



# CICTERRÁNEA

- Revista de Divulgación en Ciencias de la Tierra -

ISSN 2618-2122

## **Todo es polvo en el viento**

El rol del polvo atmosférico  
en el clima del presente y del pasado

## **El peligro volcánico en Argentina**

¿Qué sabemos y qué falta saber?

## **El mar paleozoico de la región cuyana**

Un paseo por el Caribe de la Precordillera Argentina

# CICTERRA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

## ¿Qué es el CICTERRA?

Es un centro de investigación multidisciplinar dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), vinculado con la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Fue creado por resolución del CONICET el 31 de Mayo de 2007.

## ¿Qué hacemos?

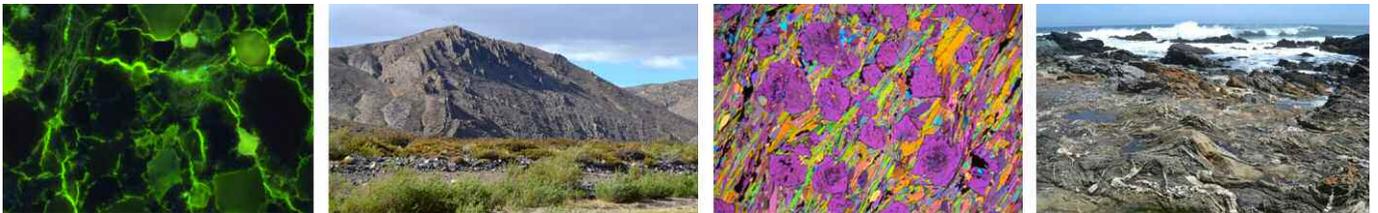
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas dentro de las Ciencias de la Tierra como Geología, Geoquímica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión y transferencia de conocimiento. Efectuamos asesorías técnicas a entidades públicas y empresas privadas.

## ¿Quiénes somos?

Somos miembros de la Carrera del Investigador Científico y del Personal de Apoyo de CONICET, Profesores e Investigadores de la UNC, Becarios Doctorales y Posdoctorales del CONICET o FONCYT y Personal Administrativo. En la actualidad el CICTERRA cuenta con una planta de más de 100 integrantes.

## Líneas de Investigación

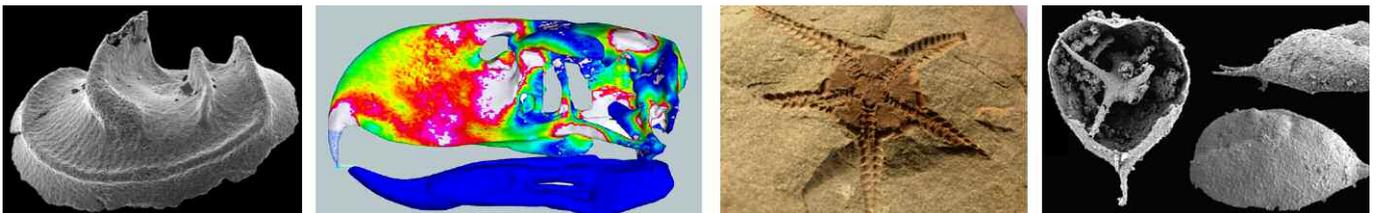
### Dinámica de la litósfera – astenósfera



### Variabilidad hidroclimática y procesos geo-ambientales



### Evolución de la diversidad biológica



Nuestro desafío consiste en comprender una amplia gama de procesos naturales que tienen lugar desde las capas más profundas del planeta hasta su superficie y desde su formación hasta el presente. Aspiramos a que nuestra experiencia y conocimiento sea un aporte al bienestar de la sociedad.

## COMITÉ EDITORIAL

### Editoras responsables

Dra. Beatriz G. Waisfeld  
Dra. Emilia Sferco

### Comité editor

Gga. Cecilia Echegoyen  
Dra. Sandra Gordillo  
Ing. Nexxys C. Herrera Sánchez  
Lic. Fernando J. Lavié  
Dra. Cecilia E. Mlewski  
Dra. Gisela Morán  
Dr. Diego F. Muñoz  
Dra. Fernanda Serra  
Mgrtr. Eliana Soto Rueda

### Diagramación y diseño gráfico

Paula Benedetto

### Corrección de estilo

Dr. Alberto M. Díaz Añel

Foto de Tapa: Vista del cerro Ciénaga en el complejo volcánico de Pocho, Córdoba (foto: I. Petrinovic).

