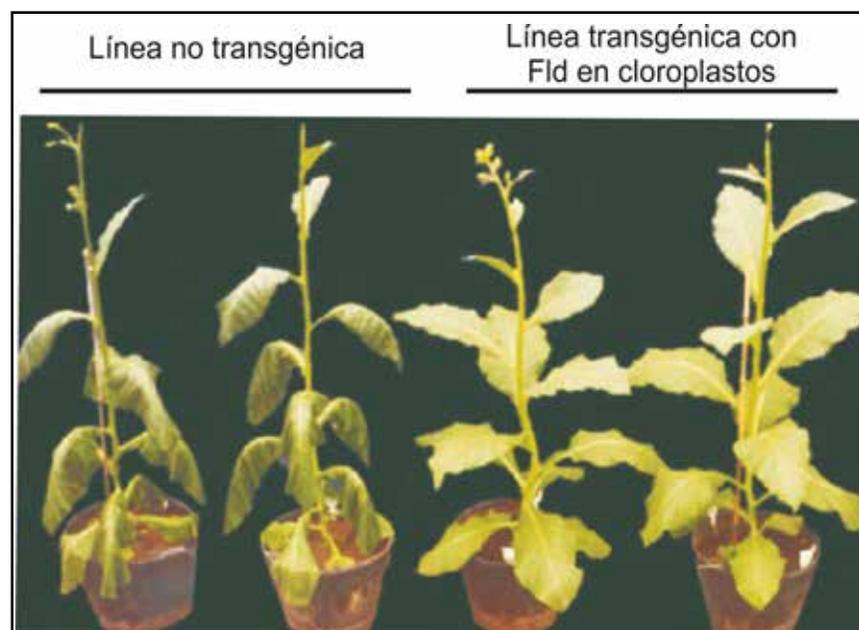


Figura 2: Plantas transgénicas de tabaco que expresan una Fld cianobacteriana en cloroplastos exhiben mayor tolerancia a estrés hídrico. Plantas de 2 meses crecidas en condiciones de cámara de cultivo fueron enfrentadas a condiciones de déficit hídrico por suspensión del riego durante 3 días (Fuente: Tognetti y col., 2006).

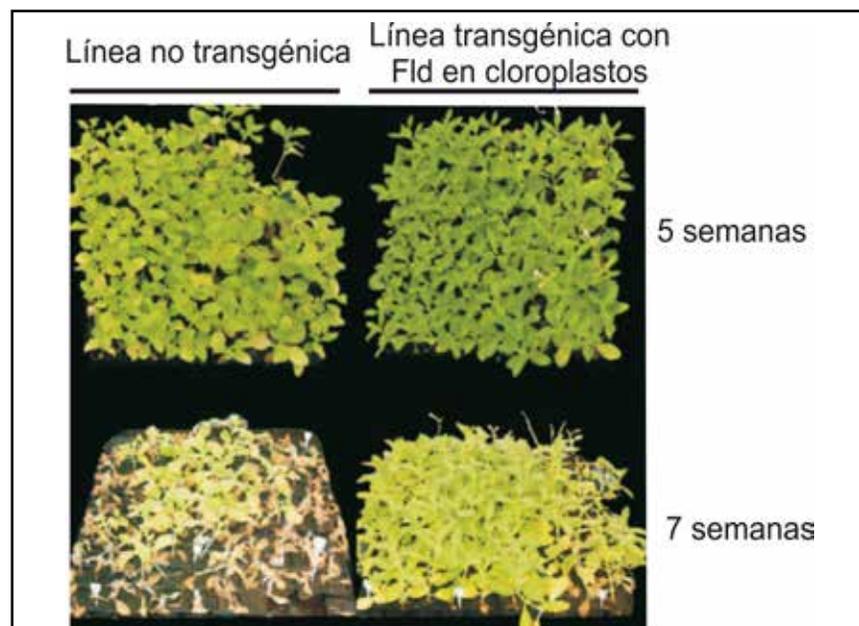


Figura 3: Plantas transgénicas de tabaco que expresan una Fld cianobacteriana en cloroplastos exhiben mayor tolerancia a deficiencia de hierro. Lotes de 100 semillas fueron germinados y crecidos en tierra regada diariamente con 10 mM CaCO_3 , pH 9. Las imágenes fueron tomadas a 5 (arriba) y 7 (abajo) semanas de tratamiento (Fuente: Tognetti y col., 2007).

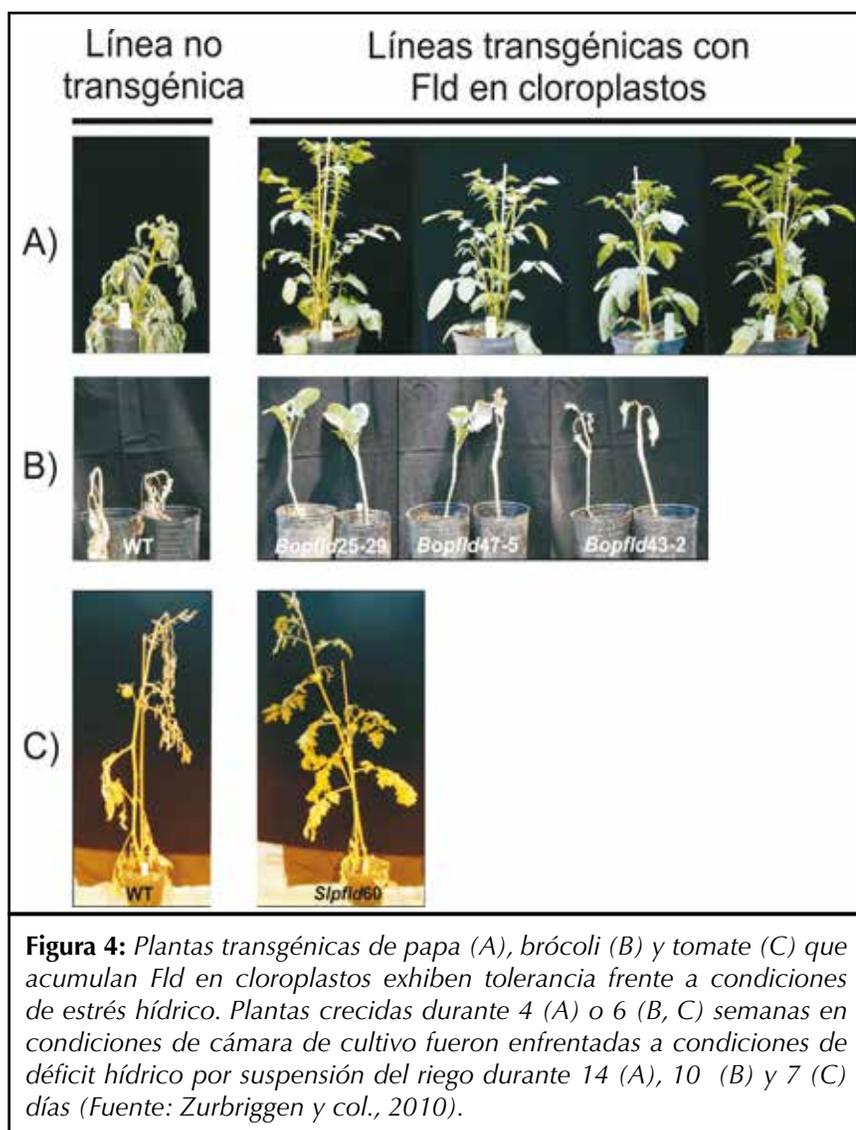


Figura 4: Plantas transgénicas de papa (A), brócoli (B) y tomate (C) que acumulan Fld en cloroplastos exhiben tolerancia frente a condiciones de estrés hídrico. Plantas crecidas durante 4 (A) o 6 (B, C) semanas en condiciones de cámara de cultivo fueron enfrentadas a condiciones de déficit hídrico por suspensión del riego durante 14 (A), 10 (B) y 7 (C) días (Fuente: Zurbriggen y col., 2010).

cionada durante la evolución de las plantas terrestres.

El gen que codifica para Fld no está universalmente distribuido en cianobacterias y algas aunque se encuentra presente en la mayoría de los grupos taxonómicos de ambos organismos.

Las algas son un grupo parafilético de organismos fotosintéticos eucariotas dentro del cual se encuentran los linajes hermanos a las plantas. Al analizar la distribución del gen de Fld entre las distintas especies de algas, se observó una fuerte correlación negativa entre la presencia del gen y el nivel de hie-

rrero del ambiente, sugiriendo que la limitación de hierro fue el factor determinante de la presencia del gen de Fld en el genoma de las algas. Este mismo patrón se observó en cianobacterias. El hierro se encuentra normalmente en altas concentraciones en regiones costeras y en agua dulce, debido a la resuspensión de sedimentos y al transporte eólico de polvo atmosférico desde tierra firme. Por el contrario, este metal tiende a ser crónicamente deficiente en el océano abierto. La frecuencia observada de algas con el gen de Fld es considerablemente menor en costas y agua dulce que en regiones oceánicas, inclusive en especies muy cercanas filogenéticamente.

Estos resultados sugerirían que el gen de Fld se perdió durante la transición evolutiva agua-tierra, desde algas verdes a plantas, cuando el linaje de algas verdes pasó por una etapa en las regiones costeras o de agua dulce en el que no se requería Fld como recurso adaptativo ya que el hierro era abundante y biodisponible para los organismos fotosintéticos. Por lo tanto el gen de Fld habría estado ausente en el macroalga costera a partir de la cual las plantas modernas evolucionaron.

■ **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

El uso del gen de Fld para generar cultivos tolerantes a estrés tiene un significativo potencial biotecnológico y presenta ventajas únicas respecto a las estrategias más usuales de la ingeniería genética basadas en la sobreexpresión de genes endógenos. La introducción de un único gen permite la obtención de tolerancia a múltiples tipos de estrés, su origen procarionota impide complicaciones regulatorias en la planta, es decir, evita el mecanismo de regulación redox que determina la caída de los niveles de Fd y además no muestra penalidades en el desarrollo o en la reproducción bajo condiciones de crecimiento normales.

Por otro lado este enfoque no se limita en principio a flavodoxina, ya que existen otros productos génicos cianobacterianos que participan en respuestas adaptativas factibles de ser introducidos en plantas.

■ **GLOSARIO**

Algas: Son los únicos organismos eucariotes, además de las plantas, que realizan fotosíntesis. Es un grupo muy diverso, desde organismos unicelulares a multicelulares, algunos de los cuales son “parientes”

de las plantas (algas verdes, rojas y glaucofitas).

Cianobacterias: Único grupo de bacterias con la capacidad de realizar fotosíntesis oxigénica. Los ancestros de las cianobacterias modernas dieron lugar a los cloroplastos de las plantas y las algas por un proceso denominado endosimbiosis.

Estrés ambiental (abiótico): Situación en que las condiciones ambientales adversas superan la defensa y los mecanismos adaptativos de la planta, resultando en retrasos de crecimiento, menor producción de semillas y, eventualmente, la muerte. Los factores que lo desencadenan pueden ser temperaturas extremas (heladas y calor), deficiencias o exceso de agua o nutrientes, salinidad, alta intensidad de luz, radiación ultravioleta, metales pesados, xenobióticos.

Factor de transcripción: Proteína que se une a secuencias específicas de ADN para controlar la activación de determinados genes.

Promotor: Región de ADN localizada inmediatamente corriente arriba del gen, que regula la expresión del mismo. Los promotores constitutivos están siempre activos, mientras que los promotores inducibles se activan en respuesta a estímulos específicos.

Transgénicos: Organismo cuyo material genético ha sido alterado mediante técnicas de ingeniería genética.

■ BIBLIOGRAFÍA

Blanco, N. E., Ceccoli, R. D., Segretin, M. E., Poli, H. O., Voss, I., Melzer, M., Bravo-Almonacid, F.F., Scheibe, R., Hajirezaei, M.R., Carrillo, N. (2011) Cyanobacterial flavodoxin complements ferredoxin deficiency in

knocked-down transgenic tobacco plants. *The Plant Journal*, 65: 922-935.

Ceccoli, R.D., Blanco, N.E., Segretin, M.E., Melzer, M., Hanke, G.T., Scheibe, R., Hajirezaei, M.R., Bravo-Almonacid, F.F., Carrillo, N. (2012) Flavodoxin displays dose-dependent effects on photosynthesis and stress tolerance when expressed in transgenic tobacco plants. *Planta*, 236: 1447-1458.

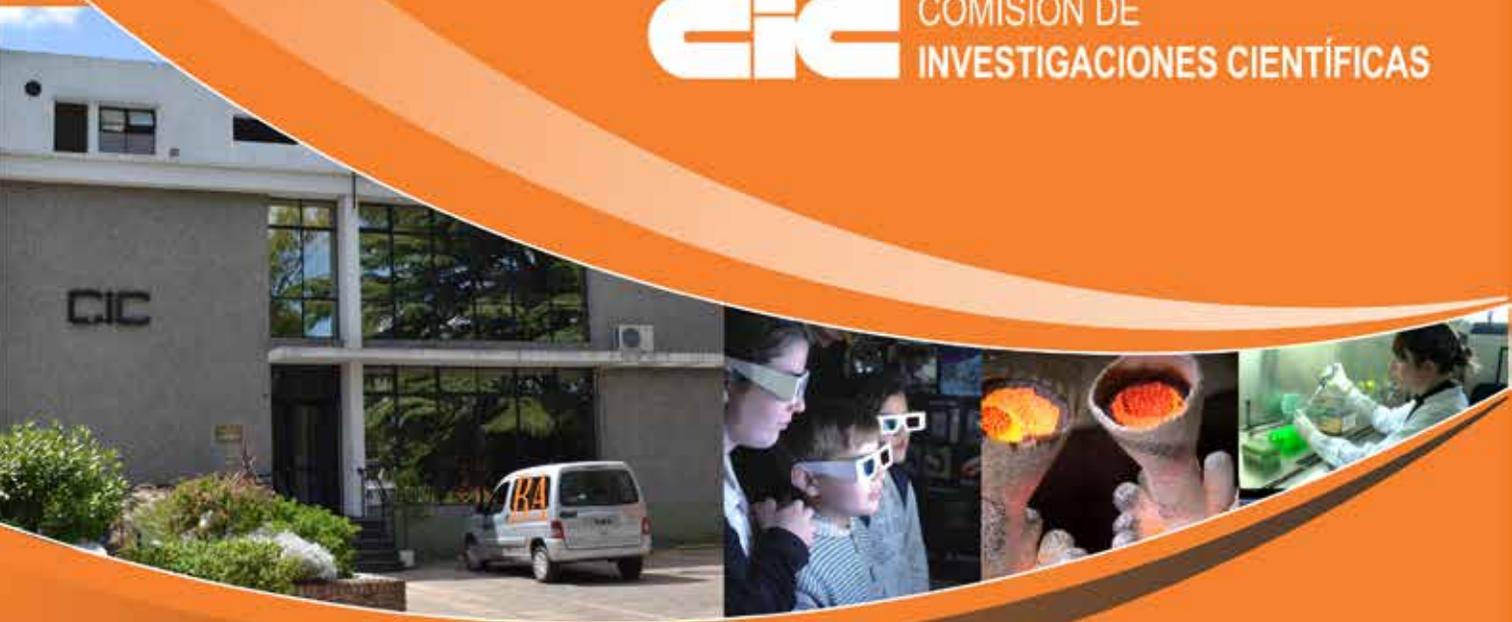
Lodeyro, A. F., Ceccoli, R. D., Piarella Karlusich, J. J., Carrillo, N. (2012). The importance of flavodoxin for environmental stress tolerance in photosynthetic microorganisms and transgenic plants. Mechanism, evolution and biotechnological potential. *FEBS letters*, 586: 2917-2924.

Tognetti, V. B., Palatnik, J. F., Fillat, M. F., Melzer, M., Hajirezaei, M. R., Valle, E. M., Carrillo, N. (2006). Functional replacement of ferredoxin by a cyanobacterial flavodoxin in tobacco confers broad-range stress tolerance. *The Plant Cell*, 18: 2035-2050.

Tognetti, V. B., Zurbriggen, M. D., Morandi, E. N., Fillat, M. F., Valle, E. M., Hajirezaei, M. R., Carrillo, N. (2007). Enhanced plant tolerance to iron starvation by functional substitution of chloroplast ferredoxin with a bacterial flavodoxin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 11495-11500.

Zurbriggen, M. D., Tognetti, V. B., Fillat, M. F., Hajirezaei, M. R., Valle, E. M., Carrillo, N. (2008). Combating stress with flavodoxin: a promising route for crop improvement. *Trends in biotechnology*, 26: 531-537.

Zurbriggen, M. D., Hajirezaei, M. R., Carrillo, N. (2010). Engineering the future. Development of transgenic plants with enhanced tolerance to adverse environments. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 27: 33-56.



Ciencia Tecnología Innovación

**34 CENTROS DE INVESTIGACIÓN PROPIOS, ASOCIADOS,
VINCULADOS O EN RED**

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

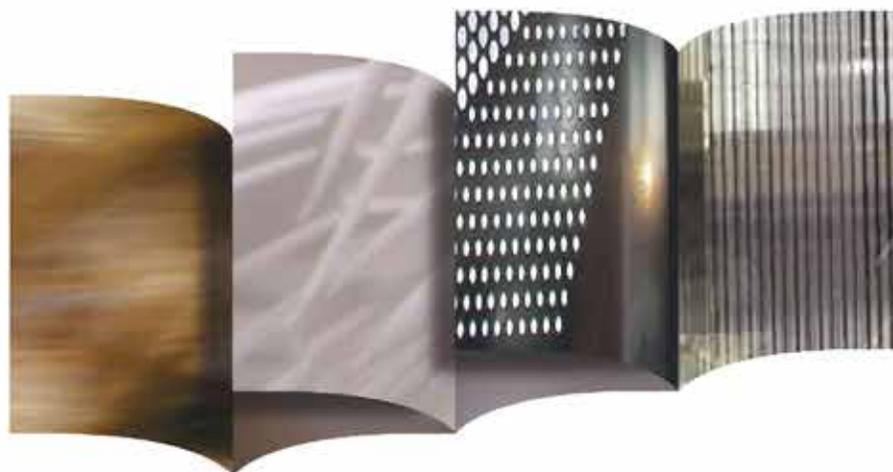
- CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO**
- CARRERA DEL PERSONAL DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**
- PROGRAMA DE BECAS**
 - Becas de entrenamiento para alumnos universitarios
 - Becas de estudio
 - Becas de perfeccionamiento
- SUBSIDIOS**
 - Para la Realización de Reuniones Científicas y Tecnológicas y Asistencia a Reuniones
 - Para Publicaciones Científicas y Tecnológicas
 - Para Proyectos de Investigación de Interés Provincial

**INNOVACIÓN, TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y CULTURA
EMPREDEDORA**

- PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA**
- PROGRAMA EMPRECIC**
- CRÉDITO FISCAL**
- PROGRAMA DE FORMACIÓN DE FORMADORES EN
EMPREDEDORISMO**

 [comisioendeinvestigaciones.
cientificas](https://www.facebook.com/comisioendeinvestigaciones.cientificas)

www.cic.gba.gov.ar



Desarrollo y gestión de proyectos científicos y tecnológicos innovadores

FUNINTEC es una organización sin fines de lucro creada por la Universidad de San Martín cuyo objetivo es promover y alentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimientos a los sectores público y privado, sus empresas y en particular a las PyMES.

Dentro de los alcances previstos por la Ley de Innovación Tecnológica, funciona como vínculo entre el sistema científico tecnológico y el sector productivo.

CONTACTO:
www.funintec.org.ar

Fundación
Innovación
y Tecnología

FUNINTEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN



LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA EN ARGENTINA: PROBLEMÁTICAS Y DESAFÍOS

Palabras clave: : biodiversidad acuática, desafíos, Argentina.
Key words: aquatic biodiversity, challenges, Argentina.

La República Argentina posee gran variedad de ecosistemas acuáticos continentales y marinos lo que conlleva a una importante riqueza de especies acuáticas. Sin embargo, en las últimas décadas los ecosistemas acuáticos y la biota asociada a los mismos han sido impactados por diversas problemáticas como la contaminación, la sobreexplotación de especies, la presencia de especies invasoras, la alteración en los corredores de desplazamiento de la biota acuática y los cambios asociados a la variabilidad climática, entre otras. Estas problemáticas influyen sobre las interrelaciones tróficas de los ecosistemas, la pérdida de hábitats, los cambios en la calidad del agua y los usos y servicios ecológicos que brindan estos ambientes a las poblaciones locales. En este trabajo se presentan algunos ejemplos de las problemáticas que afectan la biodiversidad acuática en Argentina en las últimas décadas, se analizan los nuevos desafíos que se presentan en esta temática y se proponen líneas de acción tendientes a realizar un manejo sustentable de la biodiversidad acuática.

■ Alejandra V. Volpedo

Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-CONICET-UBA).
Centro de Estudios Transdisciplinarios del AGUA (CETA-UBA).
Facultad de Ciencias Veterinarias. Av. Chorroarín 280- CP (1427). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

avolpedo@fvvet.uba.ar / avolpedo@gmail.com

Argentina has a wide variety of continental and marine aquatic ecosystems and a high aquatic biodiversity. However, in recent decades aquatic ecosystems and biota associated with them, have been influenced by several problems such as pollution, overfishing, invasive species, alteration in the ecological corridors of aquatic biota and changes associated with climate variability, among others. These issues influence trophic relationships of ecosystems, habitat loss, changes in water quality and uses of ecological services that provide these environments to the local populations. This paper presents some examples of the problems that affect aquatic biodiversity in Argentina; new challenges on this subject are analyzed and lines of action aiming at sustainable management of aquatic biodiversity are proposed.