Esta revista de formato digital se publica de manera desinteresada con la finalidad de difundir la actividad e investigación del CICTERRA. Los artículos y opiniones firmadas son exclusiva responsabilidad de los autores o editores. Lo expresado por ellos no refleja necesariamente la visión o posición de la Institución.

Contacto: [cicterranea@gmail.com](mailto:cicterranea@gmail.com)  
[www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/revista-cicterranea/](http://www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/revista-cicterranea/)

Seguinos en:



C I C T E R R A



Director: Dr. N. Emilio Vaccari  
Vicedirectora: Dra. Cecilia del Papa

Contacto:  
[secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar](mailto:secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar)  
Av. Vélez Sarsfield 1611,

X5016GCB Córdoba, Argentina  
Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200

[www.cicterra.conicet.unc.edu.ar](http://www.cicterra.conicet.unc.edu.ar)

Es una alegría para el equipo editorial compartir un nuevo número de Cicterránea. Un producto comunicacional elaborado gracias al trabajo colaborativo de numerosos actores convencidos de que es muy importante recorrer el camino de la democratización del conocimiento generado en nuestro Centro. Este tercer número de Cicterránea asoma en una coyuntura muy particular: la transición entre dos gobiernos, uno que culmina su gestión habiendo producido un feroz ajuste al sistema científico y otro que asumirá a la brevedad y que augura profundos cambios.

El desmantelamiento del sistema fue denunciado reiteradamente por la comunidad científica nacional e internacional a lo largo de los últimos cuatro años. La exclusión de jóvenes investigadores; el virtual estancamiento de proyectos de investigación debido a la profunda devaluación o, incluso, suspensión de pagos de los fondos aprobados; el retraso en la entrega de las partidas destinadas al funcionamiento de los institutos de investigación; el incumplimiento de los compromisos acordados en proyectos de cooperación internacional; el marcado retraso salarial; la disolución del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva son sólo algunos ejemplos de las decisiones políticas de la administración saliente.

Una arista no menor de este plan de desmantelamiento fue el desprestigio comunicacional de las instituciones científicas, de su organización interna, de sus planes de investigación, de sus investigadores. La difusión deliberada de información sesgada y engañosa, potenciada por la complicidad de algunos medios y amplificadas por las redes sociales, fue un intento de manipular la percepción de la sociedad acerca de los logros y prestigio del CONICET y otras instituciones del sistema científico argentino.

Frente a ésto, tenemos la convicción que la comunicación pública de la ciencia es una herramienta fundamental para deconstruir ese relato que permanece instalado en ciertos sectores de la sociedad. Visibilizar nuestras investigaciones y mejorar nuestras rutinas de comunicación a través de acciones transversales es un desafío permanente que aspira lograr la apropiación social de la ciencia. Aunque hoy vislumbramos un escenario distinto, la reconstrucción del sistema científico no va a ser sencilla ni rápida. Pero la esperanza de un futuro mejor es motivación más que suficiente para continuar con este modesto aporte: compartir con la sociedad nuestro trabajo cotidiano.

Beatriz Waisfeld y Emilia Sferco

# índice



## Todo es polvo en el viento

El rol del polvo atmosférico en el clima del presente y del pasado

Por Grupo de Aerosoles Minerales y Paleoclima

4



## El peligro volcánico en Argentina

¿Qué sabemos y qué falta saber?