■ INTRODUCCIÓN

La República Argentina posee 15 ecorregiones que representan la diversidad de paisajes y ambientes del país. Estas ecorregiones incluyen los Altos Andes, la Puna, el Chaco Seco y el Húmedo, la Selva Paranaense, los campos y malezales, el Monte de Sierras y Bolsones, los Esteros del Iberá, el monte de Llanos y mesetas, el Espinal, la Pampa, el Delta e Islas de los Ríos Paraná y Uruguay, los bosques patagónicos, la estepa patagónica y el Mar Argentino (Morello et al., 2012).

Las ecorregiones continentales poseen cuerpos de aguas lénticos y lóticos con características propias (parámetros físico-químicos y biológicos, profundidad, morfometría, entre otros) y una biota acuática específica. Esto último es producto de la adaptación, fisiología, morfología y comportamental de las comunidades biológicas a las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua, lo que deriva en la organización de ensamblajes de especies y redes tróficas particulares en las diferentes ecorregiones (Menni, 2004; Menni et al., 2005).

Los grupos de invertebrados y vertebrados acuáticos de los cuerpos de agua continentales y marinos de Argentina son diversos, estimándose por ejemplo que existen 580 especies de peces óseos y cartilagosos en aguas continentales y más de 450 especies de peces marinos (Balech y Erlich, 2008, Liotta, 2011).

Muchas de las especies acuáticas cumplen roles ecológicos importantes en el transporte de materia y energía entre ambientes terrestres y acuáticos y además, en

relación al hombre, algunos taxones son una importante fuente de proteína animal para consumo humano, por lo cual son de relevancia económica para la pesca comercial y deportiva. Sin embargo, en las últimas décadas los ecosistemas acuáticos y la biota asociada a los mismos, han sido afectados por diversas problemáticas como la contaminación, la sobreexplotación de especies, la presencia de especies invasoras, la alteración de corredores de desplazamiento (por modificación de caudales hídricos, fragmentación de hábitats, emplazamiento de obras ingenieriles), cambios en la oferta alimentaria y cambios en la variabilidad climática, entre otras. Estas problemáticas influyen sobre las interrelaciones tróficas de los ecosistemas, la pérdida de hábitats, los cambios en la calidad del agua y en los usos y servicios ecológicos que brindan estos ambientes a las poblaciones locales. La biodiversidad acuática es afectada por diversos factores, tanto de origen antrópico como naturales, los cuales influyen en la riqueza de especies de una región, su biomasa, su condición fisiológica, las interrelaciones tróficas y su distribución. Si bien puede predominar un factor de impacto o presión sobre la biodiversidad acuática nativa, generalmente hay sinergias entre diferentes factores y/o presiones, potenciando en muchas ocasiones los efectos negativos sobre las especies y acelerando la reducción de la riqueza específica en una ecorregión.

En este trabajo se presentan algunos ejemplos de las principales problemáticas que afectan la biodiversidad acuática en Argentina en las últimas décadas, se analizan los nuevos desafíos que se presentan en esta temática y se proponen líneas de acción tendientes a realizar un manejo sustentable de la biodiversidad acuática.

■ CONTAMINACIÓN QUÍMICA DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Los cuerpos de agua del país poseen diferentes grados de deterioro por la presencia en algunos casos de compuestos orgánicos e inorgánicos en concentraciones superiores a los límites guía de protección a la biota acuática sugeridos a nivel nacional por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2006) o a nivel internacional (USEPA, 2000; CCME, 2002, ATSDR, 2007). Estos elementos algunas veces provienen de fuentes naturales como es el caso del Arsénico (As) y el Flúor (F) (Smedley y Kimmburg, 2002) o bien pueden provenir de efluentes domésticos, agropecuarios e industriales como es el caso de los nutrientes (fósforo y nitrógeno) y agroquímicos o bien por metales pesados como el plomo, mercurio, entre otros.

En el caso del As, las altas concentraciones de este elemento producen en los peces decoloración del tegumento, cambios histológicos en branquias e hígado, retardo en el crecimiento y baja eficiencia en la conversión alimenticia (Russell et al., 2010).

El flúor se encuentra comúnmente en los ecosistemas acuáticos como fluoruro (F⁻) y los altos niveles de este compuesto en agua dulce son perjudiciales para la biota acuática inhibiendo su crecimiento, produciendo cambios en el comportamiento, alteraciones enzimáticas, deformaciones óseas y retraso en la eclosión de los huevos fecundados (Camargo, 2003; Moren et al., 2007; Shi et al., 2008). En Argentina son escasos los trabajos asociados a estos elementos en relación a la biota acuática, nuestro grupo de investigación estudió la presencia de As y F en el agua de más de 40 sistemas

lóticos y lénticos de la provincia de Buenos Aires y la biotransferencia de los mismos a tejidos de peces comerciales (Schenone et al., 2007, Rosso et al., 2011, 2013). Los resultados obtenidos evidenciaron la existencia de dos grupos diferentes de cuencas hidrográficas en relación a las concentraciones de As y F: un grupo con concentraciones de As y F altas (0,124 a 0,198 mg L⁻¹ de As y 0,57 a 1,64 mg L⁻¹ de F) correspondientes al sudoeste bonaerense y otro grupo asociado a las cuencas del Río Salado y otros sistemas lóticos donde las concentraciones son menores (0,073 a 0,114 mg L⁻¹ de As y 0,22 a 0,75 mg L⁻¹ de F) (Figura 1).

Por ejemplo, en el cuerpo de agua más emblemático para la pesca del pejerrey en el sudoeste bonaerense, el Lago Chasicó, nuestro grupo de trabajo (Puntoriero et al., 2012; Volpedo et al., 2012; Volpedo y Fernández Cirelli, 2013) halló que el lago posee concentraciones de As y F importantes (As: 0,058 y 0,413 mg/L; F: 6,58 y 8,54 mg/L). En el caso del F, las concentraciones superaron en casi 4 veces el nivel guía nacional para protección de la biota acuática (1,4 mg/L), según la ley de residuos peligrosos. Estos valores estuvieron en coincidencia con las altas concentraciones de As y F determinadas en tejidos de peces (vértebras, hígado, gónadas, músculo, branquias) de este cuerpo de agua (Puntoriero et al., 2013).

Otros autores (Colombo et al., 2011; Mugni et al., 2010, 2011; Demetrio et al., 2011) hallaron altas concentraciones de compuestos orgánicos en cuerpos de agua bonaerenses y estudiaron la transferencia de los mismos a la biota acuática (invertebrados y peces) determinando altas concentraciones de estos productos con el potencial impacto sobre la cadena trófica.

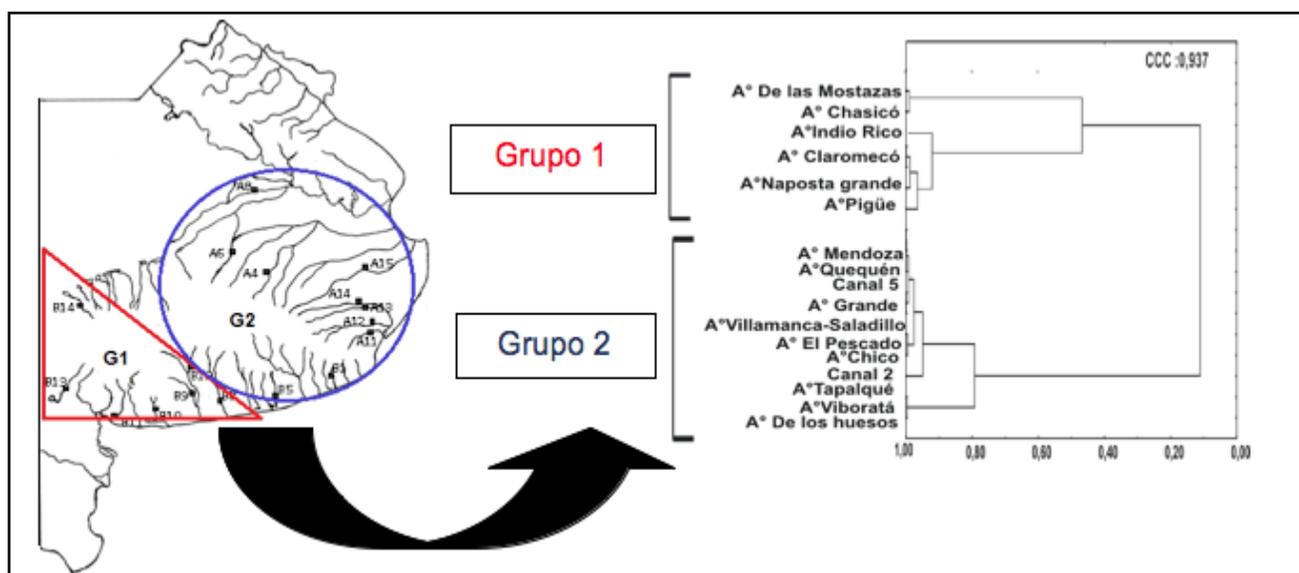


Figura 1: Agrupación de los ecosistemas acuáticos bonaerenses según las concentraciones de As y F halladas por Rosso et al. (2011). Grupo 1 (G1) estuvo conformado por el Ao las Mostazas, Ao Chasicó, Ao Indio Rico, Ao Claromecó, Ao Napostá Grande y Ao Pigüe; el grupo 2 (G2) estuvo integrado por Ao Mendoza, Ao Quequén, Canal 5, Ao Grande, Ao Villamanca-Saladillo, Ao El Pescado, Ao Chico, Canal 2, Ao Tapalqué, Ao Vioratá y Ao De los huesos.

■ SOBREENPLOTAÇÃO PESQUERA

La captura excesiva de individuos de una especie afecta no sólo a dicha especie sino también a otras especies sean o no comerciales, ya que muchas veces los estadios juveniles de especies comerciales integran en un porcentaje importante el descarte pesquero. Esto disminuye la biomasa de las especies que podrían ser potencialmente capturadas en el futuro y que en el presente ya no están disponibles, por lo que podría afectar a la sustentabilidad de la pesquería a mediano y largo plazo.

En Argentina las especies de peces más explotadas son el sábalo (*Prochilodus lineatus*) en los ambientes dulceacuícolas y la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en la zona costera marina y la merluza (*Merluccius hubbsi*)¹ en la plataforma marítima (Figura 2).

El ciclo de vida de estas especies está estrechamente vinculado con las condiciones ambientales (hidro-

metría, temperatura, salinidad etc.) de las masas de agua que habitan (Jaureguizar et al., 2006, Ortega, 2012).

En el caso del sábalo, cuyo ciclo de vida y éxito reproductivo están asociados al aumento del caudal de los grandes ríos mesopotámicos y a la dinámica de la llanura de inundación de los mismos, su captura se ha incrementado a fines de la década del 90 (Figura 3) con un máximo en 2004 de 36.000 toneladas. A fines de 2006, la aplicación de las medidas restrictivas en la exportación de este recurso conllevó a la disminución de la captura a 27.505 toneladas, lo que paulatinamente fue decreciendo hasta 2011 donde se registraron 14.027 t (Figura 3). Este recurso transfronterizo de la Cuenca del Plata es eje de un seguimiento exhaustivo por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca desde 2008. Los resultados de estos seguimientos ponen de manifiesto la importancia del caudal del río en la bioecología de la especie y la relevancia de las condiciones

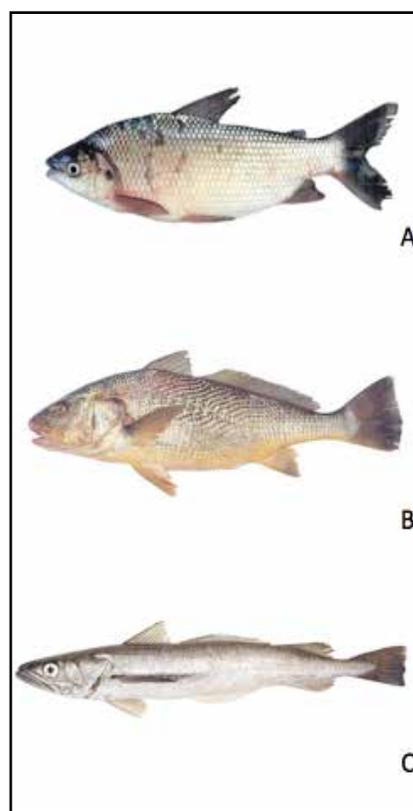


Figura 2: Especies comerciales más importantes de Argentina. a) sábalo (*Prochilodus lineatus*), b) corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), c) merluza (*Merluccius hubbsi*).

ambientales en el manejo pesquero. Por ejemplo en los años 1997 y 2010-2011 donde el caudal de los ríos mesopotámicos fue alto, los estadios juveniles de la especie fueron muy abundantes. Lo que permitió en los años subsiguientes tener una situación pesquera favorable con un aumento de la especie. Sin embargo en los años de bajos caudales como 2006-2008 la abundancia de los estadios iniciales o reclutas fue muy baja, repercutiendo esta situación en la pesquería de los años subsiguientes.

Es por ello que el manejo sustentable y el ordenamiento pesquero de este tipo de recurso, que bioecológicamente está tan estrechamente vinculado a las condiciones del ambiente es una prioridad, ya que si en los periodos desfavorables para la pesca se utiliza el mismo o mayor esfuerzo de captura que en los periodos favorables, se podrá producir la sobreexplotación del recurso y la recuperación de los stocks de la especie podría estar en riesgo.

En el ambiente marino existen evidencias de deterioro en las pes-

querías de Argentina. Por ejemplo Jaureguizar y Milesi (2008) y Milesi y Jaureguizar (2013) establecieron que la captura de especies de altos niveles tróficos disminuyó en el periodo 1989-2010 en relación al periodo anterior 1989-2003. Este proceso que ya ha sido identificado en otros mares con sobrepesca (Branch et al., 2010) y denota la presencia del proceso denominado "pesca hacia abajo en las tramas tróficas". Esto conjuntamente con el aumento de porcentaje de juveniles de las especies que integran el descarte pesquero afecta a las pesquerías.

Otros problemas están asociados a la identificación de los stocks pesqueros comerciales ya que al no estar en su mayoría identificados claramente, es difícil plantear una reorientación de las diferentes flotas pesqueras en las aéreas geográficas de pesca a fin de repartir el esfuerzo de captura y no concentrarlo en un área.

En años recientes nuestro grupo de trabajo ha logrado contribuir a conocer el desplazamiento de especies comerciales costeras y de la

Cuenca Baja del Plata (Avigliano y Volpedo, 2011, 2013, Rico et al., 2012, Avigliano et al., 2013) utilizando nuevas metodologías como la composición química de los otolitos (Volpedo y Fernández Cirelli, 2006, Volpedo et al., 2007).

■ ESPECIES INVASORAS

En Argentina la presencia de especies invasoras en los ambientes acuáticos se ha dado históricamente con la introducción de especies por el hombre con fines económicos (acuicultura), deportivos y recreativos y también por introducciones accidentales, asociadas al agua de balastro de embarcaciones o bien a especies incrustadas en los cascos de los buques, entre otras.

Las especies invasoras son difíciles de erradicar y generalmente se adaptan al nuevo ambiente, reproduciéndose con éxito y completando su ciclo de vida, pudiéndose dispersar en un nuevo rango geográfico (Penchazadeh, 2005). Esto lo logran gracias a que poseen diferentes características bioecológicas como: un ciclo de vida corto, un crecimiento

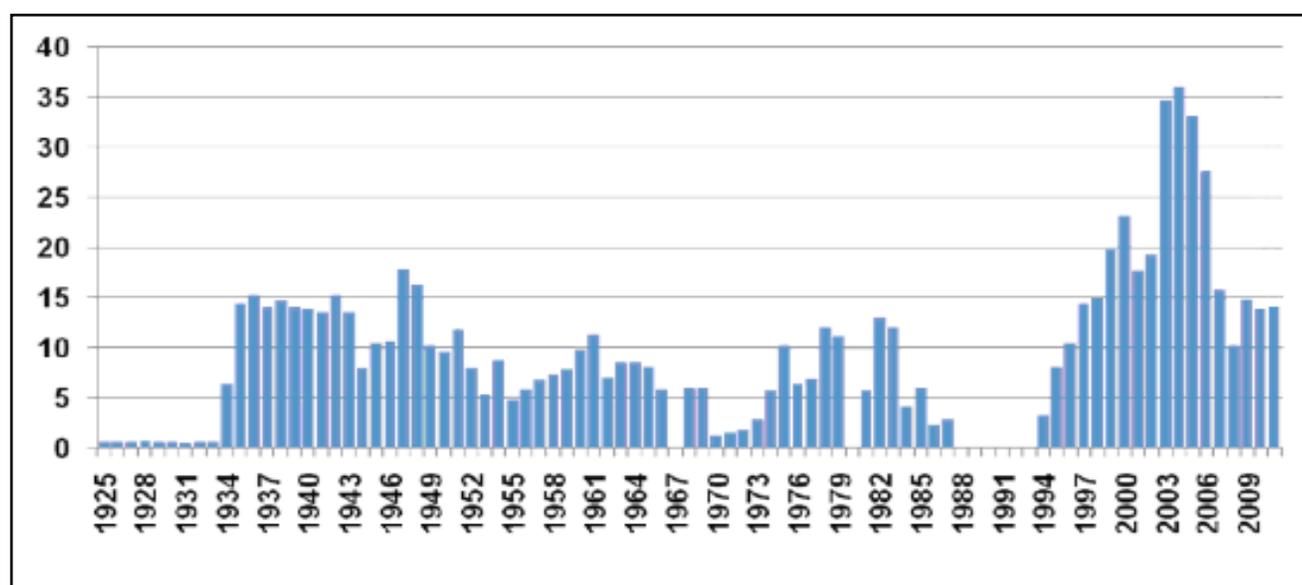


Figura 3: Capturas de sábalo en miles de toneladas entre 1925 y 2011, los datos a partir de 1994 corresponden solamente a las capturas para exportación. (Fuente: Dirección Nacional de Pesca Continental, SENASA y Administración Nacional de Aduanas).

rápido, madurez sexual rápida, alta fecundidad, ser euríocas (alta capacidad de colonizar habitats), ser euritópicas (alto rango de tolerancia fisiológica), ser gregarias, poseer alta variabilidad genética y plasticidad que les permiten aclimatarse rápidamente el nuevo ambiente (Pianka, 1970).

Los invertebrados invasores de los cuerpos de agua de Argentina son varias especies y han sido estudiados por diversos autores (Darrigran y Damborenea, 2005, Penchazadeh, 2005, Strayer, 2010). Estas especies de invertebrados son: el mejillón dorado (*Limnoperma fortunei*), la almeja de agua dulce (*Corbicula fluminea*), el poliqueto (*Ficopomantus enigmaticus*), el caracol (*Rapana venosa*), los dientes de perro o cirripedios (*Balanus* sp.) y la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigans*) entre otros.

El mejillón dorado es una especie invasora asiática, introducida accidentalmente incrustada en el casco de buques comerciales que llegaron al puerto de Buenos Aires. Se la detectó en 1991 en el Río de la Plata y cinco años después se la encuentra en países limítrofes (nacientes del Río Paraguay y Paraná, y en ríos de la República Oriental del Uruguay (Darrigran y Domborenea, 2005, Penchazadeh, 2005). Se calcula que el desplazamiento del mejillón dorado es de 240 a 290 km/año. Esta especie provoca cambios en la comunidad bentónica de macroinvertebrados nativos de la Cuenca del Plata (Darrigran, 2000, 2002). Además ocasiona pérdidas económicas importantes ya que invade tuberías de tomas de agua, filtros de sistemas refrigerantes de industrias, de plantas generadoras de energía y centrales nucleares (Boltoskoy et al., 2006).

En relación a los vertebrados

acuáticos introducidos, estos han sido traídos por el hombre con fines económicos (acuicultura) y luego se escaparon accidentalmente hacia cuerpos de agua próximos, o bien se los introdujo por su rol ecológico a fin de mejorar determinados ecosistemas acuáticos o por su interés deportivo. Desde principio de 1900 se introdujeron salmónidos (Pascual et al., 2002) en la ecorregión de los Andes Patagónicos con fines recreativos, los cuales producen diferentes interacciones y efectos sobre las comunidades locales (Aigo et al., 2008). Otras de las introducciones más emblemáticas de nuestro país son: la carpa (*Cyprinus carpio*), el sogyo (*Ctenophringodon idelles*), y el esturión (*Acipenser borelli*) (Figura 4).

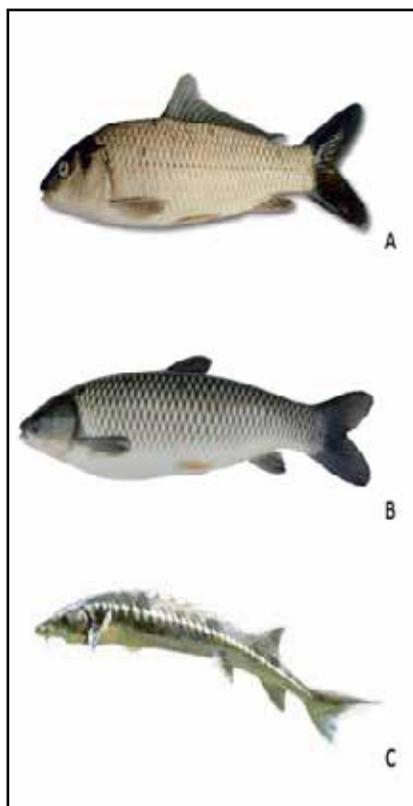


Figura 4: Peces introducidos con fines comerciales. A) carpa (*Cyprinus carpio*), B) sogyo (*Ctenophringodon idelles*), C) esturión (*Acipenser borelli*).

La carpa es de origen asiático y se introdujo con fines comerciales y deportivos en diferentes periodos del siglo XX en el Río de la Plata, en el Río Paraná (en Misiones), en la laguna San Roman (Bragado), el dique San Roque, Los molinos y Río Tercero (Córdoba), la Laguna Dulce y Urre Lauquen (La Pampa) y en el Río Uruguay (Barla e Ituarte, 1987) y además en otros ambientes lacustres y fluviales (Menni, 2004).