Por Iván A. Petrinovic

22



## El mar paleozoico de la región cuyana

Un paseo por el Caribe de la Precordillera Argentina

Por Marcelo G. Carrera

38

## actualidad

**Moluscos exóticos e invasores de Córdoba.** Amenazas silenciosas en ambientes acuáticos y terrestres.

Por Sandra Gordillo

14

**Hormigón.** ¿Una roca hecha por el hombre?

Por Francisco Locati

30

## entrevistas a jóvenes científicos

**Pablo Yaciuk.** De las montañas a los ríos: siguiendo el camino de los metales en ambientes mineros

20

**Eliana M. Soto Rueda.** Microorganismos extremófilos: potenciales héroes contra el arsénico

36

## fichas técnicas

35

## tomando conCiencia

Reciclando desperdicios y viviendo en un ambiente saludable y limpio

Por Ricardo Astini

46

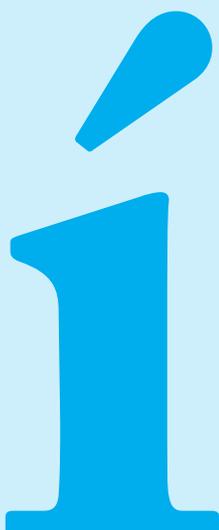
## foto+ciencia

13 - 45

## nuestros laboratorios

Paleobiología y geomicrobiología experimental (LaPGE)

47



# Todo es polvo en el viento



**El rol del polvo atmosférico  
en el clima del presente  
y del pasado**



**Grupo de Aerosoles Minerales y Paleoclima.** Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CONICET-FCEyN-UNC). De izquierda a derecha: Dr. Lucio Simonnella, Dr. Nicolás Cosentino, Geóloga Renata Coppo, Dr. Diego Gaiero e Ing. Verónica Tur. También son parte del equipo: Dra. Gabriela Torre, Dra. María Laura López, Dra. Estefanía Gili y Dra. Miriam Palomeque.

*“Polvo en el viento, cada cosa que existe es puro polvo volando en el viento”, expresaron en su famosa canción, “Dust in the wind”, el grupo Kansas. Usamos esta hermosa alegoría como título de este artículo para explicar cómo el estudio de las partículas minerales (polvo atmosférico) a través de su traslado motorizado por el viento sobre la superficie de la Tierra puede ayudarnos a comprender aspectos relacionados al clima pasado de la Tierra, las modificaciones de la biogeoquímica de los océanos o cómo intervienen en la formación de las nubes.*

*...Everything is dust in the wind...*

**T**odo es polvo en el viento... pero antes de ser suspendido en la atmósfera este material sedimentario fue parte de una roca, de una región, y fue trasladado por el viento grandes distancias para luego ser devuelto a la superficie de la Tierra, en otro lugar, y formar parte de un nuevo ambiente sedimentario que, eventualmente y en un tiempo suficientemente largo, forma parte de la superficie terrestre como roca. Algunos aspectos del ciclo del polvo atmosférico (también se lo puede encontrar en diferentes textos como aerosoles minerales o sedimentos eólicos) (Figura 1) tienen gran interés científico, permitiendo entender aspectos del clima pasado de la Tierra como así también procesos climáticos actuales que ocurren en la atmósfera mediados por partículas sedimentarias.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (<https://www.ipcc.ch/>) señaló al polvo atmosférico como uno de los parámetros menos conocidos en su interacción con otros componentes de la atmósfera. Además, indicó la existencia de una amplia incertidumbre acerca del rol que éste juega sobre el balance radiativo terrestre –equilibrio que se establece entre los flujos de energía entrante y saliente del planeta– motivando así el interés de la comunidad científica internacional. Uno de los lugares de la Tierra donde

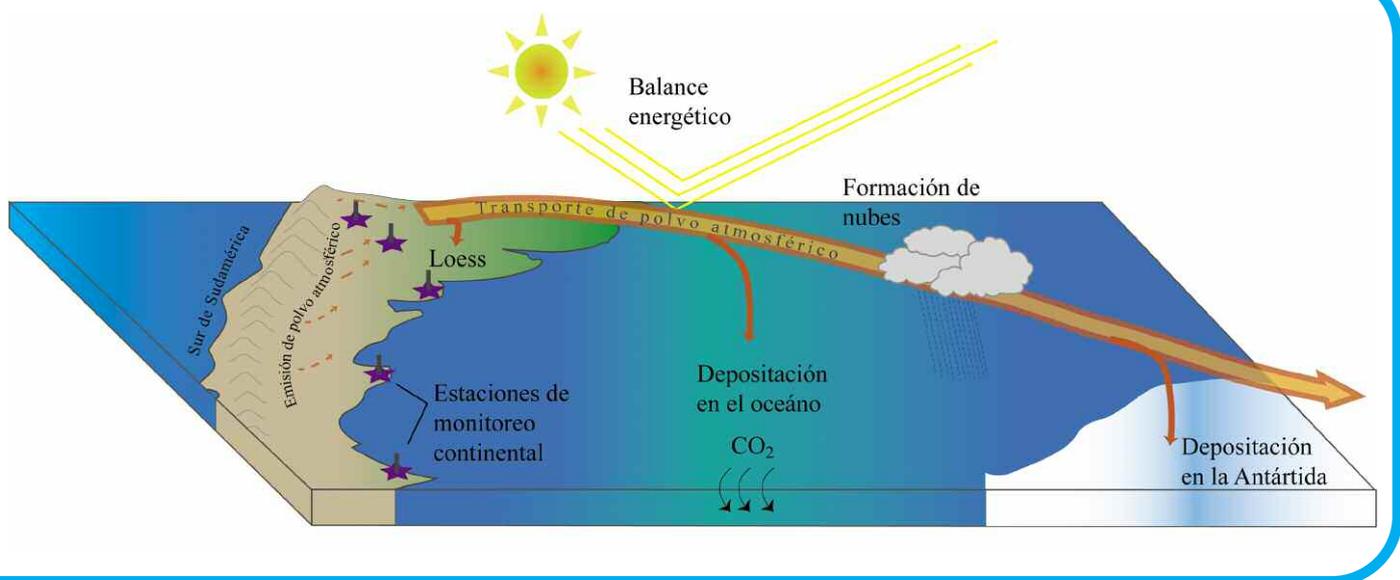


Figura 1. Ciclo completo del polvo atmosférico en el sur de América del Sur, océano Atlántico Sur y Antártida.

mejor puede ser estudiada la interrelación entre el polvo atmosférico y el clima o del clima regulando el ciclo del polvo atmosférico, es el hemisferio sur. Aquí, la conexión entre los materiales eólicos (transportados por el viento) que son desprendidos de las superficies áridas del sur de América del Sur y su acumulación en sectores continentales (región pampeana), marinos (Océano Austral) y polares (Antártida) han llamado la atención de la comunidad científica internacional al tratar de decodificar aspectos del clima planetario. Para ello, se puede utilizar, entre otras variables, el polvo atmosférico para entender las posibles causas y efectos de este ciclo sobre los grandes cambios climáticos que actuaron sobre la Tierra en el último millón de años.

Diferentes aspectos del ciclo del polvo atmosférico están siendo abordados por nuestro grupo de investigación dentro del Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), y en esta contribución intentamos dar a conocer aspectos de una línea de investigación que es única en el contexto de las actividades científicas desarrolladas en Latinoamérica.

## Emisiones de aerosoles minerales en el sur de América del Sur

El material sedimentario presente en la superficie de los grandes desiertos del mundo está compuesto por una colección de granos minerales: los más pequeños son las arcillas (con diámetros menores a 4 micrómetros: la millonésima parte de un metro), luego siguen los limos (entre 4 y 63 micrómetros) y finalmente las arenas (más de 63 micrómetros).

Pero, ¿cómo es que estos materiales se desprenden de la superficie de la Tierra para incorporarse a la atmósfera y comenzar el ciclo del polvo atmosférico? Existen muchas variables ambientales que regulan este proceso, una de las más importantes es la velocidad del viento. Cada uno de los tamaños característicos del material sedimentario podrá ser levantado e incorporado a la atmósfera si se alcanzan velocidades mínimas de viento. Las partículas más finas (arcillas) podrán ser levantadas con menor intensidad de viento, mientras que las más gruesas (arenas) requerirán mayores velocidades del mismo. Sin embargo, el viento no es la única variable a considerar, dado que la humedad del suelo donde se alojan estas partículas, así como la vegetación que las circunda, también limitan la posibilidad de generar emisiones de polvo atmosférico.