En las primeras décadas de 1900, se utilizaba a esta especie para poblar estanques públicos en plazas y parques por ejemplo en el Jardín Japonés y en el Parque Tres de Febrero de la Ciudad de Buenos Aires. En 1932 se la introdujo en los alrededores de la Ciudad de La Plata (Menni, 2005). En 1945 Mac Donagh registró su presencia en el Río de la Plata la cual se extendió hacia ambientes costeros marinos (Bahía Samborombón) y al Río Salado. Esta distribución extendida es producto de los amplios rangos de tolerancia que posee la especie (Barla e Iriart, 1987). Desde estos ambientes, en los distintos periodos de inundación la carpa colonizó diversos cuerpos de agua bonaerenses como la Laguna de Chascomús. Tradicionalmente se asocia a la carpa con los cambios en las comunidades de las lagunas pampásicas y a la disminución de la biomasa del pejerrey en las mismas, sin embargo en 2001, Colautti determina que la existencia de esta especie modifica el ambiente y es una gran competidora por lo que afecta indirectamente a las especies nativas. El área de distribución de la carpa desde su introducción hace 50 años se ha extendido en Sudamérica afectando también a los países límites como Uruguay.

El sogyo es un ciprínido de Asia oriental, fue introducido en Buenos Aires por la Dirección de Recursos

Pesqueros, aunque no prosperó (Aramburu, 1971). Esta especie es herbívora y se alimenta de plantas acuáticas como el camalote, la gambarussa y la cola de zorro por lo que se la introdujo con el fin de controlar macrófitas en cuerpos de agua eutroficados. En Mendoza se lo introdujo exitosamente para el control de las macrófitas en una planta de tratamiento de aguas servidas. El impacto de esta especie ha sido poco estudiado.

Una de las especies exóticas introducidas recientemente es el esturión, el cual procede del norte de Rusia y es criado para acuicultura en el Río Negro (Uruguay) (Azpelicueta y Almirón, 1999), de donde muy probablemente se ha escapado accidentalmente, ya que se lo ha registrado en la zona inferior del Río Uruguay (Gómez com. pers.) y las costas metropolitanas de la Ciudad de Buenos Aires (Volpedo com. pers.). Los ejemplares hallados por estos autores no superaron los 55 cm de longitud total y los mismos no estaban en estado reproductivo. Esta especie si se establece en el Río de la Plata y la zona inferior de la Cuenca del Plata puede causar potenciales problemas ambientales y afectar la composición de las comunidades, por lo que se debiera estimar la cantidad de especímenes presentes, su condición biológica y las áreas de distribución ya que es una problemática que requiere el inicio de monitoreos y estudios sistemáticos sobre su bioecología en los cuerpos de agua de la región.

■ ALTERACIONES EN LOS CORREDORES DE DESPLAZAMIENTO DE LA BIOTA ACUÁTICA

La biota marina y dulceacuícola generalmente utiliza, en los diferentes estadios de su ciclo de vida, diversos ambientes y microambientes a fin de suplir las distintas nece-

sidades de alimentación, refugio y reproducción de la especie. Muchas veces estos ambientes y microambientes están separados espacialmente por lo que los peces deben desplazarse entre ellos. Dichos desplazamientos pueden tener diferentes escalas espaciales, por ejemplo entre ambientes de una laguna somera (orilla, centro) separados por metros o bien ambientes totalmente distintos que poseen disímiles parámetros físicoquímicos y/o masas de agua entre los que los peces deben desplazarse por miles de kilómetros. Entre estos últimos tipos de desplazamientos periódicos, las migraciones alimentarias y reproductivas son las más emblemáticas². Por ejemplo, los grandes siluriformes de la Cuenca del Plata (*Pseudoplatystoma coruscans*, *P. fasciatum*), junto con el dorado (*Salminus maxillosus*) y el sábalo son especies migradoras que no sólo utilizan el cauce principal de los ríos sino también la planicie de inundación. El desplazamiento de especies ha sido afectado por el emplazamiento de represas y centrales hidroeléctricas que en el caso de que no presenten medidas estructurales (escalas de peces, ascensores³, etc.) pueden dividir a las poblaciones en subgrupos, afectando la interconectividad genética de los stocks pesqueros y actuando como una barrera geográfica.

En el caso de las especies cuyos juveniles se crían y refugian en áreas costeras, la fragmentación de hábitats disminuye la posibilidad de supervivencia de los individuos en las primeras etapas de su vida, siendo esto un factor de mortalidad relevante.

Un caso interesante es el del pejerrey de agua dulce que habita la Cuenca Baja del Plata que se desplaza en verano hacia áreas costeras marinas (Avigliano y Volpedo, 2013) o del bagre de mar (*Genides barba*),

un pez anádromo que se distribuye en estuarios y en la plataforma marítima desde Bahía en Brasil hasta San Blas (17°00'S -40°32'S). En época reproductiva los machos remontan el Río Paraná y Uruguay llevando en su cavidad oral los huevos fecundados y liberándolos en áreas dulceacuícolas en la Cuenca Baja del Plata donde las larvas se crían y desarrollan. Los cambios en la calidad del agua de estos ecosistemas, conjuntamente con los cambios físicos en las zonas de dispersión de las larvas de la especie pueden producir diferentes niveles de impacto sobre este recurso transfronterizo, por lo cual debiera profundizarse los estudios sobre estas especies.

■ VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La variabilidad climática afecta en diferentes grados a los cuerpos de agua y por ende a la biota acuática. En la ecorregión pampeana los ciclos de inundación y sequía históricos y anuales ejercen una presión estresora sobre la biota acuática. En general los organismos presentes en esta región están adaptados a estos tipos de estrés, sin embargo cuando los cambios son extremos o superan los rangos de tolerancia de las especies, impactan directamente sobre ellas y en algunos casos hasta pueden provocar mortandades masivas de las mismas.

Por ejemplo en el Lago Chasicó, Avigliano et al. (2011) encontraron que la morfología y morfometría de los otolitos de los pejerreyes reflejaban los cambios en los parámetros físico-químicos del agua (aumento de la salinidad y conductividad) por reducción en la superficie del espejo de agua, lo que produce alteraciones en la deposición de carbonato de calcio en los otolitos provocando variaciones morfológicas. Como las condiciones de estrés se han mantenido, en el presente se ha producido

una importante mortandad de especímenes en este cuerpo de agua, que probablemente se deba al aumento extremo de salinidad que supera los 44 g/L (Petersen *com pers*) y que esta reconvirtiéndose nuevamente a este ambiente en una salina (Volpedo *et al.*, 2012, 2013).

Otros efectos de la variabilidad climática evidente en nuestro país se presentaron en las últimas cuatro décadas donde un incremento de las precipitaciones en el noroeste ha generado importantes cambios climáticos e hidrológicos. Los aumentos en la precipitación se vieron reflejados en el desplazamiento de más de 100 km hacia el oeste de la isoyeta de 800 mm (Barros, *et al.*, 2006). Este aumento de las precipitaciones comenzó alrededor de mediados de la década del 70, aparentemente relacionados con una mayor intensidad de El Niño (Barros y Doyle 1996; Barros *et al.*, 2000). Además se ha incrementado el número de episodios de fuertes lluvias, triplicándose la frecuencia de eventos de precipitación que exceden los 100 mm en el Centro y Este de Argentina durante los últimos 40 años (Barros 2004). Esto a su vez conlleva al aumento de los caudales de los ríos porque la evaporación, controlada por la temperatura, se ha mantenido relativamente constante (García y Vargas 1998; Genta *et al.*, 1998; Berbery y Barros, 2002). Esto trae aparejado una mayor frecuencia e intensidad en las inundaciones, tanto en los valles fluviales como en las zonas urbanas, que se refleja en la planicie de inundación de los ríos Paraná y Paraguay, donde las inundaciones se han vuelto más frecuentes desde mitad de la década de 1970 (Camilloni y Barros 2003, Barros *et al.*, 2004). Estos cambios afectaron directamente la cantidad de especies presentes en la región ya que las especies paranoplatenses, cuya tolerancia ambiental es más estrecha, se han

desplazado hacia el oeste debido a que dicha región presenta, en la actualidad, condiciones ambientales que no se daban hace cuarenta años atrás (Volpedo y Fernández Cirelli, 2012).

■ DESAFÍOS PARA EL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA ARGENTINA

La República Argentina ha suscripto el Convenio de Biodiversidad Biológica así como diferentes acuerdos internacionales asociados a la conservación de la biota acuática, por lo que se ha comprometido a normatizar e implementar medidas en relación a la conservación de la biodiversidad. Si bien en las últimas décadas ha habido avances en relación al cumplimiento de los compromisos adquiridos internacionalmente por nuestro país, la implementación sistemática de los mismos es muy heterogénea o bien está desarticulada. A tal fin, una de las herramientas que podrían considerarse es la elaboración y aplicación de medidas apropiadas de carácter regional que incluyan el análisis de las sinergias entre los diferentes factores que afectan la biodiversidad teniendo como marco conceptual a las ecorregiones. Esto permitiría fortalecer las medidas, darles solidez y sustento territorial y propiciar su sostenibilidad en el tiempo a fin de no incentivar el desarrollo de medidas puntuales o aisladas sin continuidad.

En relación a la contaminación debieran profundizarse los trabajos relacionados al estudio de la bio-transferencia de contaminantes a las cadenas tróficas acuáticas y sus interacciones con las cadenas tróficas terrestres a fin de analizar su dinámica ambiental en diferentes escalas espaciales. Además se debieran intensificar estos estudios en las es-

pecies de consumo humano, a fin de garantizar su calidad e inocuidad.

Asociado a la problemática de la sobrepesca, el abordaje de este tema debiera darse de manera integral aplicando los principios del manejo ecosistémico postulado por la FAO, donde no sólo se busca entender los requerimientos de producción de proteína animal sino también garantizar la existencia del recurso a largo plazo. Para ello debieran focalizarse los esfuerzos en el estudio de la biología de especies comerciales, la determinación de stocks pesqueros y la validación de los mismos por diferentes metodologías, especialmente en las especies transfronterizas, desarrollar evaluaciones del esfuerzo pesquero más ajustadas, evaluar la selectividad de las artes de pesca, implementar diferentes medidas de conservación de las áreas de cría y reproducción de las especies como áreas de veda móviles y áreas protegidas acuáticas, entre otras. Por otro lado no es viable realizar un manejo sustentable de las especies comerciales si los conocimientos bioecológicos de dichas especies son escasos o desconocidos, ya que no se puede manejar lo que se desconoce. Por lo que la generación de conocimiento de base de las especies comerciales es fundamental y debiera ser promovido este tipo de estudio en los diferentes centros de investigación de nuestro país.

Muchas veces se subestima la producción pesquera por captura y por acuicultura a nivel local, sin embargo, la cantidad de toneladas exportadas de peces, así como las divisas que nuestro país incorpora por este medio y la población asociada al sector pesquero son muy importantes, por lo que se debiera reconsiderar la visión tradicional que se tiene sobre este recurso.

En relación a las especies invaso-

ras acuáticas, debieran por un lado disminuirse las posibilidades de la introducción accidental de las mismas por agua de balastro o incrustaciones en los cascos de los buques aumentando los monitoreos y las medidas de regulación a aplicarse a las embarcaciones que acceden a los puertos de nuestro país, y realizar controles sistematizados a fin de organizar largas series de datos temporales de la distribución de las especies de invertebrados y vertebrados, que ya se han manifestado como invasoras, con el fin de controlar su desplazamiento. Así también, debieran evitarse y desalentarse la introducción de especies con fines comerciales (acuicultura) ya que la fuga de especímenes es una situación común y no eventual y una vez en el medio los especímenes fugados en el caso de adaptarse, se convierten rápidamente en especies invasoras siendo su manejo complejo y costoso y causando en el ambiente y la biota nativa efectos negativos y muchas veces irreversibles.

Por otro lado, debieran ser incluidos los estudios de impacto ambiental en todos los emplazamientos de obras ingenieriles (centrales hidroeléctricas, emplazamiento de puertos, dragado de canales, etc.) ubicados en áreas que actúen como corredores de desplazamiento de la biota acuática. Esto es fundamental ya que en los diferentes estadios del ciclo de vida de las especies, éstas dependen de la realización de desplazamientos y la conectividad entre los diferentes grupos poblacionales, por lo que el cercenar la posibilidad de desplazamiento o bien limitar la interconectividad de las mismas puede afectar a mediano y largo plazo la viabilidad de una población y la existencia de la especie.

En relación a la variabilidad climática, la integración de los estudios climáticos, oceanográficos y

limnológicos y su relación con la biota se ha desarrollado particularmente en las últimas décadas. Sin embargo, son escasos los equipos interdisciplinarios que analizan estos aspectos por lo cual se desaprovecha la riqueza interdisciplinar en la búsqueda de soluciones y alternativas de manejo ante la variabilidad ambiental presente en la región y más aún en relación a los escenarios de cambio climático previstos. Por lo que la conformación de equipos y proyectos interdisciplinarios, las visiones complementarias de las diferentes disciplinas y la formación de recursos humanos de posgrado en estas líneas pueden contribuir a dar respuestas a muchas de las preguntas que surgen en este sentido.

A nivel ambiental las variaciones en las precipitaciones así como en la temperatura, debido al cambio climático, determinarán la redistribución de muchas especies de peces en las diferentes ecorregiones de Argentina, conllevando esto a la modificación de tramas tróficas y la composición de las comunidades acuáticas. En este contexto, los estudios en esta línea debieran intensificarse a fin de manejar y conservar la biodiversidad íctica de Argentina.

En resumen, Argentina posee una gran riqueza específica en su biodiversidad acuática, sin embargo también posee importantes problemáticas que impactan negativamente en la conservación y manejo sustentable de la misma. Dichas problemáticas debieran ser analizadas y estudiadas en profundidad de manera interdisciplinaria. Las ecorregiones podrían ser utilizadas como escala regional para el estudio integrado de las problemáticas a fin de generar medidas y alternativas de manejo a mediano y largo plazo.

■ GLOSARIO

Ecorregión: es un área de importantes dimensiones relativamente homogénea, en la que hay diferentes comunidades que tienen en común un gran número de especies y condiciones ambientales. Los principales procesos ecológicos que mantienen la biodiversidad y los servicios que los ecosistemas naturales proporcionan a la población se manifiestan en esta escala ecorregional.

Eutrofización: es el proceso por el que un ecosistema acuático se enriquece de nutrientes (P y N) y eso genera el desarrollo de un crecimiento exponencial de algas que en algunos casos pueden liberar toxinas para la biota acuática y para el hombre.

Otolito: estructura constituida principalmente por carbonato de calcio que se encuentra en el oído interno de los peces óseos y funciona como órgano del equilibrio y para la captación auditiva de los peces.

Stock pesquero: unidad poblacional con integridad genética y sobre la cual se realiza algún tipo particular de manejo

■ REFERENCIAS

- Aigo, J., Cussac, V., Peris, S., Ortubay, S., Gómez, S., López, H., Gross, M., Barriga, J., Battini, M. (2008) Distribution of introduced and native fish in Patagonia (Argentina): patterns and changes in fish assemblages. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18, 387-408.
- Arámburu, R.H. (1971). Introducción del pez "sojyo" en la Argentina. *Bol. Dir. Rec. Pesq., La. Plata, Argentina*, 13, 12-27.

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2007). Toxicological profile for Benzene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Avigliano, E., Tombari, A., Volpedo, A.V. (2011). ¿El otolito de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), refleja el estrés ambiental? *Biología Acuática*, 1-7.
- Avigliano, E., Volpedo, A.V. (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, 746-751.
- Avigliano, E., Martínez Riaños, F., Volpedo, A.V. (2013). Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-estuarine environment. *Fisheries Research* (in press)
- Azpelicueta, M.M., Almirón, A. (1999). A sturgeon (Acipenseridae) in temperate waters of the South. Hemisphere, Río de la Plata, Argentina. *Biogeographica*, París, Francia 75, 129-130.
- Balech, E., Ehrlich, M.D. (2008). Esquema biogeográfico del Mar Argentino. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.*, 19, 45-75.
- Barla, M.J., Iriart, R. (1987). La presencia de la carpa *Cyprinus carpio* L. (Osteichthyes, Cypriniformes) en Laguna Chascomús y su significado. *Limnobiós* 2, 685-686.
- Barros, V., Doyle, M., (1996). Precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies. Report N° 26. Editors J. L. Kinter III and E. K. Schneider. pp. 76-80.
- Barros, V., (2004). Tendencias climáticas en la Argentina: precipitación. Proyecto Agenda Ambiental Regional-Mejora de la Gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable PNUD Arg. /03/001. Fundación Torcuato Di Tella y Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Barros, V., Chamorro, L., Coronel, G., Baéz, J. (2004). The greatest discharge events in the Paraguay River. *J. Hydrometeorology*, 5, 1161-1170.
- Barros, V., González, M., Liebmann, E., Camillioni, I. (2000). Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southeastern South America. *Theor. Appl. Meteor.* 67, 123-133.
- Barros, V., Clarke, C., Silva Dias, P. (Eds) (2006). El cambio climático en la Cuenca del Plata. Buenos Aires: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas- CONICET, Buenos Aires, Argentina, 232 pp.
- Berberly, E., Barros, V. (2002). The hydrologic cycle of the La Plata basin in South America. *J. Hydrometeorology*, 3, 630-645.
- Boltovskoy D., Correa N., Cataldo D., Sylvester F. (2006) Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Rio de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions*, 8, 947-963.
- Branch, T.A., Watson, R., Fulton, E.A., Jennings, S., McGilliard, C.R., Pablico, G.T., Ricard, D., Tracey, S.R. (2010). The trophic fingerprint of marine fisheries. *Nature*, 468, 431-435.
- Camargo, J.A., 2003. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. *Chemosphere*, 50, 251-264.
- Camillioni, I., Barros, V. (2003). Extreme discharge events in the Paraná River. *J. Hidrology*, 278, 94-106.
- Canadian Council of Ministers of Environment (CCME) (2002) Canadian water quality guidelines for protection of aquatic life: inorganic fluorides. 1-4
- Colautti, D.C. (2001). La carpa y el pejerrey ¿enemigos? En: *Fundamentos biológicos económicos y sociales para una correcta gestión del recurso pejerrey*. Astyanax, 91-98.
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Williamson, M., Migoya, M.C., Speranza, E., Sericano, J., Muir, D.C.G. (2011). Risk ranking of multiple-POPs in detritivorous fish from the Río de la Plata. *Chemosphere* 83, 882-889.
- Darrigran, G.A. (2000). Invasive freshwater bivalves of the Neotropical Region. *Dreissena* 11, 7-13.
- Darrigran, G.A. (2002). Potential impact of filter feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions*, 115-143.
- Darrigran G., Damborenea, C. (2005) A South American bioinvasion case history: *Limnoperna fortunei*

- nei (Dunker, 1857), the golden mussel. *American Malacological Bulletin*, 20, 105-112.
- Demetrio, P., Bulus, G., Ronco, A. (2011). Effects of Pesticide Formulations and Active Ingredients on the Coelenterate *Hydra attenuata* (Pallas, 1766). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88, 15-9.
- Dománico, A., Delfino R. (1998). Pesquerías del sábalo (*Prochilodus lineatus*) en la zona de Environmental Contamination and Toxicology, 86, 23-7.
- García, N., Vargas, W., (1998). The temporal climatic variability in the Rio de la Plata basin displayed by the river discharges. *Climatic Change*, 38, 359-379.
- Genta, J.L., Perez Iribarne, G., Mechoso, C. (1998). Recent increasing trend in the stream flow of rivers in Southeastern South America. *J. Climate*, 11, 2858-2862.
- Jaureguizar, A., Menni, R.C., Lasta, C., Guerrero, R. (2006). Fish assemblages of the northern Argentine coastal system: spatial patterns and their temporal variations. *Fish. Oceanogr.* 15, 326-344.
- Jaureguizar, A.J., Milessi, A.C. (2008). Assessing the sources of the fishing down marine food web process in the Argentinean-Uruguayan Common Fishing Zone. *Scientia Marina* 72, 25-36.
- Liotta, J. (comp.). (2011). Base de Datos sobre Peces de Aguas Continentales de la República Argentina. Publicación electrónica. Fundación Óga.
- Menni, R.C. (2005). Peces y ambientes en la Argentina continental. *Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 5: 1-316.
- Menni, R.C., Miquelarena, A., Volpedo, A.V. (2005). Fishes and environmental in northwestern Argentina (South America): from lowland to Puna. *Hydrobiologia* 544, 33-49.
- Milessi, A.C., Jaureguizar, A.J. (2013). Evolución temporal del nivel trófico medio de los desembarques en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya años 1989-2010. *Frente Marítimo* 23, 83-93.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2012). Evaluación del recurso sábalo (*Prochilodus lineatus*) en el Río Paraná. Periodo 2008-2011. 45 pp.
- Morello, J., Matteucci, S.D., Rodríguez, A.F., Silva, M.E. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. FADU-GEPAMA, 719 pp.
- Moren M., Malde M.K., Olsen R.E., Hemre G.I., Dahl L., Karlsen O., Julshamn K. (2007). Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion. *Aquaculture*, 269, 525-531.
- Mugni, H., Demetrio, P., Marino, D., Ronco, A., Bonetto, C. (2010). Toxicity persistence following an experimental cypermethrin and chlorpyrifos application in Pampasic surface waters (Buenos Aires, Argentina). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84, 524-528.
- Mugni, H., Demetrio, P., Bulus, G., Ronco, A., Bonetto, C. (2011). Effect of aquatic vegetation on the persistence of cypermethrin toxicity in water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 23-27.
- Ortega, L. (2011). Variables ambientales y su influencia en los recursos pesqueros: aplicaciones al manejo. *Frente Marítimo* 22, 329-339.
- Pascual, M., Macchi, P., Urbanski, J., Marcos, F., Riva Rossi, C., Novara, M., Dell'Archiprete, P. (2002). Evaluating potential effects of exotic freshwater fish from incomplete species presence-absence data. *Biological Invasions* 4, 101-113.
- Penchazadeh, P.E. (2005). *Invasores*. EUDEBA.377.
- Pianka, E. (1982). *Ecología Evolutiva*, Ed Omega, Barcelona, 376 pp.
- Puntoriero, M.L., Volpedo, A.V., Fernández Cirelli, A. (2013). Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. *Acta Toxicologica Argentina (en prensa)*.
- Rico, M.R., Avigliano, E., Sáez, M.B., Volpedo, A.V. (2012). Discriminación de stocks pesqueros de pez palo (*Percophis brasiliensis*) del Atlántico sudoccidental mediante la utilización de la relación Sr:Ca y Zn:Ca en los otolitos. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Informe de Investigación Nº 74. 27/08/2012. 18 p.

- Rosso, J.J., Puntoriero, M.L., Troncoso, J.J., Volpedo, A.V., Fernández Cirelli, A. (2011). Occurrence of Fluoride in Arsenic-rich surface waters: a case study in the Pampa Plain, Argentina. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 409-41.
- Rosso, J.J., Schenone, N., Pérez Carrera, A.L., Fernández Cirelli, A. (2013). Concentration of arsenic in water, sediments and fish species from naturally contaminated rivers. *Environmental Geochemistry and Health*. 35, 201-14.
- Russell, J., Erickson, D.R., Mount, T.L., Highland, J., Russell, Hockett E.N., Leonard, V.R., Mattson, T.D., Dawson Lott, K.G. (2010). Effects of copper, cadmium, lead, and arsenic in a live diet on juvenile fish growth. *Can J Fish Aquat Sci*, 67, 1816–1826.
- Schenone, N.F., Volpedo, A.V., Fernández Cirelli, A. (2007). Trace metal contents in water and sediments in Samborombón Bay wetland, Argentina. *Wetland ecology and management*. 15, 303-310.
- Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2006) Desarrollo de Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Buenos Aires, Argentina.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 17, 517-568.
- Strayer, D.L. (2010). Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology*. 55, 152–174.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2000). Human health risk assessment bulletins. Supplement RAGS. Environmental Protection Agency. Office of Health Assessment,. Disponible en: <http://www.epa.gov/region4/waste/ots/healthbul.htm>.
- Volpedo, A.V., Avigliano, E., Fernández Cirelli, A. (2013). Influencia de los cambios ambientales sobre las poblaciones de peces en ecosistemas lénticos de la llanura pampeana (Argentina). En: Evaluación de los cambios de estado en ecosistemas degradados de Iberoamerica. L. Fernández Reyes y A.V. Volpedo. Red CYTED.
- Volpedo, A.V, Fernández Reyes, L. (2008). (Eds). Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad. RED CYTED 406RT0285. Efecto cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica, 294pp.
- Volpedo, A., Fernández Cirelli, A. (2006). Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenids stock discrimination in Southwestern Atlantic. *Scientia Marina* 70, 325-334.
- Volpedo, A.V., Miretzky, P., Fernández Cirelli, A. (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.
- Volpedo, A.V., Fernández Cirelli, A. (2013). El Lago Chasicó: similitudes y diferencias con las lagunas pampásicas. AUGMDomus (en prensa).

■ NOTAS

1 https://www.youtube.com/watch?v=8DQWQSE85q8&list=PLiP-ILBzoQWpj2rVLQchFfF2k3eQ0lvjr&feature=player_detailpage

2 https://www.youtube.com/watch?v=dCXvMvFbjWk&feature=player_detailpage

3 https://www.youtube.com/watch?v=aGZN6SWvt04&feature=player_detailpage

El 98 por ciento de los doctores formados por el CONICET tiene empleo

Según un informe dado a conocer por este organismo científico acerca de la inserción de doctores, sólo un 1 por ciento de estos ex-becarios no tiene trabajo o no poseen ocupación declarada y un 10 por ciento posee remuneraciones inferiores a un estipendio de una beca doctoral.

Asimismo, proyecta que el 89 por ciento de los encuestados tiene una situación favorable en su actividad profesional, pero sobre todo asegura que más del 98 por ciento de los científicos salidos del CONICET consigue trabajo.

Los datos surgidos del estudio "Análisis de la inserción laboral de los ex-becarios Doctorales financiados por CONICET", realizado por la Gerencia de Recursos Humanos del organismo, involucró 934 casos sobre una población de 6.080 ex-becarios entre los años 1998 y el 2011.

Al respecto, en el mismo se considera que del número de ex-becarios consultados, el 52 por ciento (485 casos), continúa en el CONICET en la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico.

De los que no ingresaron en el organismo pero trabajan en el país, sobre 341 casos, el 48 por ciento se encuentra empleado en universidades de gestión pública y un 5 por ciento en privadas; el 18 por ciento en empresas, un 6 por ciento en organismos de Ciencia y Técnica (CyT), un 12 por ciento en la gestión pública y el resto en instituciones y organismos del Estado.

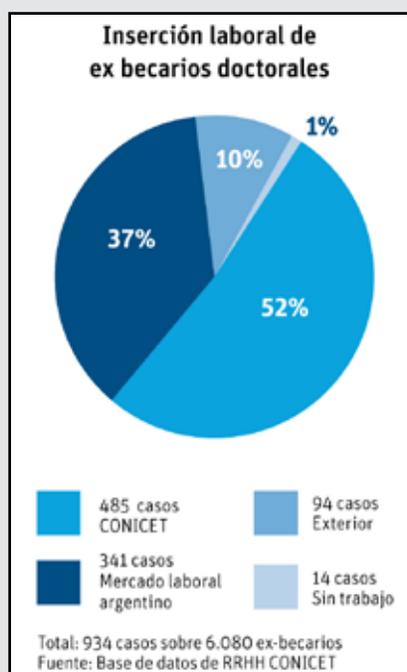
En tanto, en el extranjero, sobre 94 casos, el 90 por ciento trabaja en universidades, el 7 por ciento en empresas y el 2 por ciento es autónomo.

El mismo informe traduce que la demanda del sector privado sobre la

incorporación de doctores no es aún la esperada, pero está creciendo. La inserción en el Estado, si se suma a las universidades nacionales y ministerios, se constituye en el mayor ámbito de actividad.

Frente a ello, a los fines de avanzar en la inserción en el ámbito publico-privado el CONICET realiza actividades políticas de articulación con otros organismos de CyT, es decir, universidades, empresas, a través de la Unión Industrial Argentina (UIA), y en particular con YPF que requiere personal altamente capacitado en diferentes áreas de investigación.

Desde el CONICET se espera que en la medida que la producción argentina requiera más innovación, crecerá la demanda de doctores. Para cuando llegue ese momento el país deberá tener los recursos humanos preparados para dar respuestas. Es por ello se piensa en doctores para el país y no solamente doctores para el CONICET.



Programa +VALOR.DOC

Sumar doctores al desarrollo del país

A través de esta iniciativa nacional, impulsada por el CONICET y organismos del Estado, se amplían las posibilidades de inserción laboral de profesionales con formación doctoral

El programa +VALOR.DOC bajo el lema "Sumando Doctores al Desarrollo de la Argentina", busca vincular los recursos humanos con las necesidades y oportunidades de desarrollo del país y fomentar la incorporación de doctores a la estructura productiva, educativa, administrativa y de servicios.

A partir de una base de datos y herramientas informáticas, se aportan recursos humanos altamente calificados a la industria, los servicios y la gestión pública. Mediante una página Web, los doctores cargan sus curriculum vitae para que puedan contactarlos por perfil de formación y, de esta manera, generarse los vínculos necesarios.

Con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, este programa tiene como objetivo reforzar las capacidades científico-tecnológicas de las empresas, potenciar la gestión y complementar las acciones de vinculación entre el sector que promueve el conocimiento y el productivo.

+VALOR.DOC es una propuesta interinstitucional que promueve y facilita la inserción laboral de doctores que por sus conocimientos impactan positivamente en la sociedad.

Para conocer más sobre el programa www.masVALORDoc.conicet.gov.ar.

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS OASIS DEL OESTE ARGENTINO

Palabras clave: Cambio Climático, impactos, Oasis del Centro Oeste, ciclo hidrológico, Argentina.
Key words: Climate Change, Impacts, Central-west oases, Hydrological cycle, Argentina.

En Argentina, una de las regiones más vulnerables al Cambio Climático son los oasis productivos del centro-oeste. La actividad agrícola, industrial, la producción de hidroelectricidad y los asentamientos humanos dependen casi exclusivamente del agua proveniente de la fusión de la nieve y de los cuerpos de hielo que se encuentran en la Cordillera de los Andes. La variabilidad de las nevadas (y de los caudales de ríos) es alta, con años de abundancia y de escasez, aunque para la región su tendencia es a disminuir. El aumento de la temperatura, observable en las series instrumentales, es coherente con el aumento pronosticado debido al incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera.

La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura originan el retroceso de los glaciares observado desde el siglo XIX, indicando una pérdida importante en reserva de agua. La variación de los caudales originada puede alterar la distribución del agua para riego y el manejo de las presas para generar hidroelectricidad.

En la Cordillera de Mendoza y San Juan, la precipitación es fundamentalmente invernal. En cambio en los oasis, ubicados en el pedemonte, la lluvia ocurre durante el verano en forma de tormentas convectivas. Éstas han aumentado durante las últimas décadas en forma significativa y constituyen un aporte de agua que puede aliviar condiciones de sequía. La temperatura también muestra una tendencia positiva en esta región.

Los estudios realizados mediante el uso de modelos regionales de circulación general han permitido construir hipótesis sobre el impacto del cambio climático, estimar la vulnerabilidad de la región y diseñar posibles medidas de adaptación.

In Argentina, one of the most vulnerable regions to climate change is the central-west productive oases. All agricultural, industrial, hydropower production and human settlements depend almost exclusively on the melting water from the snow and ice bodies found in the Andes. The variability of the snowfall and stream-flow are very high, with years of abundance and years of scarcity, although in the region the number of abundant years is decreasing. The observed time series of temperature indicates a positive trend, consistent with the predicted increase due to the higher CO₂ concentration in the atmosphere. The negative trend in rainfall and positive in temperature explain the glacier retreat observed since the 19th century indicating the loss of a major water reserve. This altered hydrograph can have a high impact on the distribution of water for irrigation and for the management of dams to generate hydroelectricity.

In the Cordillera of Mendoza and San Juan, precipitation falls mainly in winter. In contrast, in the foothills oases, rainfall occurs during the summer in the form of convective storms. The summer precipitation has significantly increased in recent decades and represents a water contribution that to some extent could relieve drought conditions. The temperature also shows a positive trend in the region of cultivated oases.

The use of regional general circulation models has permitted to build hypotheses about the expected impact of climate change. These studies are important to estimate the vulnerability to the changes and to design possible adaptation measures.

■ INTRODUCCIÓN:

La creciente demanda de energía para el desarrollo de las actividades humanas produce el consumo de grandes cantidades de combustibles

fósiles (petróleo, carbón, gas). El proceso de combustión libera gases residuales, mayormente dióxido de carbono (CO₂) y está modificando la composición de la atmósfera aumentando la proporción relativa de

este compuesto. Mediciones de la cantidad de CO₂ en la atmósfera que se realizan en el Mauna Loa / Hawai muestran un sostenido incremento de la concentración de dicho gas en la atmósfera.

■ José A. Boninsegna

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales - CONICET.
Av. Riz Leal s/n Parque San Martín 5500
Mendoza.

pbonin@mendoza-conicet.gob.ar

El dióxido de carbono y otros gases llamados “de efecto invernadero” como el metano y los óxidos de nitrógeno actúan como un filtro opaco a la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre y consecuentemente la temperatura de la atmósfera aumenta. La serie histórica de temperatura media de la tierra se ha incrementado 0.76°C desde 1878 hasta el 2011. El incremento de la temperatura no es uniforme en toda la tierra, se concentra especialmente en las zonas más continentales del Hemisferio Norte, la consecuencia de este calentamiento desigual es la modificación parcial de la circulación atmosférica y por ende la distribución de los patrones de precipitación.

En la actualidad existe una fuerte evidencia que los cambios en la temperatura observados, así como varios fenómenos asociados (incremento en la frecuencia y severidad de fenómenos extremos, derretimiento de glaciares y del hielo de los polos) son atribuibles al “efecto invernadero” de los gases producidos por la actividad antrópica.

En nuestro país, una de las regiones más vulnerables a los cambios de temperatura y precipitación se encuentra en los oasis productivos del centro-oeste. Las provincias de Mendoza y San Juan con una extensión territorial de 148.827 y 92.789 km² respectivamente, pero de la cual solo el 3.8% es cultivada, concentran más del 90% de la industria vitivinícola nacional, tienen un importante desarrollo de industrias agroalimentarias y abundantes recursos naturales no renovables como petróleo y minería.

Toda la actividad agrícola, industrial, la producción de hidroelectricidad y los asentamientos humanos dependen fuertemente del agua proveniente de la fusión de la nieve y

de los cuerpos de hielo que se encuentran en las altas cumbres de la Cordillera de los Andes. Allí la nieve se acumula como consecuencia de tormentas frontales que alcanzan la región principalmente en el invierno y cuando la temperatura comienza a elevarse en la primavera (Octubre – Noviembre) se inicia el proceso de fusión de la nieve incrementando el caudal de los ríos. Los ríos de la región cuyana son de régimen hidronival fuertemente relacionados a la cantidad de precipitación sólida que se acumula en la cuenca superior. El tamaño, exposición y altura de la cuenca influye en la cantidad y distribución de los caudales que alcanzan el valle (fig 1).

Desde el punto de vista físico, la oferta hídrica en la región cuyana tiene condicionantes geográficos y climáticos que definen la variabili-

dad del sistema. El estudio de estos condicionantes es imprescindible para evaluar la disponibilidad hídrica presente y futura, los grados de resiliencia, la vulnerabilidad del sistema y la posibilidad de implementar medidas de adaptación.

■ LOS CONDICIONANTES GEOGRÁFICOS.

La geografía de las cuencas es un fuerte condicionante de la oferta hídrica. La altura de la cuenca influye en mayor o menor capacidad de almacenamiento de nieve y la topografía, en especial la orientación relativa de los valles, en la mayor o menor velocidad de fusión de la nieve debida a la exposición solar, originando diferencias en los tiempos en que los ríos alcanzan su máximo caudal. En la porción de la Cordillera de los Andes correspondiente a

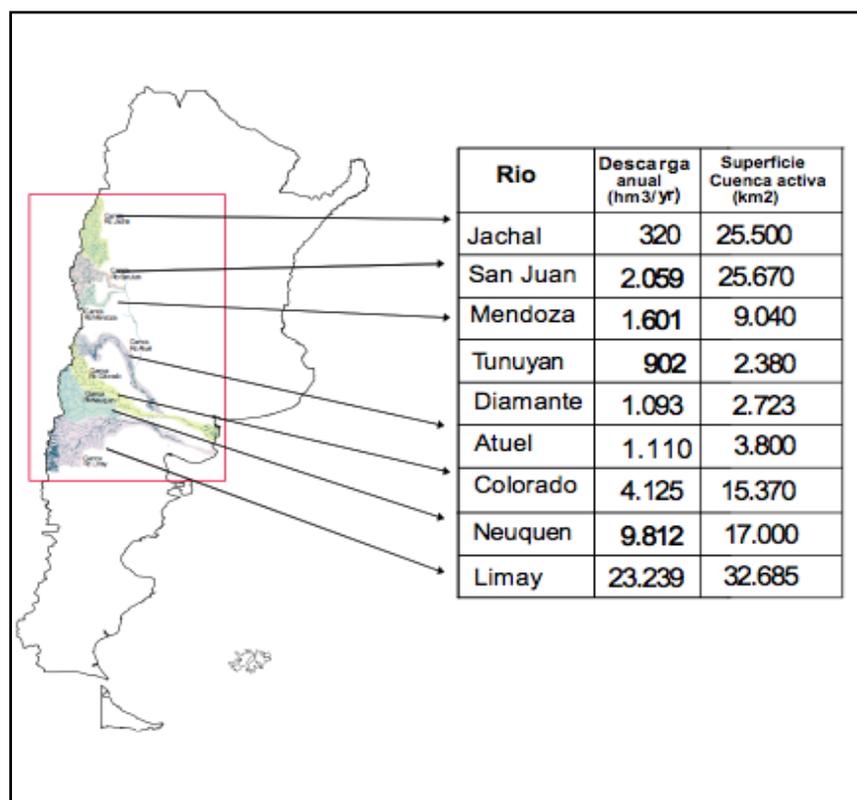


Figura 1: En este cuadro se representan las cuencas de los principales ríos de la región cuyana, junto con los derrames anuales medios. Aunque los ríos Neuquén y Limay no pertenecen a Cuyo, se han colocado en este cuadro con el propósito de comparar las erogaciones anuales. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

las provincias de Cuyo es donde los cordones montañosos alcanzan su mayor altura con picos como Aconcagua (7035 mts), Tupungato (6570 mts), Mercurario (6770mts).

Sin embargo, aquí la Cordillera se presenta no como un único cordón sino como cordones montañosos paralelos surcados por valles profundos.

Las cuencas de los Ríos Mendoza y San Juan son las de mayor altura, mientras que las ubicadas hacia el sur, tienen alturas progresivamente inferiores

Los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel son los más importantes proveedores de agua para consumo humano, regadío y generación de hidroelectricidad en Cuyo. Varias estaciones de aforo ubicadas en cada cuenca permiten un análisis de las variaciones en los caudales y del hidrograma anual.

■ LOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS.

La cantidad de precipitaciones néveas y su acumulación, la temperatura y sus variaciones y la influencia de algunos forzantes del sistema climático regulan la cantidad y oportunidad de la oferta hídrica en la región cuyana.

Como se ha señalado en un párrafo anterior, el régimen hídrico de la región es esencialmente hidronival, dependiente de la cantidad de nieve que cae durante el invierno y se acumula en las altas cuencas. El otro condicionante es la temperatura que regula la velocidad de la fusión. El ciclo estacional de la temperatura se traduce en variaciones en la altura de la isoterma de 0°C. Por encima de esta línea imaginaria, la nieve no se derrite, pues no hay temperatura suficientemente elevada para fun-

dirla. El conocer la posición de esta isoterma permite estimar la superficie sobre la cual se realiza el proceso de acumulación y de ablación de la nieve. La fusión de la nieve acumulada produce las escorrentías con los mayores volúmenes durante los meses de primavera - verano.

■ DATOS CLIMÁTICOS:

Los datos climáticos no son particularmente abundantes en la región debido a que varias estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, por distintos motivos, han sido discontinuadas. Esta situación se observa especialmente en las estaciones que estaban ubicadas en la Cordillera de los Andes, en donde prácticamente no se encuentra al momento ninguna estación oficial en operaciones, con excepción de la Estación Meteorológica de Punta de Vacas en la cuenca del Río Mendoza. Este hecho obliga a utilizar fuentes de información provenientes de otras organizaciones y de países vecinos.

Por ejemplo, una buena estimación de la cantidad de precipitaciones en la Cordillera puede obtenerse analizando la serie de precipitaciones de Santiago de Chile, provistas por el Servicio Meteorológico de Chile. También se han utilizado con fines de comparación las series de radio-sondeos diarios de Quinteros (Chile) que proveen información sobre las variaciones de la altura de la isoterma de 0°C. Aunque en el presente no funcionan, las series de Temperatura y Precipitación media mensual de las Estaciones meteorológicas de Cristo Redentor y Puente del Inca del Servicio Meteorológico Nacional son de mucha utilidad para estimar gradientes y variabilidad de los fenómenos meteorológicos en la zona. En la región de los valles productivos, la cantidad de información es más abundante y se cuenta

con datos provenientes de distintos organismos, como el Servicio Meteorológico Nacional, el INTA y, en los últimos años, de la Dirección de Contingencias Climáticas de la Provincia de Mendoza.

■ LAS VARIACIONES DE LA TEMPERATURA

Las variaciones mes a mes de la temperatura son las responsables de las variaciones interanuales en la estacionalidad de los caudales que reproducen el ciclo anual. El conocimiento del ciclo anual de los caudales o hidrograma es muy importante ya que permite establecer y regular el manejo y el uso del agua tanto para consumo, irrigación o producción de hidro - electricidad.

Las variaciones de la temperatura en el invierno incrementan o reducen la superficie de las cuencas que reciben precipitación en forma de nieve, mientras que durante los meses de verano aumentan o disminuyen la superficie de las cuencas en las que se produce la ablación de la nieve acumulada durante el invierno.

Debido a la falta de datos en la región de la alta Cordillera, solo existen series de temperatura con datos incompletos y en series relativamente cortas.

No obstante, utilizando todos los datos disponibles es posible estimar las tendencias estacionales de la temperatura.