Las principales emisiones modernas de polvo atmosférico se dan en la zona ecuatorial de los continentes de África y Asia, en el hemisferio norte. Sin embargo, existen varias razones por las cuales es de interés estudiar estos fenómenos en el sur de América del Sur. Por un lado, se observó la existencia de un cambio sustancial entre la gran cantidad de polvo atmosférico transportado durante períodos glaciares en comparación con períodos interglaciares de nuestro planeta, y este cambio ha sido mucho más pronunciado en zonas de altas latitudes, como en el sur de América del Sur, que en zonas ecuatoriales. Por otro lado, si bien las emisiones de polvo atmosférico en los continentes del hemisferio sur son bajas comparadas a aquellas de los continentes del hemisferio norte, investigaciones recientes sugieren que las



**Figura 2.** Tormentas de polvo en las principales zonas generadoras de aerosoles minerales en el sur de América del Sur, y captore pasivos utilizados para medir el flujo de polvo atmosférico. Imágenes satelitales tomadas de NASA WorldView (<http://worldview.earthdata.nasa.gov>).

variaciones en las emisiones de polvo atmosférico durante los últimos ciclos glaciares-interglaciares desde el sur de América del Sur pudieron tener un efecto climático desproporcionadamente más importante.

Nuestro grupo de investigación ha estado trabajando desde el año 2004 en el desarrollo de un programa regional de monitoreo para establecer los flujos de polvo atmosférico en el sur de América del Sur. Como puede verse en las Figuras 1 y 2, instalamos cinco estaciones de monitoreo (estrellas violetas) que miden la intensidad del flujo horizontal (en tránsito) y la deposición de este material atmosférico. Estas estaciones se encuentran próximas a las principales fuentes de sedimentos eólicos de las zonas desérticas del sur de América del Sur: el Altiplano Boliviano y la Puna Argentina, el centro-oeste de Argentina y la Patagonia. Una

parte del material eólico emitido en estas zonas desérticas se ha depositado, y continúa haciéndolo, en sectores cercanos a su emisión (cientos de metros a miles de kilómetros) y es

***Si bien las emisiones de polvo atmosférico en los continentes del hemisferio sur son bajas comparadas a aquellas de los continentes del hemisferio norte, investigaciones recientes sugieren que las variaciones en las emisiones de polvo atmosférico durante los últimos ciclos glaciares-interglaciares desde el sur de América del Sur pudieron tener un efecto climático desproporcionadamente más importante***

*El papel de los aerosoles minerales como nucleantes no sólo trae consecuencias sobre la formación de las nubes y sus efectos sobre el ciclo hidrológico. También afecta la distribución de radiación solar en la atmósfera*