■ LA PRECIPITACIÓN Y SU VARIABILIDAD

Las nevadas que ocurren en el área presentan variaciones tanto en la cantidad de nieve como en el momento del año en que ocurren. El Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza ha ins-

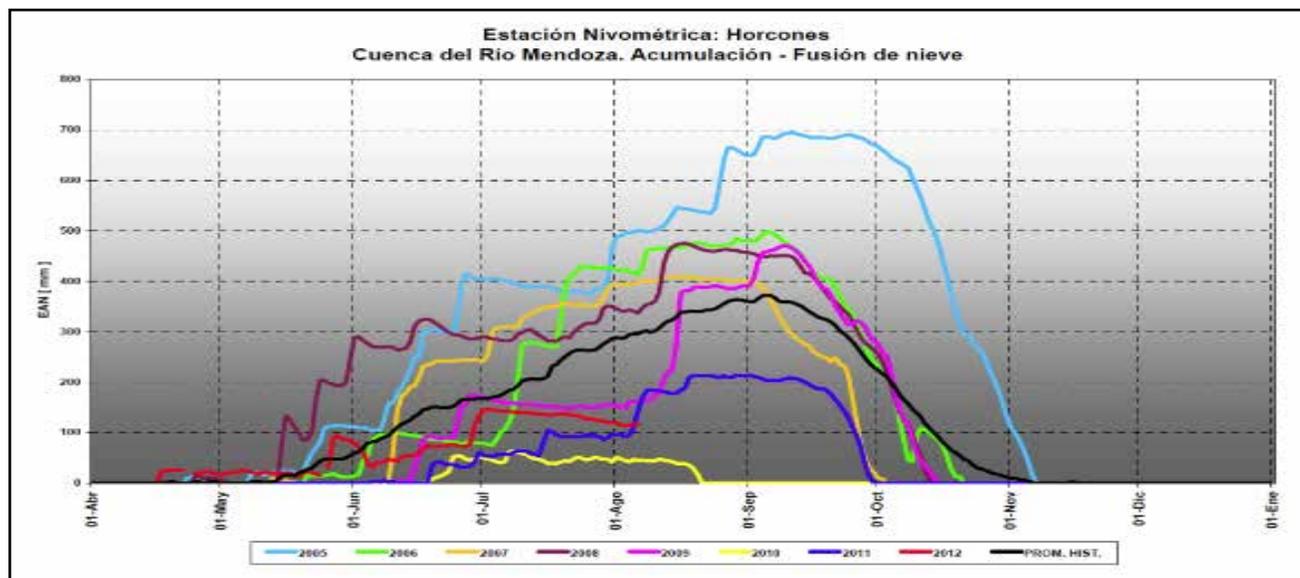


Figura 2: Acumulación anual de nieve medida en la estación Horcones. Se observa la existencia de un periodo de acumulación desde los primeros días de Mayo hasta finales de Septiembre en que comienza la fusión de la nieve. El proceso de fusión es bastante rápido a la altura de la estación medidora (3100 m s.n.m.) completándose a mediados de Noviembre. La nieve persiste a mayores alturas hasta el final del verano. También se observa la gran variabilidad anual de las nevadas. (Dirección de Gestión Hídrica 2012).

talado 6 estaciones meteorológicas con medición directa de la cantidad de nieve que están en funcionamiento desde el año 2000. Los datos se publican mensualmente en un boletín de la repartición, transformados a mm. equivalente agua. Si bien las series de estas estaciones son aún de pocos años de extensión temporal, permiten tener una estimación aproximada de la variabilidad temporal y espacial de las nevadas.

En la figura 2 puede observarse que la acumulación (en promedio de los últimos 5 años) comienza en los meses de abril-mayo y se extiende hasta mediados de setiembre, cuando los procesos de fusión prevalecen.

Sin embargo, se observa una gran variación anual tanto en la cantidad máxima de nieve acumulada (<100mm EAN hasta >700 mm EAN, donde EAN es la escala en mm que determina el Agua Equivalente Nieve) como en el momento de fusión (desde fines de agosto hasta principios de octubre). Debe señalarse que la precipitación en las altas cuencas es predominantemente invernal, desde abril a octubre. Durante los meses de verano, la cantidad de precipitación es sumamente escasa.

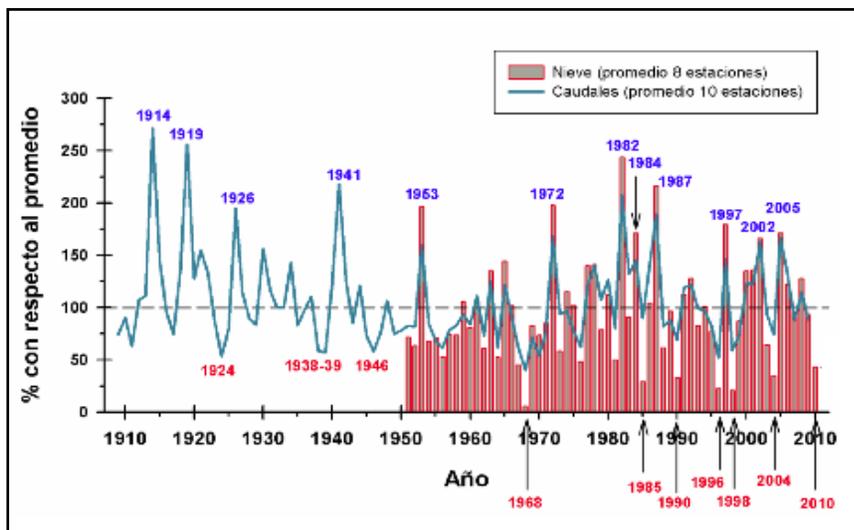


Figura 3: Promedio regional de carreras de nieve y caudal medio regional del periodo Noviembre-Febrero, expresados como % del equivalente agua del periodo base 1966-2000. El coeficiente de correlación entre las series es de $r = 0.945$ $p < 0.001$ (altamente significativa). AEN = agua equivalente nieve. Fuente: Masiokas et al (2010).

LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN NIEVE – CAUDAL.

Existe una alta relación entre la cantidad de nieve caída en la estación invernal con los caudales emergentes del periodo estival (fig. 3). El coeficiente de correlación en-

tre estas series explica el 89% de la variancia.

La figura 3 también resulta ilustrativa de la gran variabilidad de la precipitación nival y de los caudales. Es interesante observar que la relación entre el caudal y las nevadas no es tan ajustada en los extremos, particularmente cuando el año es de escasa precipitación. En estos casos el caudal es algo mayor de lo esperado y no puede descartarse que este efecto sea el producto del aporte al caudal del derretimiento de los glaciares de la cuenca.

Las variaciones en las cantidades de nieve están relacionadas a fenómenos de circulación atmosférica y en particular al forzante conocido como El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). En los años "Niño", con anomalías de temperatura positiva en el Pacífico Ecuatorial, la precipitación suele ser mayor que la media, mientras que durante los años "Niña" que presentan temperaturas por debajo de lo normal en el Pacífico Ecuatorial, la precipitación se ubica por debajo de los valores medios.

Sin embargo debe señalarse que existen otros mecanismos capaces de incrementar la precipitación de nieve, de manera que las nevadas abundantes no se producen exclusivamente durante el Niño.

■ LOS GLACIARES COMO RESERVA HÍDRICA

En los sectores más elevados y protegidos de la radiación solar, la nieve persiste de un año para el siguiente y forma con el tiempo cuerpos de hielo.

Dependiendo de las variaciones anuales de la precipitación nival, de la temperatura y de la topografía, los glaciares aumentan su masa con los

años de nevadas invernales abundantes, mientras que sus volúmenes se reducen en los años secos.

Estos cuerpos de hielo y sus fluctuaciones son un indicador a largo plazo de las variaciones climáticas ocurridas en la cuenca. Con su movimiento los glaciares dejan distintas evidencias de su paso que, pueden ser fechadas usando técnicas apropiadas, constituyen un registro de las condiciones ambientales del pasado.

En la región de Cuyo, así como en la mayoría de las montañas del mundo, se observa una sostenida

disminución de los glaciares cuyo retroceso se manifiesta por lo menos desde principios del Siglo XX. Un ejemplo muy ilustrativo es el retroceso experimentado por el Glaciar del Humo de la cuenca superior del Río Atuel (Foto 1).

Estudios realizados en la vertiente oeste (Chile) han permitido estimar que el retroceso de algunos glaciares en la cuenca del Río Cachapoal comenzó probablemente a mediados del siglo XIX y ha continuado hasta el presente aunque, probablemente, con algunos episodios de avances durante épocas de mayor precipitación (fig. 4).



Foto 1 a y b: Glaciar del Humo, Cuenca del Río Atuel. La foto superior (a) fue tomada en 1914 por W. Von Fischer, y la inferior (b) en 1982 por Daniel R. Cobos. (Cobos and Boninsegna, 1984).

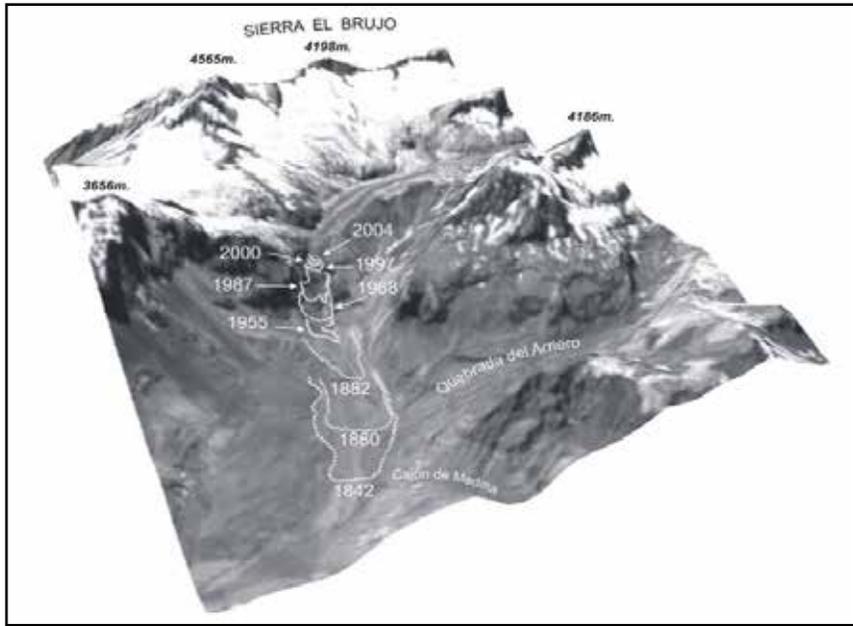


Figura 4: Fechas estimadas de las posiciones frontales del Glaciar Cipreses en la cuenca del río Cachapoal, Chile, reconstruidas mediante documentos históricos, iconografías, fotografías aéreas e imágenes satelitales (Lequesne et al 2009).

nuyendo en forma acelerada. (Lascano y Villalba, 2007)

Este fenómeno llevó al Parlamento argentino y al Poder Ejecutivo a discutir y promulgar la Ley Nacional de Protección de los Glaciares en el año 2010, cuyo espíritu es evitar acciones antrópicas que puedan alterar el balance de los glaciares y contribuir a su disminución.

Más allá de las complejidades de toda ley, es importante destacar que en su Artículo 1 la ley define a los glaciares como “bienes públicos” y por lo tanto pertenecen a toda la sociedad. Además la ley establece la necesidad de realizar un inventario de los cuerpos y del hielo de la Nación para conocer la situación de la reserva hídrica que los glaciares significan. Este inventario debe ser

El marcado retroceso que se observa es en realidad el producto de balances de masa negativos. La determinación del balance de masas es muy compleja, requiere de varios años de mediciones y de una logística para operar en condiciones bastante extremas. En la cuenca del Río Mendoza, se eligió un glaciar representativo de la región, el llamado “glaciar Piloto” en el Cajón del Rubio (cuenca del Río Mendoza) y se han realizado mediciones desde el año 1979. Los resultados muestran que el balance de masa acumulado es altamente negativo (fig. 5).

Las poblaciones y las actividades socio-económicas de los oasis de Mendoza y San Juan han subsistido y subsisten gracias a las precipitaciones nivales. Sin embargo, las masas de hielo constituyen una reserva de agua, cuya importancia crece en años de escasas precipitaciones níveas. Debido a las observaciones que indican un derretimiento de los glaciares en toda la Cordillera, las reservas de agua dulce están dismi-

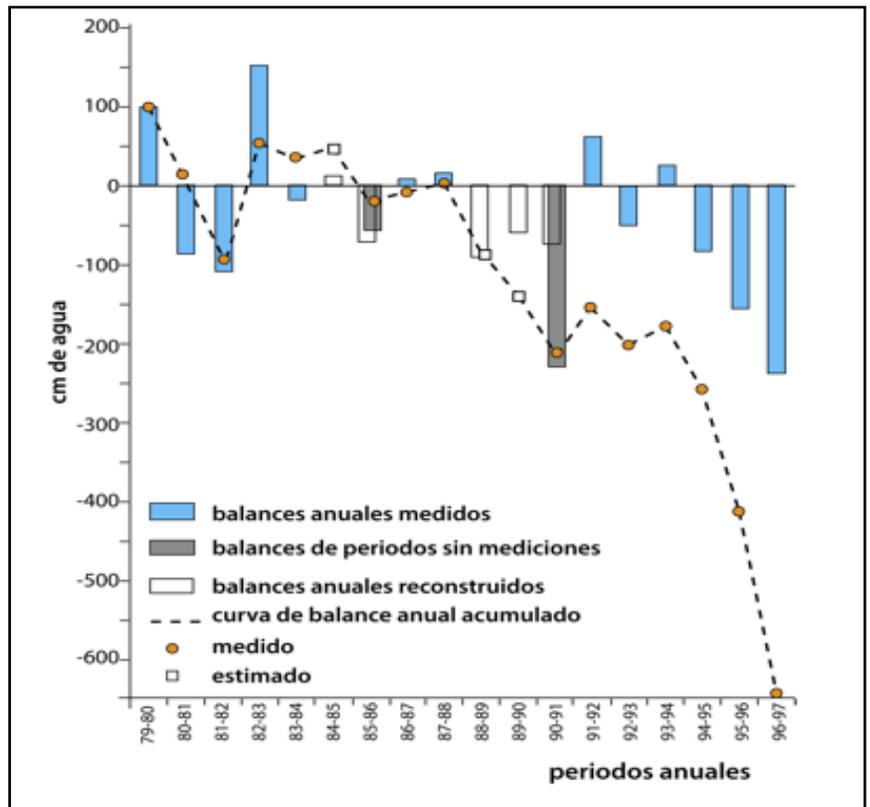


Figura 5: Balance de masa del Glaciar Piloto desde 1979 (Leiva, 1999). La búsqueda de datos de fuentes documentales combinadas con otras técnicas de análisis paleo-climático han permitido establecer que el comportamiento de la mayoría de los glaciares de la Cordillera Central, tanto en la vertiente Argentina como en la Chilena, es similar al observado en el glaciar Piloto.

repetido cada cinco años para determinar la evolución de los mismos.

El Instituto de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CONICET es la institución a quien la ley encarga la coordinación de la realización de este inventario. El trabajo se está ejecutando en todo el territorio de la Nación y en particular en la región de Cuyo se encuentra muy avanzado. En la provincia de San Juan está terminado y en etapa de revisión, en la provincia de Mendoza se encuentra terminado y revisado para la cuenca del Río Mendoza y terminado en etapa de revisión en el resto de las cuencas provinciales. Tan pronto se terminen las etapas de revisión, los resultados serán publicados.

En un inventario realizado anteriormente por miembros del IANIGLA, se tuvieron en cuenta tres tipos de glaciares, los descubiertos (con hielo desnudo), los glaciares de escombros (el hielo se encuentra cubierto por detrito) y las morenas con núcleo de hielo.

Los valores de dicho inventario datan de los años 1978 – 1981, y para la cuenca del Río San Juan se estimaron 556,02 km² cubiertos por glaciares; para el Río Mendoza 664,34 km², para el Río Tunuyán 145,08 km², para el Río Atuel

186,32 km², y para el Río Malargüe 12,34km². El total estimado para la región cuyana alcanzaba a los 1564,10 km² de los cuales corresponde un 48% a hielo descubierto y un 52% a hielo cubierto. (Bottero, 2002).

■ LA VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES

Tal como se ha señalado, la variabilidad de los caudales emergentes en los ríos de la Región Cuyana depende fundamentalmente de la cantidad de precipitación nival caída durante el invierno. Otros factores como la temperatura, la topografía de la cuenca (altura y exposición relativa) y su extensión pueden hacer que el hidrograma de un río presente los máximos y los mínimos de caudales en fechas diferentes de otro río cercano (Lascano y Villalba, 2005).

Sin embargo, la tendencia al aumento de la temperatura está alterando el hidrograma de los ríos andinos ya que el proceso de fusión de la nieve comienza más temprano, incrementando el caudal en los meses de primavera, con el pico máximo que se traslada más temprano en el ciclo hidrológico y la disminución de los caudales de verano por agotamiento de la masa de nieve de ablación (fig. 6).

Esta alteración en la distribución anual de los caudales puede tener un alto impacto en la distribución del agua para riego y en el manejo de las presas para generar hidroelectricidad

■ EL CLIMA EN LOS VALLES PRODUCTIVOS:

Los valles de Mendoza y San Juan, al pie de la Cordillera, albergan la mayoría de las actividades productivas. En ellos prevalece un clima mediterráneo, con inviernos con heladas en ocasiones severas y veranos prolongados y calurosos, con precipitaciones frecuentemente intensas, de corta duración, producto de tormentas convectivas, con ocasional caída de granizo. Es un clima de gran variabilidad, con tendencia de la temperatura y de la precipitación de verano a incrementarse (fig. 7 y fig. 8). Esta precipitación estival ha aumentado durante las últimas décadas en forma significativa, si bien por una parte incrementa los riesgos de granizo y de enfermedades criptogámicas, por otro constituye un aporte de agua que puede aliviar condiciones de sequía. La existencia de una amplitud térmica notable es altamente favorable para asegurar la calidad de algunos cultivos como el de la vid.

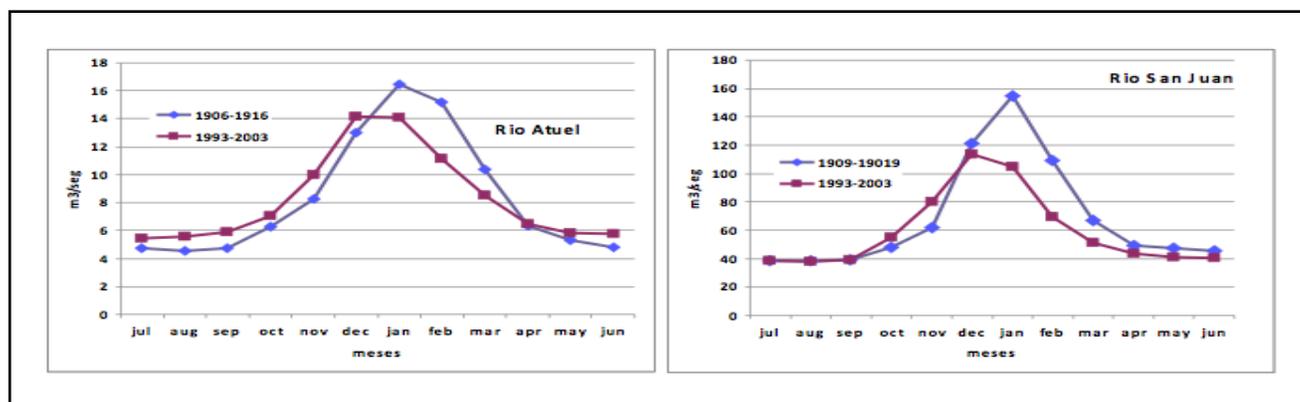


Figura 6: Módulos medios de los ríos Atuel y San Juan para dos décadas, una a principios del registro instrumental y la otra a comienzos de este siglo. Se observa claramente la modificación del hidrograma medio.

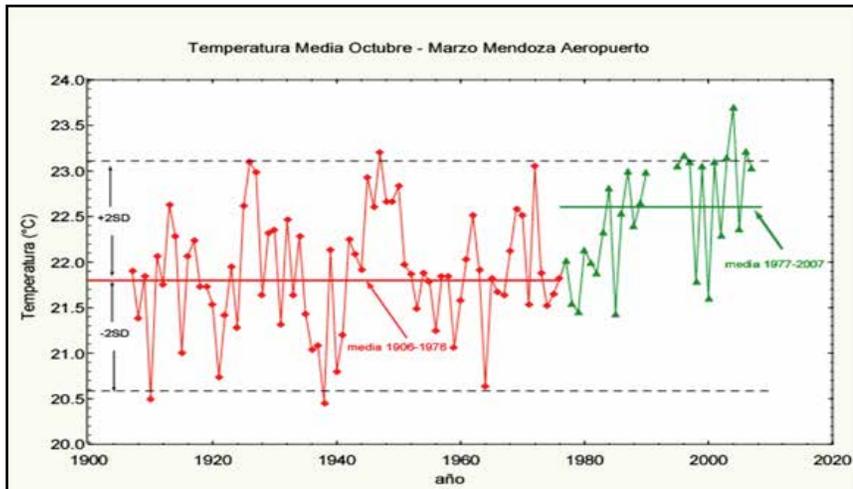


Figura 7: Temperatura media de primavera-verano en Mendoza. Se observa un incremento notable luego de 1976. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

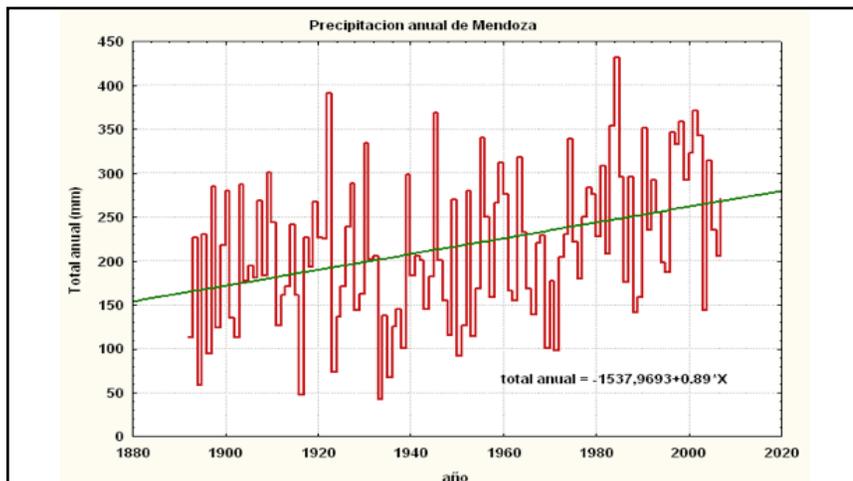


Figura 8: En Mendoza, la precipitación se produce en el verano y representa el 85% del total. Se observa su alta variabilidad y una tendencia significativa a aumentar. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

■ LOS PRONÓSTICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA REGIÓN:

Para evaluar el comportamiento de estas tendencias en la variabilidad de las precipitaciones, de la temperatura, de los caudales erogados por los ríos y del hidrograma anual frente a escenarios de Cambio Climático resultan apropiados los modelos de circulación general y, en especial, las versiones regionales de más alta resolución.

Estos modelos permiten evaluar

escenarios futuros en donde se pueden construir hipótesis sobre la influencia de distintos factores sobre el clima. Por ejemplo, se pueden analizar los valores de las variables climatológicas en un futuro con concentraciones mayores de CO₂, con cambios en el uso del suelo, etc. También se puede estudiar el posible comportamiento de valores extremos y evaluar los impactos futuros sobre los cultivos de los oasis.

Existen en la actualidad numerosos modelos de circulación general, con mayor o menor grado de sofis-

ticación, sin embargo, enfrentan el problema de describir adecuadamente las regiones montañosas, en donde existen fuertes variaciones del relieve en pocos kilómetros.

Para aumentar la resolución espacial se están utilizando los llamados “modelos regionales” que se enfocan sobre una región determinada haciendo uso de salidas de modelos generales. La resolución de estos modelos alcanza a grillas de 0.25° x 0.25° grados de latitud – longitud (aproximadamente 25 x 25 kilómetros).

Para la zona de los oasis del centro-oeste argentino, se dispone de salidas del Modelo PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies), una de ellas elaborada por INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Pablo, Brazil) (Marengo et al, 2009), otra realizada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (Conama, 2006) y una provista por el Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA – CONICET – UBA) elaborada con el modelo MM5 (Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model) (Nuñez, 2006; Nuñez y Solman, 2006).

Las simulaciones de los modelos se comparan con el clima observado durante un periodo común o “línea base” y se corrigen las desviaciones sistemáticas de los valores entre el modelo y los datos observados. La proyección del clima hacia el futuro se realiza bajo distintos escenarios de cambio, tales como mayor o menor emisión de gases de efecto invernadero, implementación de medidas de mitigación, etc. Estos escenarios han sido propuestos por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) para analizar una amplia variedad de situaciones posibles derivadas del cambio climático en distintos horizontes temporales.

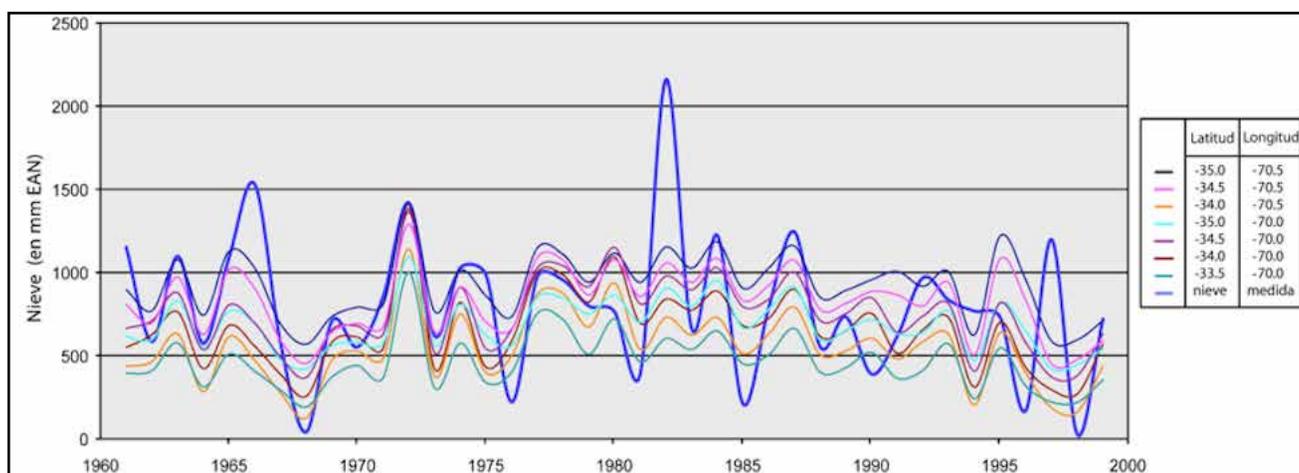


Figura 9: Relación entre la cantidad de nieve caída en la estación Valle Hermoso con las precipitaciones estimadas por el modelo PRECIS (INPE).

Uno de los escenarios más empleados es el A2 que considera una proyección heterogénea del mundo, en donde continuará el aumento de la población mundial, el desarrollo económico estará fuertemente marcado por sesgos regionales y los cambios tecnológicos serán fragmentados, de evolución lenta. En este contexto se prevé una emisión de CO₂ cercana a 850ppm para el año 2100, con un aumento de temperatura con respecto a los valores de la década del 1990 de 3.8°C ±1°C.

Este escenario es moderadamente pesimista ya que, debido a la concepción del desarrollo y de la economía mundial, no se prevén medidas efectivas de mitigación o de desarrollo tecnológico que atenúen la evolución de las emisiones y por lo tanto del aumento de la temperatura (IPCC, Síntesis Report 2001).

El uso de los modelos mencionados, permiten realizar una estimación de los posibles impactos del cambio climático en la oferta hídrica, en los condicionantes derivados del aumento de la temperatura y de los cambios en el hidrograma. Estas estimaciones deberían permitir imaginar posibles modos de disminuir la vulnerabilidad de los oasis, imple-

mentando medidas de adaptación.

La factibilidad de emplear los modelos debe verificarse conociendo cuán bien el modelo representa al clima actual y a los caudales.

Para contestar a la pregunta ¿cuán bien representan los datos estimados por el modelo a la precipitación de nieve?, se estableció la relación entre los datos de la nieve medida con la precipitación anual estimada por el modelo (fig.9). En este caso se lo ejemplifica para la cuenca del Río Atuel utilizando los datos de caída de nieve de la estación Valle Hermoso y varios puntos de la grilla que

caen sobre dicha cuenca.

Se observa una buena relación aunque la variabilidad de los datos estimados es menor que la de la serie medida.

Otra pregunta importante de responder es: ¿cuán bien representa la precipitación estimada por el modelo a los caudales emergentes medidos en la estación de aforo de la cuenca? En este caso, el ejemplo se refiere a la cuenca del Río Diamante y se relaciona la precipitación calculada por el modelo con los caudales

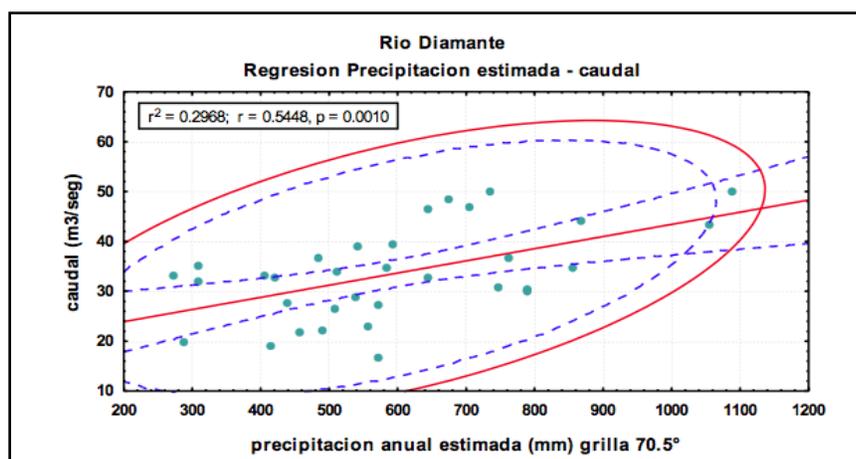


Figura 10: Relación entre la precipitación estimada por el modelo y el caudal medido del río Diamante. La correlación es altamente significativa e indica que el modelo permite representar en forma adecuada los caudales.

La correlación entre los datos del modelo y los caudales para el periodo base 1961-1990, resultó significativa para cada uno de los ríos, por lo que se establecieron entonces las respectivas ecuaciones de regresión que permitieron la estimación de los caudales futuros (fig. 10).

Los tres modelos analizados presentan un comportamiento muy similar y establecen una reducción de los volúmenes erogados

La disminución de los caudales en porcentaje varía de acuerdo a la cuenca que se considere, la del Río San Juan, ubicada más al norte, es la que tendría una mayor disminución: de aproximadamente el 21% con respecto al presente, la del Mendoza el 12%, el Tunuyán casi sin cambio, el Diamante 19% y el Atuel 15% para los modelos PRECIS y algo más extremo para el modelo MM5 (fig.11).

La figura 12 representa la variabilidad de las precipitaciones, tanto del presente como la estimada por los modelos. Se observa que recién hacia fines del presente siglo, la precipitación estaría por debajo de una desviación estándar y comenzaría a ser significativa. Es interesante notar que la disminución de la precipitación alcanzaría valores entre un 20 a un 25% menores a los actuales que son coherentes con los valores pronosticados de la disminución en los caudales (ver figura 11).

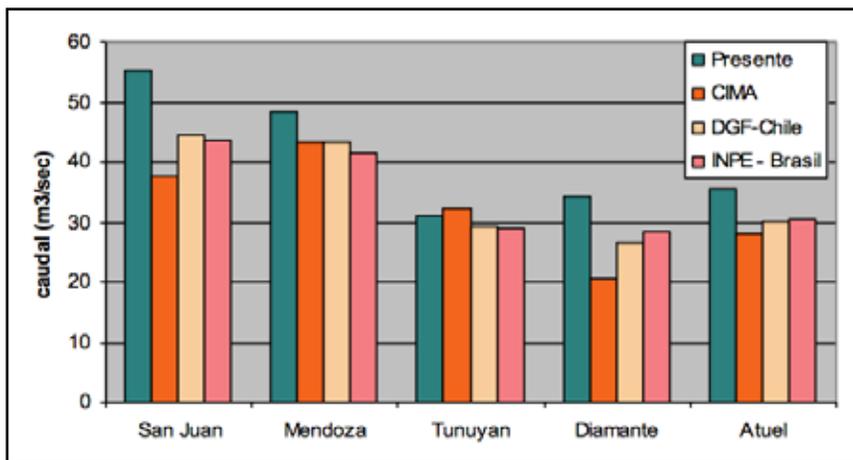


Figura 11: La estimación de los caudales futuros hecha por los tres modelos. El periodo de la línea base es 1961-1990, y la ventana temporal proyectada para los modelos PRECIS (DGF e INPE) es 2071-2100 y para el modelo MM5 (CIMA) es 2081-2090.

EL FUTURO DE LOS GLACIARES Y DE LA NIEVE

Se ha señalado que uno de los “síntomas” más visibles de que algo está cambiando en la Cordillera es la retracción de los glaciares. Esta retracción puede ser causada por aumento de la temperatura, por disminución de las nevadas o por el efecto conjunto de ambos fenómenos. En todo caso juega un papel muy importante la posición de la isoterma de 0°C.

La fusión de la nieve depende de que se alcancen temperaturas superiores a los 0°C, por lo que la altura de la isoterma de 0°C indica la región por encima de la cual no habrá fusión, mientras que por debajo de esta cota, tendrá energía suficiente para transformar la nieve en agua líquida. Además, separa la región en donde cae precipitación líquida de donde nieva y en donde los suelos permanecen congelados. Esta línea tiene variaciones estacionales, desciende en el invierno y asciende en el verano. La amplitud de esta oscilación indica la superficie sobre la cual se produce la fusión de la nieve que origina los caudales emergentes.

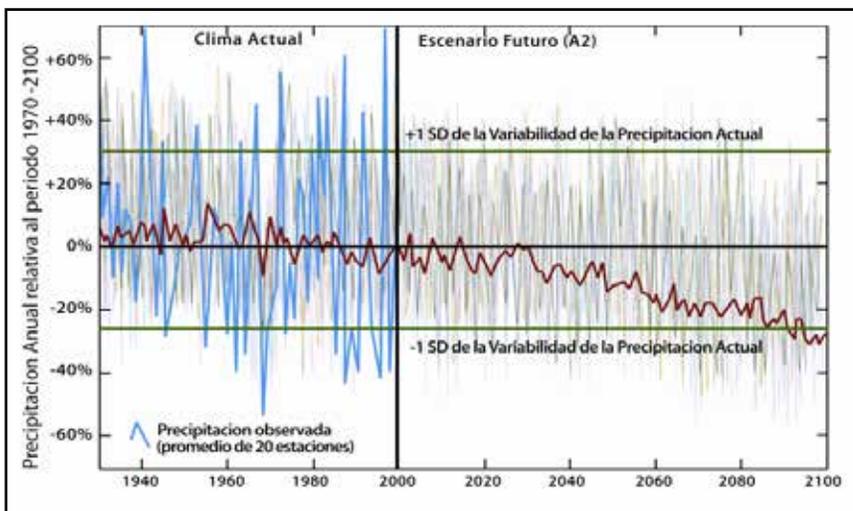


Figura 12: La variabilidad de las precipitaciones (clima actual en línea azul) es reproducida por los modelos (líneas finas). En este gráfico se presenta el resultado de 21 modelos y la línea roja es la media de la estimación dada por los modelos en cada punto (Falvey, 2007).

La máxima altura alcanzada por la línea de 0° permite estimar la zona en donde la nieve es perma-

nente y en donde su acumulación y transformación en hielo permite la existencia de glaciares.

El uso de los modelos regionales permite estimar los movimientos de la línea de 0°C y, combinados con la representación de la superficie de la montaña mediante modelos digitales de elevación, evaluar la superficie de almacenamiento para distintos meses del año y para ventanas temporales futuras.

La proporción de la disminución de las superficies de almacenaje es distinta para cada cuenca ya que hay diferencias topográficas entre ellas, tanto en su latitud como en su altura y en su superficie total.

Así, las cuencas ubicadas al norte de la región (Jáchal, San Juan, Mendoza y Tunuyán) que poseen mayor altura media presentan variaciones en los porcentajes de superficie so-

bre 0°C para la década 2020-30 cercanos a menos un 17%.

En las cuencas ubicadas hacia el sur, esta proporción es notablemente mayor en el verano, dado que las cuencas tienen menor altura. Así, por ejemplo, la cuenca del Diamante es relativamente baja, con pocos cerros con alturas superiores a los 4800mts por lo que no existen muchos glaciares.

En la actualidad, durante el invierno el 72% de la cuenca está en la zona con temperaturas menores a 0°C; para la década del 2021-2030, esta proporción descendería al 64% y para la década del 2091-2100 alcanzaría a solo el 46%. Durante el verano, en la actualidad la superficie en donde se mantiene la nieve es del 6%, se estima para el 2021-30 en 2.5% y para el 2080-2100 en apenas un 0.1%, prácticamente no habrá superficie capaz de mantener

nieve de un año para otro.

La reducción de las superficies captadoras afectará necesariamente el balance de los glaciares, acentuando la disminución y de continuar esta tendencia desaparecerán.

■ EL IMPACTO EN EL OASIS

Los modelos regionales permiten realizar estimaciones sobre la probable evolución de los parámetros climáticos en los valles productivos y, teniendo en cuenta los requerimientos de los cultivos en cuanto a temperatura y precipitación, estimar posibles impactos en el rendimiento y calidad de los cultivos.

Como un ejemplo, la figura 14 muestra la evolución de la precipitación en la provincia de Mendoza según el modelo PRECIS (INPE) para el escenario A2

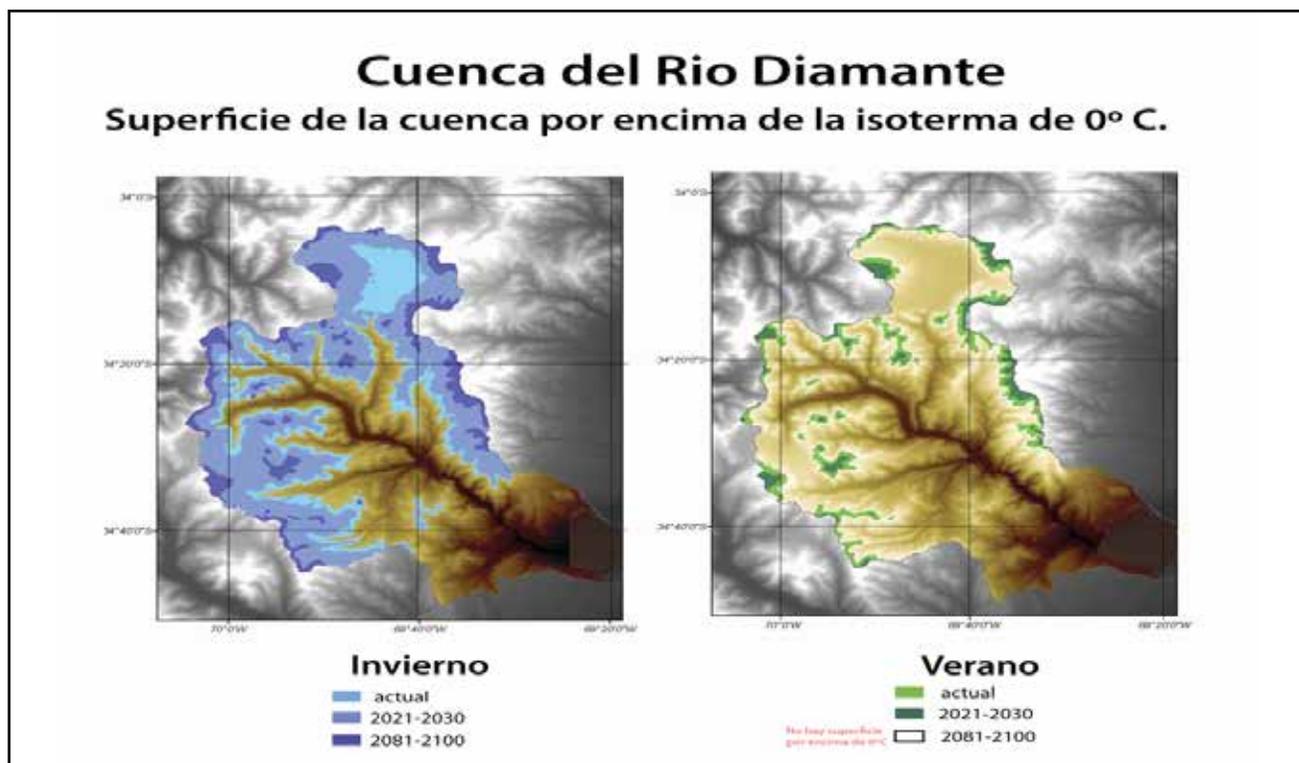


Figura 13: Sobre una imagen satelital se ha superpuesto la posición de la línea de 0°C que define la superficie de almacenamiento de nieve. Esta línea, proyectada al futuro mediante los modelos de circulación, indica que en los veranos del periodo 2081-2100, superará la altura de los picos de la cuenca por lo que no habrá almacenaje de nieve de un año para el otro. (Boninsegna y Villalba, 2006b)

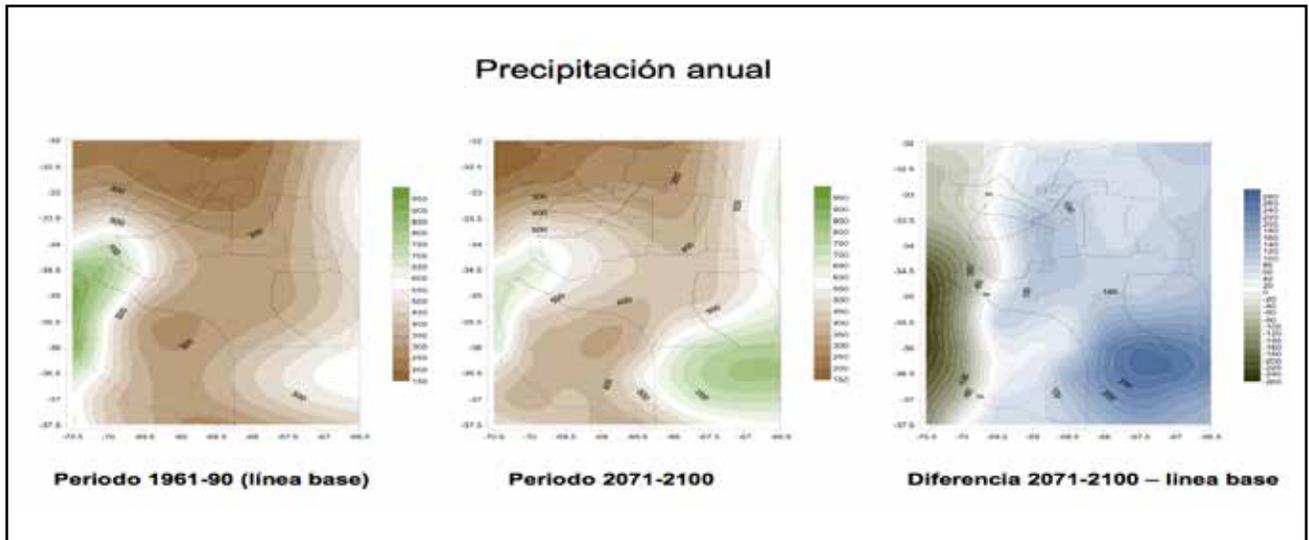


Figura 14: Estimación de la precipitación en la provincia de Mendoza según el Modelo PRECIS (INPE). Se muestra la línea base considerando el periodo entre 1961 y 1990 (treinta años) y el periodo 2071-2100. La figura a la extrema derecha indica la diferencia entre los valores del periodo futuro y la línea base. Se observa claramente que mientras se predice una disminución de la precipitación en la montaña, en el llano los valores se incrementan significativamente.

■ DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La región de los oasis del centro-oeste de Argentina con una concentración de las actividades productivas y de la población en poco más del 3.5% de su territorio, está fuertemente condicionada por la oferta hídrica que obra como factor limitante de su expansión. Teniendo en cuenta las observaciones de las tendencias del clima actual y las predicciones del cambio climático, el aumento de la temperatura y la disminución de la oferta hídrica, acentuarán más dicha dependencia.

Para disminuir la vulnerabilidad frente a estos cambios, se requiere la implementación de medidas de adaptación y para ello es necesario un conocimiento preciso del funcionamiento del ciclo hidrológico y de sus condicionantes.

Se puede afirmar que:

- Los ríos de la región cuyana son de régimen hidro-nival, fuertemente condicionados por la cantidad de

precipitación sólida que se acumula en la cuenca superior.

- El proceso de escorrentía se produce por fusión de la nieve acumulada en la cuenca, proceso en el cual la temperatura determina el momento y la velocidad con la que la nieve se funde.

- La variabilidad de las nevadas es muy alta, con años de abundancia y años de escasez, aunque para la región su tendencia es a disminuir. Los periodos de mayor precipitación coinciden con situaciones particulares de la circulación atmosférica, como el fenómeno de El Niño.

- Los glaciares de la región muestran una retracción generalizada de sus frentes y mediciones de mayor precisión indican la pérdida de una importante masa de hielo. Estos cambios son coherentes con el aumento de la temperatura observado y pronosticado por los modelos de cambio climático.

- El aumento de la temperatura está

alterando el hidrograma de los ríos porque la nieve comienza a fundir más temprano de modo que los caudales máximos anuales se adelantan más de un mes y disminuyen durante los meses de verano debido a que se agota la carga de nieve. Este proceso tiene implicancia en el manejo del agua para irrigación y para las presas de hidroelectricidad.

- En los valles, a diferencia de la montaña, se observa mayor cantidad de precipitación en el verano, con ocasional caída de granizo. También se observa incremento de la temperatura. La mayor precipitación en el verano, aunque en alguna medida aumenta la incidencia de enfermedades criptogámicas, puede paliar condiciones de sequía y debería ser tomada en cuenta al considerar medidas de adaptación.

- Los modelos de simulación empleados muestran cambios importantes en la precipitación y la temperatura para los escenarios climáticos futuros, estos cambios

se acentúan notablemente hacia el final del presente siglo.

- La proyección de estos cambios climáticos a los caudales medios anuales se traducen en una disminución en las descargas emergentes con mayor impacto en los ríos San Juan y Mendoza y menor en relación a los caudales medios actuales en los ríos Tunuyán, Diamante y Atuel.
- La estimación por los modelos de la posición de la isoterma 0°C indica una disminución de la superficie de acumulación de nieve en el invierno y de la superficie que permite la permanencia de nieve en el verano. Las cuencas más afectadas serán las cuencas ubicadas hacia el sur de la región por ser las cuencas más bajas, en las cuales la disminución de las superficies mencionadas alcanza a porcentajes entre 75 y 80% para fines de este siglo con respecto a las superficies actuales.
- Una consecuencia será la desaparición paulatina de los glaciares por elevación de la línea de 0°C y disminución de las precipitaciones con la pérdida de la capacidad reguladora y de la reserva de agua que los mismos poseen.
- La elevación de la línea de 0°C en el invierno implicará la disminución de superficies aptas para la práctica de deportes invernales.
- La elevación de la línea 0°C de verano expondrá superficies que en la actualidad están en forma permanente o casi permanentemente congeladas con riesgo de pérdida de estabilidad y aumento de movimientos en masa.

Estas consideraciones permiten imaginar cuales serían las medidas de adaptación que podrían ser im-

plementadas y sus características.

En general, estas medidas para ser efectivas deben ser acompañadas con una concientización y educación de la población acerca del valor del recurso hídrico, de manera que su conservación y buen uso se transforme en una cuestión de moral pública. A partir de allí, existen medidas recomendables que van desde el ahorro de agua en las actividades domésticas, en el aumento de la eficiencia del riego en fincas hasta en el uso de especies ornamentales de menor requerimiento hídrico para jardines. A su vez, la gobernanza debe asumir sus responsabilidades al hacer más eficiente el manejo del agua, tanto en la red de distribución con fines de regadío, (impermeabilización o entubamiento de cauces) como en la red de distribución del agua potable.

Es deseable además desarrollar tecnologías que permitan aumentar la prevención a contingencias, como ciclos de sequía, cuya ocurrencia es de alta probabilidad..

Por ejemplo, los modelos indican que la variabilidad de las nevadas y de los caudales continuará siendo muy elevada. Esto significa que habrá años de mayor cantidad de nieve y otros de escasez, y que estos últimos serán cada vez mas frecuentes. Como la temperatura fundirá más rápidamente la nieve, el contar con sistemas de almacenamiento (diques) y/o tecnología que permita la recarga de acuíferos en los años de abundancia sería muy positivo. Asimismo teniendo en cuenta que la precipitación en el llano se incrementa y que solo el 3.5% de superficie esta bajo irrigación, se podrían idear sistemas que permitan captar y redistribuir esta agua.

Todas las medidas de adaptación deberían ser realistas y de fácil apli-

cación por la sociedad y la gobernanza con el propósito de minimizar los riesgos del cambio climático y de potenciar las ventajas relativas de la región.

Es responsabilidad del sistema científico – tecnológico del país, ayudar a instalar el tema del cambio climático en la agenda pública, facilitando su discusión y ayudando a los tomadores de decisión a comprender y enfrentar la magnitud del problema.

■ REFERENCIAS

- Boninsegna, J. y R. Villalba (2006a). Los condicionantes geográficos y climáticos. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. *Primer informe a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*. 19pp.
- Boninsegna, J. y R. Villalba (2006b). Los Escenarios de Cambio Climático y el impacto en los Caudales. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. *Segundo informe a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*. 19pp.
- Bottero, R. (2002) Inventario de Glaciares de Mendoza y San Juan. In: Trombotto, D. and R. Villalba (eds.), (2002). IANIGLA, 30 Years of Basic and Applied Research on Environmental Sciences. Zeta Editores, Mendoza, Argentina, pp. 165 -169.
- Cobos, D. R and J. Boninsegna, (1983). Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel river basin, Mendoza, Argentina. *Quaternary of South América and Antarctic Peninsula* 1:61-82.

- CONAMA (2006) Estudio de la variabilidad climática de Chile para el siglo XXI. Informe Final. *Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile*. 71p
- Dirección de Gestión Hídrica, (2012). Boletín Hidrometeorológico Junio 2012. *Departamento de Evaluación de Recursos Hídricos*. Departamento General de Irrigación, Pcia de Mendoza.
- Falvey, M. (2007). Modelación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos de Chile. *Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile*. 4º Taller de Circulación Oceánica y Atmosférica de la región del Pacífico Sureste. 18 de Octubre 2007, Santiago, Chile.
- IPCC (2001). Climate Change 2001. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson R. T. and the Core Writing Team (eds). Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. 398pp.
- Lascano, M. E., Villalba, R., (2005). Impacto del calentamiento regional sobre el régimen de los ríos de alimentación nival en la Argentina. XX Congreso Nacional del Agua (CONAGUA2005), Mendoza, Argentina. 16 pág. (CD).
- Lascano, M.E., Villalba, R. (2007). Algunas precisiones sobre el rol de los glaciares en el escurrimiento andino. XXI Congreso Nacional del Agua (CONAGUA2007), Tucumán, Argentina. 17 pág. (CD).
- Le Quesne, C., Acuña, C., Boninsegna, J., Rivera, A., Barichivich, J. (2009) Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 281: 234-244
- Leiva, J.C., (1999): Recent fluctuations of the Argentinian glaciers. *Global Planet.Change*, 22, 169-177.
- Marengo, J., Jones, R., Alves L. M., Valverde, M. C. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system *Int. J. Climatol.* 29: 2241–2255
- Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B., Mauget, S. (2010). Intra- to Multidecadal Variations of Snowpack and Streamflow Records in the Andes of Chile and Argentina between 30° and 37°S. *Journal of Hydrometeorology*, 11: 822-831.
- Nuñez, M. (2006). Desarrollo de escenarios climáticos en alta resolución para Patagonia y zona cordillerana. Período 2020/2030. Proyecto Desarrollo de Escenarios Climáticos y Estudios de Vulnerabilidad. Informe Nro 3. *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. 22pp.
- Nuñez, M., Solman, S. (2006). Desarrollo de escenarios climáticos en alta resolución para Patagonia y zona cordillerana. Período 2020/2030. Proyecto Desarrollo de Escenarios Climáticos y Estudios de Vulnerabilidad. Informe Nro 2. *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. 31pp.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos, (2004). Estadística Hidrológica de la Republica Argentina, *Secretaría de Obras Públicas*. Edición digital ISBN:987-98869-3-3 .

EL DESIERTO COMO ESPACIO DE OPORTUNIDAD: DESERTIFICACIÓN VERSUS DESARROLLO SUSTENTABLE

Palabras clave: tierras secas, desertificación, políticas macro-económicas, sustentabilidad, Provincia de Mendoza, Argentina.
Key words: drylands, desertification, macro-economic policy drivers, sustainability, Mendoza province, Argentina.

La provincia de Mendoza, en la región centro-oeste argentina, comprende un vasto territorio de tierras secas organizado sobre la base de la confrontación entre tierras secas irrigadas “oasis” y tierras secas no irrigadas “desierto”. El modelo de desarrollo impulsado desde fines del siglo XIX, basado en el dominio de los recursos estratégicos agua y suelo, favoreció una modalidad de desarrollo regional fuertemente apoyado en las tierras irrigadas que permitió la consolidación del modelo vitivinícola exportador. En el presente, los territorios no irrigados de Mendoza no sólo deben dialogar con un soporte físico limitado y frágil sino, además, con fuerzas sociales, políticas y económicas que los ubican en los márgenes del sistema.

Los espacios no irrigados funcionaron como proveedores de recursos naturales para el desarrollo de las zonas irrigadas y de mano de obra para la puesta en marcha de las actividades productivas dominantes. Paralelamente, los territorios no irrigados fueron cercenados en el ejercicio de su derecho al acceso a recursos estratégicos.

El trabajo profundiza el análisis de Mendoza como un caso que muestra un vasto proceso de empobrecimiento territorial, exclusión social y avance de la desertificación. Se presentan opciones para la lucha contra la desertificación basadas en el conocimiento de las potencialidades y restricciones de las tierras secas y el establecimiento de Sistemas de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación participativos tendientes a promover una estrategia de desarrollo rural de las tierras secas no irrigadas, basada en los recursos endógenos del territorio y que permita la inclusión plena de estos territorios y actores en los procesos de producción.

Argentina’s central west encompasses a vast dryland territory, organized on the basis of a great contradiction: the confrontation between oasis and rainfed area (desert lands with no irrigation). Within a territory under conditions of aridity with different desertification levels, Mendoza is a paradigmatic case. The development model fostered at the end of the XIX century was based on the supremacy of strategic resources: water and soil. A mode of regional development reliant on irrigated lands was supported there from to consolidate the wine exporting model.

Nowadays, Mendoza’s non-irrigated lands and their people are marginal not merely by the effect of a restrictive environment but also by the combined action of a fragile environment and the weightier social, political and economic forces that have banished them to the system’s margins. Analysis of the region’s history informs that non-irrigated spaces provided both strategic natural resources for development of irrigated areas and labour to start production activities.

Simultaneously, non-irrigated lands were restricted in their right to access strategic resources for their social reproduction: water, land and identity.

The analysis goes deeper into a case study with signs of a serious process of territory impoverishment, social exclusion and progress of desertification and poverty and presents the efforts to encourage a rural development strategy for non-irrigated drylands that allows full inclusion of these territories and actors as rights-bearing subjects.

■ ARGENTINA, EL PAÍS DE LAS TIERRAS SECAS

Desde 1996, con la preparación

del Programa de Acción Nacional de lucha contra la desertificación (PAN), coordinado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustenta-

ble, se viene advirtiendo sobre la necesidad de sensibilizar a los tomadores de decisión y a la sociedad sobre la importancia que revis-

■ Elena María Abraham^{1*}
Mario Salomon²

(1) Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA)-CONICET.

(2) Departamento General de Irrigación, Gobierno de Mendoza.

*abraham@mendoza-conicet.gob.ar

te para Argentina tomar conciencia de que la mayor parte de su territorio son tierras secas, afectadas por la desertificación (SAyDS, 2002). Un amplio abanico clasifica a las tierras secas, según su grado de restricciones, desde las hiperáridas y áridas los "desiertos", hasta las semiáridas y las sub húmedas secas, estas últimas con mayor cantidad de precipitaciones, pero siempre insuficientes para implementar cultivos sólo con su aporte.

El problema ambiental por excelencia que afecta a las tierras secas es la desertificación, la pérdida de su productividad natural y social, causada por la variabilidad climática y por las actividades humanas. La desertificación ocurre porque estos ecosistemas son sumamente vulnerables a la sobreexplotación y aprovechamiento inadecuado de la tierra. La deforestación, el pastoreo excesivo y las prácticas inadecuadas de riego reducen la productividad de la tierra y contribuyen al aumento de la pobreza. A su vez, la presión excesiva sobre los recursos origina la degradación de muchas de esas tierras secas y por esta vía se alimenta un círculo donde consecuencias, síntomas y causas se confunden permanentemente. Los procesos de desertificación son complejos, afectando un ciclo de causa-efecto natural y social.

La porción continental de Argentina, entre los 22° y 55° de latitud sur, a lo largo de 3.700 km, se extiende con una superficie de 2.758.829 km². Esta gran extensión determina una amplia variedad climática, desde climas subtropicales al norte hasta los fríos en el extremo sur y en las zonas montañosas, con predominio de los templados en la mayor parte del país. Según el régimen hídrico se divide al territorio en tres grandes regiones: la húmeda, que ocupa el 21 % de la superficie; la subhúmeda y

semiárida, con aproximadamente el 27,50 % y la región árida - la mayor que representa el 51,50 % de la superficie (CAZALAC, 2010), extendida sobre la porción occidental y sur del área continental, desarrolladas a la sombra de lluvia de la Cordillera de los Andes. De este modo, Argentina es el país de América Latina con mayor proporción de superficie árida, semiárida y subhúmeda seca. La relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial define áreas con predominio de regímenes hídricos deficitarios sobre el 70% del territorio de Argentina. Aproximadamente el 30 % del total nacional de habitantes vive en estas tierras secas y de éstos, aproximadamente un tercio vive bajo la línea de pobreza (Abraham et al. 2011).

A pesar de la magnitud que alcanzan las tierras secas a nivel nacional y la gravedad de los procesos de desertificación que las afectan, esto no se ha visto traducido en la formulación de políticas públicas que colaboren a prevenir o controlar los procesos de degradación. Argentina es más conocida por ser el país "granero del mundo" que por ser el "país de las tierras secas" (Abraham et al. 2009). Con las políticas de promoción y desarrollo históricamente focalizadas en los núcleos de producción de la pampa húmeda, el resto de las regiones funcionaron como proveedoras de insumos y mano de obra. Desde la época colonial el diseño de las vías de comunicación y transporte de nuestro país confluyen en la capital para facilitar la concentración de riquezas y su comunicación con el exterior, fundamentalmente a través del puerto de Buenos Aires. La mejor expresión territorial de esta política es la macrocefalia de la Capital Federal, reflejada en la distribución de población y alimentada por las intensas migraciones internas producidas por el agravamiento de la

desertificación y la pobreza en el interior del país que, a su vez en un círculo vicioso, generan más desertificación y pobreza por la ausencia de población activa en las zonas desertificadas. Esta situación cambia relativamente con la consolidación de las economías regionales, puesto que cada región e incluso las provincias mismas reescribieron el esquema de relación territorios pampeanos / extra-pampeanos en una nueva contradicción que oponía los espacios productivos irrigados a los no irrigados.

■ MENDOZA, UN CASO PARADIGMÁTICO.

La provincia de Mendoza, en el centro oeste argentino, es altamente ilustrativa de esta situación: el total del territorio provincial se extiende bajo condiciones de sequedad, caracterizado por la escasez en la oferta de sus recursos hídricos, en una variada gama desde el hiperárido hasta el subhúmedo seco, si se considera la relación precipitación evapotranspiración potencial (Roig et al, 1992), con patrones de estructuración fuertemente fracturados (Figura 1). De un lado las concentraciones de ciudades y zonas rurales integradas al mercado y al amparo de los beneficios del riego (oasis) y del otro, vastos territorios rurales sin riego con población rural dispersa prioritariamente orientada a la producción pecuaria. Este panorama de extrema polarización tierras secas irrigada "oasis" / tierras secas no irrigadas "desiertos" se ha visto además acompañado y reforzado por una casi completa ausencia de políticas para las tierras secas no irrigadas (Abraham, 2009).

En Mendoza, sobre un territorio de alta fragilidad, la competencia por el uso del agua surge como uno de los principales conflictos ambientales en la interacción tierras secas

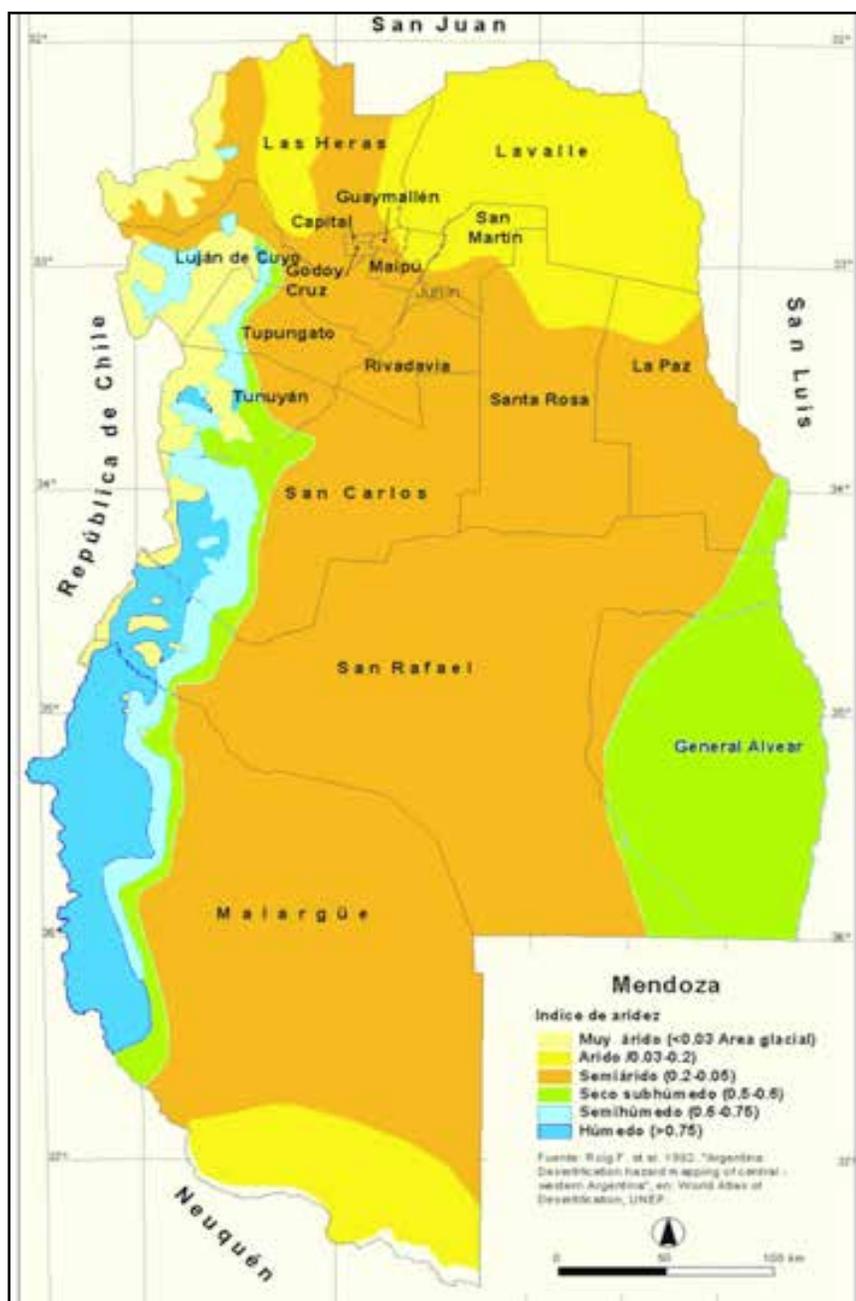


Figura 1: Provincia de Mendoza. Índice de aridez (Roig et al. 1992).

irrigadas-tierras secas no irrigadas: las áreas deprimidas del desierto ya no reciben aportes hídricos superficiales, pues los caudales de los ríos se utilizan íntegramente para el riego de la zona cultivada (Figura 2) y el consumo de los asentamientos urbanos. Las tierras secas no irrigadas se caracterizan por una gran escasez de población, ineficiencias de la red vial y por su dependencia en materia de equipamiento con respecto a centros urbanos muy alejados, predomina la ganadería extensiva (cría de ganado caprino) (Figura 3). Han ofertado a lo largo del tiempo valiosos recursos como los bosques de algarrobo (*Prosopis* spp.) y buenos pastizales que las han hecho muy atractivas para su explotación, sin considerar su sustentabilidad. Los problemas de tenencia de la tierra, el aislamiento y la marginación de los habitantes del desierto han generado fuertes movimientos de éxodo y migración rural. Esto conlleva al abandono de tierras productivas y al incremento de los procesos de suburbanización en la periferia urbana.

Un ejemplo demostrativo del proceso de desertificación lo constituye la casi desaparición de los bosques de las llanuras orientales de Mendoza. Estudios de historia ambiental muestran la degradación del bosque de algarrobos en la llanura, el que fue talado y utilizado para la



Figura 2: Los viñedos, riqueza de las tierras secas irrigadas "oasis".



Figura 3: Actividades pastoriles de subsistencia en las tierras secas no irrigadas.

conformación del oasis vitivinícola. Se ha estimado que en un período de 35 años, entre 1901 y 1935, época de expansión del trazado ferroviario, la cantidad total de productos forestales extraídos fue de 992.748 Tm, lo que significó 198.550 ha deforestadas (Abraham y Prieto, 2000). Parte de la madera entonces extraída de los bosques de la llanura se encuentra hoy en los oasis como postes y rodrones de los viñedos.

■ LAS DOS MENDOZAS: CONFLICTOS TIERRAS SECAS IRRIGADAS "OASIS"- TIERRAS SECAS NO IRRIGADAS "DESIERTOS"

Como queda de manifiesto, Mendoza presenta un marco natural heterogéneo, signado por la aridez, la restricción de los recursos hídricos y de los suelos, la pérdida de biodiversidad, los riesgos naturales y la desertificación con agudos desequilibrios económicos y territoriales cuya máxima expresión es la contradicción tierras secas irrigadas (oasis) y tierras secas no irrigadas (Figura 4).

El principal problema de las tierras secas no irrigadas de Mendoza es el proceso de desertificación que responde a causas políticas y macroeconómicas (Figura 5). El marco normativo en materia hídrica provincial permitió la organización de la administración hídrica y el desarrollo territorial bajo una perspectiva acorde al modelo agrícola irrigado tradicional de fines del siglo XIX que con el tiempo ha quedado a la zaga de las demandas y transformaciones actuales y futuras bajo una perspectiva estratégica (Abraham y Salomón, 2011).

El modelo de desarrollo elegido excluye a los territorios no irrigados y a sus actores. Hubo voluntad de transformación sólo de un sector de las tierras secas: el oasis, utilizando



Figura 4: Frontera entre tierras secas irrigadas "oasis" y tierras secas no irrigadas "desierto".

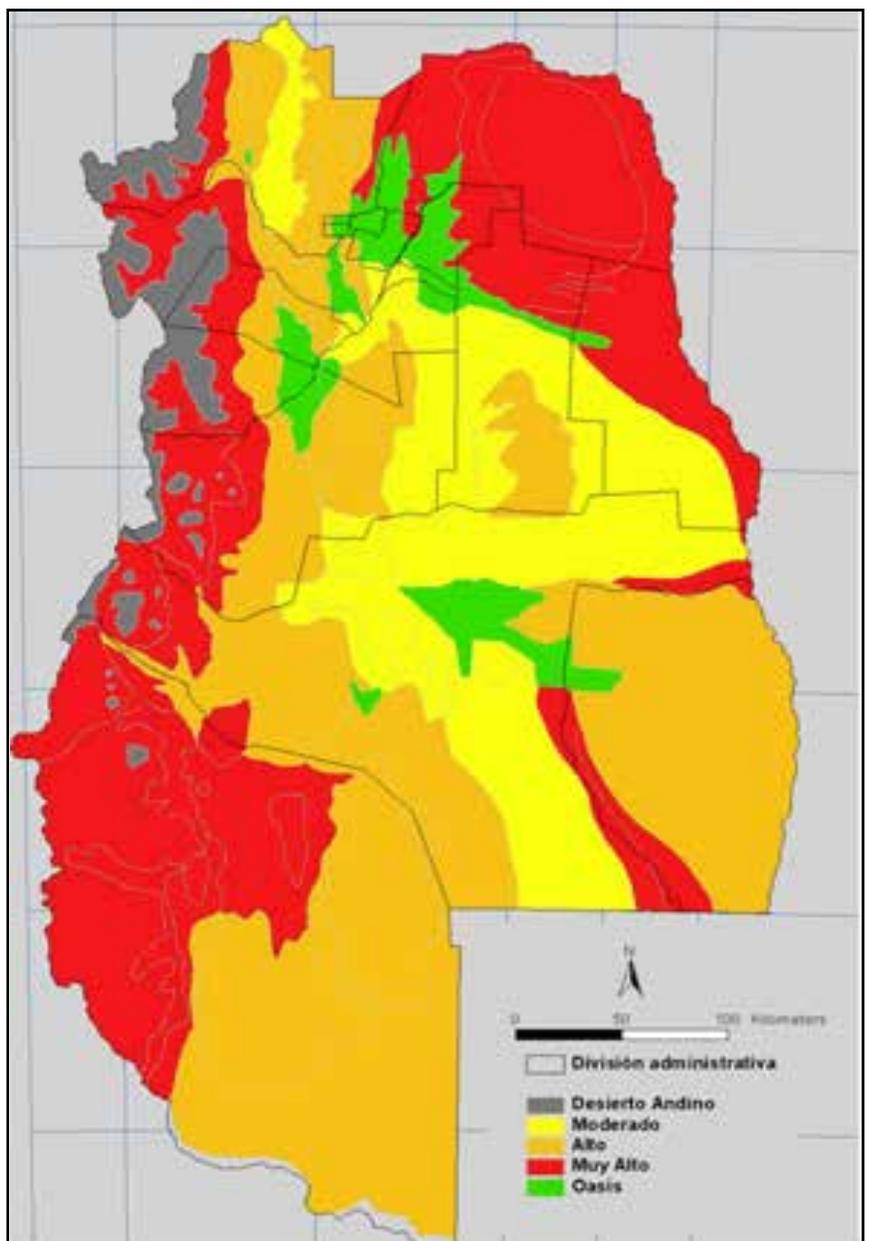


Figura 5: Provincia de Mendoza. Peligro de desertificación (Roig et al. 1992).

a las tierras secas no irrigadas como proveedoras de recursos y mano de obra. Se requiere la reformulación consensuada de los principales instrumentos legales para que contemplen las necesidades de todos los habitantes, no sólo los del oasis y que, al mismo tiempo, consideren el valor que las tierras secas poseen.

Debe advertirse en este sentido, que si bien las tierras secas no irrigadas presentan una alta gama de restricciones, poseen además importantes potencialidades. Los desiertos constituyen ecosistemas únicos por su rica biodiversidad animal y vegetal, su valor en los servicios ecosistémicos, su patrimonio natural y cultural y su capacidad para sostener procesos de producción aún en el marco de duras condiciones ambientales.

■ LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN. EL APORTE DEL CONOCIMIENTO.

A pesar de la extensión de las tierras secas en Mendoza es esencialmente difícil simplificar los análisis sobre desertificación dada la alta diversidad de situaciones socioeconómicas, políticas, étnicas y ecológicas que se presentan. La lucha contra la desertificación es imprescindible para garantizar la productividad a largo plazo de estas tierras secas. Muchos esfuerzos han fracasado por la utilización de enfoques parciales, sin tener en cuenta la complejidad, múltiples relaciones causa-efecto y sobre todo por no considerar que los pobladores de las tierras secas son su mayor recurso. Ellos conocen sus problemas y sus potencialidades y han desarrollado conocimientos, tecnologías y habilidades para producir en condiciones restrictivas. Sin embargo, no sólo han sido ignorados sino que además han sido señalados como culpables de generar la

desertificación. Con frecuencia los métodos tradicionales de utilización de la tierra se abandonaron y se sustituyeron por soluciones foráneas que en muchos casos sólo lograron exacerbar la pobreza. Sin embargo, sobre todo en los últimos tiempos, se han recogido experiencias exitosas llevadas a cabo por organizaciones que lograron escuchar a los pobladores, conocer sus problemas y prioridades, rescatar sus conocimientos para encontrar soluciones en común, llevando a la práctica los conceptos de participación, planificación de abajo hacia arriba, sensibilización de género, fortalecimiento de los procesos de identidad y lucha contra la exclusión.

La variabilidad de la precipitación a corto y mediano plazo ha de ser aceptada como una restricción natural fundamental a la que se ha de adaptar la vida humana en las tierras secas. Hacer frente a esa variabilidad para asegurar una producción de alimentos suficiente y sostenida es el desafío. Es necesario trabajar este aspecto relacionando los marcos conceptuales de la lucha contra la desertificación, el ordenamiento territorial y el manejo sustentable de la tierra. El reto de la era post Agenda 21 será asociar los avances de la investigación científica y la tecnología con los factores socioeconómicos y culturales. En este sentido, mucho se ha escrito sobre la necesidad de recuperar los saberes tradicionales para poner en valor y aplicar los conceptos del desarrollo sustentable. A pesar de la inmensa información generada, especialmente desde el enfoque y la implementación de la Convención Internacional de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD/PNUMA, 1995), todavía son raros los casos en que los conceptos alimentan a la práctica y las experiencias exitosas to-

avía no han logrado una buena difusión. Pese a la extensión de los ambientes de tierras secas no se ha logrado otorgar visibilidad al problema de la desertificación que las afecta y la imagen del verde de los oasis se impone sobre el desierto. Sin embargo encontramos culturas que han convivido con la escasez y han logrado sobrevivir a las condiciones más rigurosas, en exitosos ejemplos de diálogo permanente entre la sociedad y su entorno. Poner en valor estas prácticas, escuchar los mensajes, valorar sus experiencias, en definitiva, trabajar para achicar la brecha entre los conocimientos "científicos" y los saberes tradicionales se constituye en el camino que plantea este trabajo.

La interpretación del rico bagaje natural y cultural de nuestro desierto es un proceso de comunicación donde lo más importante se constituye en la actitud de escuchar y respetar al otro, tanto al que vive y trabaja en la actualidad en nuestros desiertos como a los que ya no están y fueron capaces de dejarnos sus conocimientos y experiencias. Aprender de estos saberes aporta a la comprensión del problema en toda su complejidad.

Esto marca la urgente necesidad de pasar de los discursos a los hechos y para lograr esa transición una herramienta importante es la identificación de la magnitud e importancia de los procesos de desertificación. Dónde se localizan, desde cuándo se ejercen, cuáles son sus causas y sus consecuencias, cuántas son las personas y los ambientes afectados, qué debemos hacer para controlarlos. Para lograr estos objetivos una herramienta importante, asociada a los procesos de participación y planificación, son los Sistemas de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación. Estos sistemas

pueden ser tan complejos o tan simples como los usuarios determinen. Desde complicados índices y parcelas de medición hasta las palabras simples de un poblador que cuenta lo que conoce y explica lo que cree que debe hacerse para resolver los problemas que afectan a la comunidad o los antiguos testimonios recogidos en los documentos y en el registro ambiental, a través de las técnicas de la Historia ambiental o la Historia oral.

En nuestra provincia, tan constreñida por los problemas urgentes que derivan de la pobreza, la violencia, la falta de salud o de educación, las migraciones hacia las ciudades en busca de alternativas de subsistencia, el abandono de los campos, los problemas de tenencia de la tierra y la magnitud de las catástrofes naturales relacionadas con las escalas en que se producen los fenómenos en nuestros países de América Latina; el establecimiento de estos Sistemas de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación parece algo superfluo, muy cercano a una utopía. Comparado con las dimensiones de los problemas que hemos enunciado previamente, cuando un decisor debe asignar recursos en sus presupuestos, lo hará en primera instancia en función de cualquiera de los que anteceden, subordinando los problemas ambientales -dentro de los que se inscriben los de desertificación- a la respuesta a las demandas de un poco numeroso sector de la sociedad. El argumento para justificar estas decisiones es normalmente la "racionalización de los recursos", que además aparecen subordinados a la falta de priorización a nivel nacional de las políticas ambientales y a la falta de visión de su relación con la pobreza y los procesos que movilizan la economía de nuestros países.

La respuesta debería ser dedicar más atención a las necesidades de los habitantes de las tierras secas para asegurar que reciban el apoyo necesario para mantener medios de vida sostenibles en sus tierras. La única manera de revertir el círculo vicioso de pobreza y degradación es con una decidida acción política dirigida a cada uno de los actores afectados. Para ello es necesario desarrollar instrumentos que convengan a los decisores de la importancia de este problema y de sus nexos con los sistemas sociales y productivos. Esos instrumentos son los Sistemas de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación, sobre todo aquellos diseñados en función de un nuevo camino en la planificación de las medidas de acción. Esto es, basados en la acción conjunta y la participación de las comunidades locales y los actores científicos, técnicos y políticos: un auténtico enfoque "abajo-arriba", para poner en práctica lo que la gente necesita para mantenerse a sí misma con sustentabilidad.

La posibilidad de implementar un Sistema de Evaluación y Monitoreo de la Desertificación no depende solamente del arbitrio de un decisor que pueda o no asignar recursos humanos y financieros para el diseño y la implementación del sistema. Esto ayuda, pero no es determinante. Si lo es lograr la sensibilización de todos los actores (pobladores, técnicos, políticos, empresarios, etc.) y poner en común las necesidades y demandas, potencialidades y restricciones que cada sector puede explicitar; lograr la comunicación de todos los intereses que pueden o no estar en conflicto en un territorio específico y poner en común las necesidades y las metas. Si esta comunicación se logra, se ha dado el primer y fundamental paso para el establecimiento de un Sistema de

Evaluación y Monitoreo de la Desertificación. Inmediatamente después se presenta la necesidad de conocer cómo funciona y hacia donde se dirige el sistema con la necesidad del relevamiento, del inventario, de la medición de los procesos y de la evaluación y el planteo de escenarios para el diseño y la implementación de las intervenciones que sean necesarias para controlar los procesos de desertificación. Sólo se puede intervenir una vez que se sabe qué está pasando, desde cuándo y hacia dónde y con qué intensidad son las tendencias.

■ ALTERNATIVAS: SUSTENTABILIDAD O DESERTIFICACIÓN.

El debate planteado se refiere a las alternativas de uso sustentable que tienen las tierras secas. Éstas son amplísimas y dependen de la inversión: económica en conocimiento y en suplementos de energía. No todos los modelos de desarrollo son sustentables. Por ejemplo, Las Vegas (USA) o Dubai (Emiratos Árabes Unidos) son megaciudades desarrolladas sobre tierras secas en las que se invierte gran cantidad de capital y se inyecta energía supletoria. El problema se presenta cuando cesa la posibilidad de inversión y la provisión energética. La sustentabilidad es el tema que debe guiar el debate para la adopción del estilo de desarrollo que se pretenda implementar, o por lo menos para conocer y asumir sus costos.

El concepto "desarrollo sustentable" fue incorporado por Brundtland en 1987 y refiere fundamentalmente a que los procesos de desarrollo deben ser endógenos, autogestionados y sostenibles sin agredir a otros grupos humanos para lograr los objetivos propios. En otras palabras, está basado en los recursos endógenos o propios del territorio para lograr

niveles de seguridad (alimentaria, energética). En tal sentido, las tierras secas tienen capacidad productiva y puede plantearse estrategias de diversificación productiva altamente rentables sobre la base de los recursos endógenos del territorio, respetando su capacidad y aptitud.

El problema es que la gran mayoría de las tierras secas han sido degradadas. El primer paso es recuperar ese capital natural para favorecer la recuperación del capital social. Esto es, permitir el retorno de quienes emigraron ante la fuerte degradación que eliminó la capacidad de subsistencia. Este retorno no se refiere solamente a los habitantes que emigraron y ya no están en las tierras secas no irrigadas sino también, y fundamentalmente, a los que se quedaron y tuvieron que abandonar sus expectativas de progreso abrumados por la desertificación y la apatía de los tomadores de decisión, resignados a sobrevivir sin abandonar sus tierras.

Las reflexiones finales deben enfatizar que no se plantea abandonar el desarrollo de las tierras secas irrigadas en detrimento de las no irrigadas. Por el contrario, se trata de poner en valor las potencialidades de cada uno de estos territorios, en un proceso de complementación y no de competencia.

Para llegar a recuperar y hacer productivas las tierras secas se necesita planificación, conocimiento, participación y, fundamentalmente, la conciencia de todos los habitantes de la provincia de que vivimos en tierras secas. El oasis es tierra seca no irrigada. El desierto es tierra seca no irrigada. La perspectiva es mitigar el desequilibrio territorial actual y la falta de equidad social que presenta el 97% del territorio provincial.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E. (2009). Dryland development needs science and sustainability. Opinion article: Science and Development Network, *SciDev.Net*, 30-04-2009. London, 3p, www.scidev.net
- Abraham, E. M., Prieto M. del R. (2000) Viticulture and desertification in Mendoza, Argentine. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, T. I, H. 7/8: 1063-1078, Stuttgart.
- Abraham, E., Del Valle H. F., Roig F., Torres L., Ares J. O., Godagnone R. (2009). Overview of the Geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal of Arid Environments*, 73, 2:144-153.
- Abraham, E., Torres, L. (2011). Models of Development and Marginality in drylands of Argentina's Central West: a case study in Mendoza province. Abstracts Tropentag, 5 al 7 de Octubre, 2011. University of Bonn – INRES and ATSAF e.V., Bonn. www.tropentag.de
- Abraham, E., Salomón, M. (2011). Experiencias de combate a la desertificación en Mendoza. En: *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Ricardo da Cunha Correia Lima, Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante, Aldrin Martin Perez-Marin (Editores). Campina Grande, Instituto Nacional do Semiárido Campina Grande, PB. Brasil, INSA-PB, D451. Módulo 10: 183-206.
- Abraham, E., Corzo, L., Maccagno, P. (2011). Tierras secas y desertificación en Argentina. En: *Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO*. Buenos Aires, SAyDS, FAO: 13-64.
- Brundtland, G. H. (1987) Informe Our Common Future: Brundtland Report ONU.
- CAZALAC (2010). Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe. PIH-VII, Documento Técnico 25, Uruguay, Programa Hidrológico Internacional, UNESCO.
- INDEC (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados preliminares, provincia de Mendoza. http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro_mendoza.asp
- UNCCD/PNUMA, (1995). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o Desertificación, en particular en África*. Texto con Anexos, Documento Oficial de la UNCCD, Suiza.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, (2002). *Actualización del Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación*. Buenos Aires.
- Roig, F. A., Martínez Carretero, E., Méndez, E. (1988). Mapa Ecológico de la Provincia de Mendoza. Mendoza, Diario Los Andes.
- Roig, F., González Loyarte, M., Abraham, E., Méndez, E., Roig, V., Martínez Carretero, E. (1992). Maps of desertification Hazards of Central Western Argentina, (Mendoza Province). Study case. En: UNEP, Ed. "World Atlas of thematic Indicators of Desertification", E. Arnold, Londres.

Torres, L., Abraham, E. M., Torres, E. Montaña, E. (2003) Acceso a los recursos y distribución de la población en tierras secas de

Argentina: el caso de Mendoza. Aportes hacia la equidad territorial. *Scripta Nova*, Revista Electrónica de Geografía y Cien-

cias Sociales, Barcelona, Univ. de Barcelona, Vol. VII, N° 148, www.ub.es/geocrit/sn/sn-148.htm, ISSN-1138-9788.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista CIENCIA E INVESTIGACION

Ciencia e Investigación, órgano de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), es una revista de divulgación científica y tecnológica destinada a educadores, estudiantes universitarios, profesionales y público en general. La temática abarcada por sus artículos es amplia y va desde temas básicos hasta bibliográficos: actividades desarrolladas por científicos y tecnólogos, entrevistas, historia de las ciencias, crónicas de actualidad, biografías, obituarios y comentarios bibliográficos. Desde el año 2009 la revista tiene difusión en versión on line (www.aargentinapciencias.org)

PRESENTACIÓN DEL MANUSCRITO

El artículo podrá presentarse vía correo electrónico, como documento adjunto, escrito con procesador de texto word (extensión «doc») en castellano, en hoja tamaño A4, a doble espacio, con márgenes de por lo menos 2,5 cm en cada lado, letra Time New Roman tamaño 12. Las páginas deben numerarse (arriba a la derecha) en forma corrida, incluyendo el texto, glosario, bibliografía y las leyendas de las figuras. Colocar las ilustraciones (figuras y tablas) al final en página sin numerar. Por tratarse de artículos de divulgación científica aconsejamos acompañar el trabajo con un glosario de los términos que puedan resultar desconocidos para los lectores no especialistas en el tema.

La primera página deberá contener: Título del trabajo, nombre de los autores, institución a la que pertenecen y lugar de trabajo, correo electrónico de uno solo de los autores (con asterisco en el nombre del autor a quién pertenece), al menos 3 palabras claves en castellano y su correspondiente traducción en inglés. La segunda página incluirá un resumen o referencia sobre el trabajo, en castellano y en inglés, con un máximo de 250 palabras para cada idioma. El texto del trabajo comenzará en la tercera página y finalizará con el posible glosario, la bibliografía y las leyendas de las figuras. La extensión de los artículos que traten temas básicos no excederá las 10.000 palabras, (incluyendo título, autores, resumen, glosario, bibliografía y leyendas). Otros artículos relacionados con actividades científicas, bibliografías, historia de la ciencia, crónicas o notas de actualidad, etc. no deberán excederse de 6.000 palabras.

El material gráfico se presentará como: a) figuras (dibujos e imágenes en formato JPG) y se numerarán correlativamente (Ej. Figura 1) y b) tablas numeradas en forma correlativa independiente de las figuras (Ej. Tabla 1). En el caso de las ilustraciones que no sean originales, éstas deberán citarse en la leyenda correspondiente (cita bibliográfica o de página web). En el texto del trabajo se indicará el lugar donde el autor ubica cada figura y cada tabla (poniendo en la parte media de un renglón Figura... o Tabla..., en negrita y tamaño de letra 14). Es importante que las figuras y cualquier tipo de ilustración sean de buena calidad. La lista de trabajos citados en el texto o lecturas recomendadas, deberá ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el apellido del primer autor, seguido por las iniciales de los nombres, año de publicación entre paréntesis, título completo de la misma, título completo de la revista o libro donde fue publicado, volumen y página. Ej. Benin L.W., Hurste J.A., Eigenel P. (2008) The non Lineal Hypercycle. Nature 277, 108 – 115.

Se deberá acompañar con una carta dirigida al Director del Comité Editorial de la revista Ciencia e Investigación solicitando su posible publicación (conteniendo correo electrónico y teléfono) y remitirse a cualquiera de los siguientes miembros del Colegiado Directivo de la AAPC: abaladi@dna.uba.ar - nidiabasso@yahoo.com - miguelblesa@yahoo.es – xammar@argentina.com - sarce@cnea.gov.ar y con copia a secretaria@aargentinapciencias.org

Quienes recepcionen el trabajo acusarán recibo del mismo y lo elevarán al Comité Editorial. Todos los artículos serán arbitrados. Una vez aprobados para su publicación, la versión corregida (con las críticas y sugerencias de los árbitros) deberá ser nuevamente enviada por los autores.