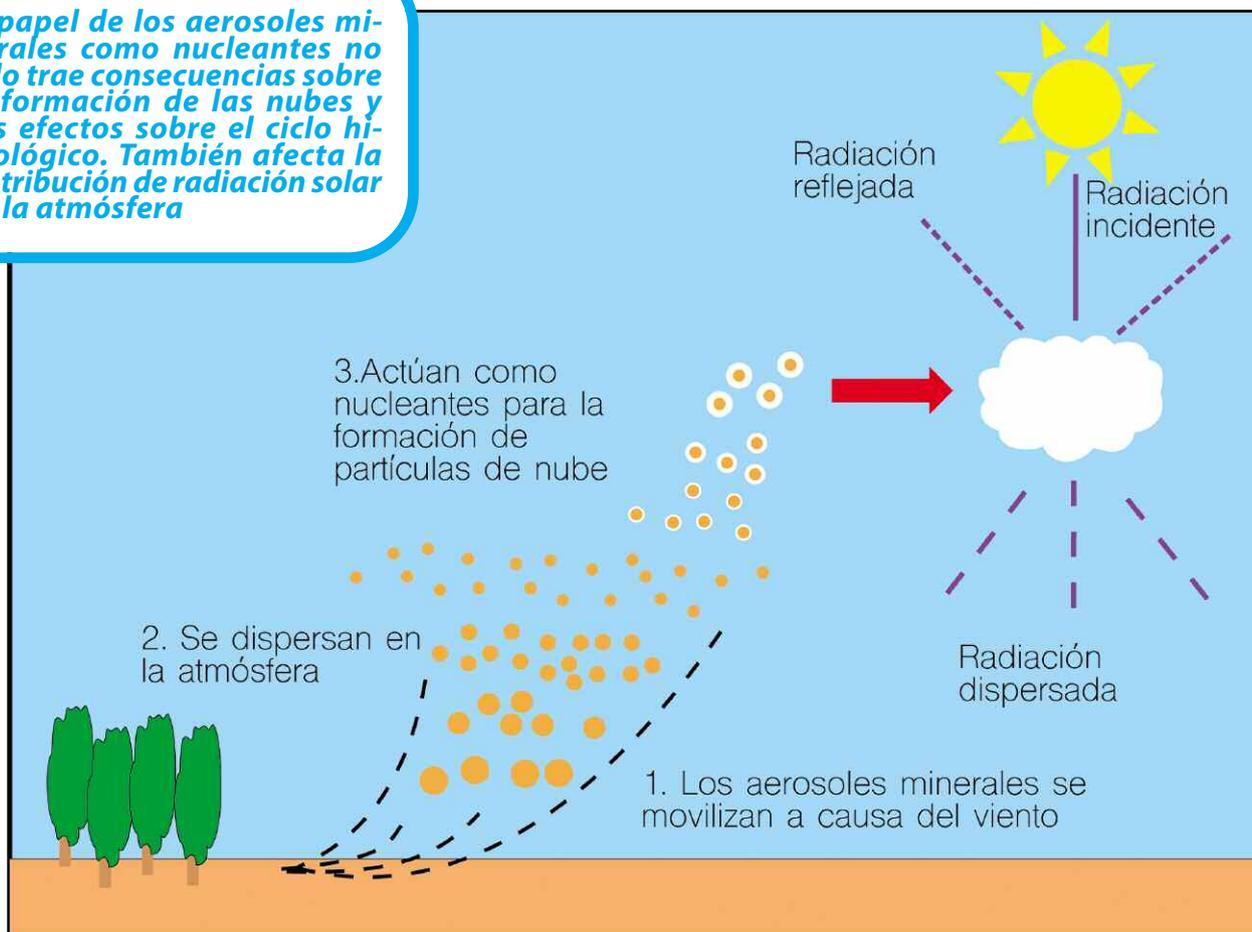


Figura 3. Esquema representando el papel de las partículas minerales en la formación de las nubes y sus efectos sobre la distribución de radiación solar.

lo que se conoce como el “loess pampeano”. Una porción importante del material eólico emitido es transportado más allá del continente, pudiendo ser depositado en el Océano Austral, o tan lejos como el continente Antártico. En su camino hacia estos ambientes distales, tienen lugar múltiples procesos atmosféricos que, dependiendo de su intensidad y características, pueden participar en alteraciones del clima regional.

## El polvo atmosférico y la formación de nubes

La emisión de polvo atmosférico del sur de América del Sur también constituye un laboratorio natural para el estudio del papel de los aerosoles minerales sobre la formación de hielo en las nubes. Estas últimas son el resultado visible del ascenso de las parcelas de aire y la posterior condensación o deposición del vapor de agua contenido en dichas parcelas. Están compuestas por aire saturado de vapor, pequeñas gotas de agua y/o cristales de hielo. Pero, ¿cómo se forman estas gotitas y partículas de hielo? Ante esta pregunta la respuesta

que inmediatamente se nos viene a la mente es “a partir del agua presente en la atmósfera”. Esto es correcto, pero la formación de una partícula de nube a partir sólo de agua requiere de una presión de vapor muy grande para mantener la nueva fase en equilibrio. Es por esto que, además de agua, la formación de las partículas de nube necesita de una superficie sobre la cual el agua se deposite o condense. A esta superficie la brindan los “núcleos de condensación”, que darán origen a las gotitas de agua líquida, y los “núcleos de hielo”, que darán origen a los cristales de hielo en las nubes. Estos núcleos son partículas microscópicas -aerosoles- presentes en la atmósfera (Figura 3).

Los aerosoles minerales han sido identificados como uno de los más importantes núcleos de hielo que actúan no sólo en lugares cercanos a sus fuentes sino también a miles de kilómetros de las regiones de origen, ya que son los más comúnmente transportados en la atmósfera. Dado que estos aerosoles también han sido identificados como los que realizan la mayor contribución de masa al material particulado atmosférico, su rol como núcleo de hielo es muy importante



**Figura 4.** A mediados de abril de 2016, un espectacular surgimiento de colores vivos decoraba el océano Atlántico Sur frente a Península Valdés, Argentina. Este fenómeno ocurre durante aumentos abruptos de la actividad biológica en la superficie de los océanos. Imagen tomada por el satélite MODIS NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).

y motivo de estudio de numerosos trabajos científicos recientes.

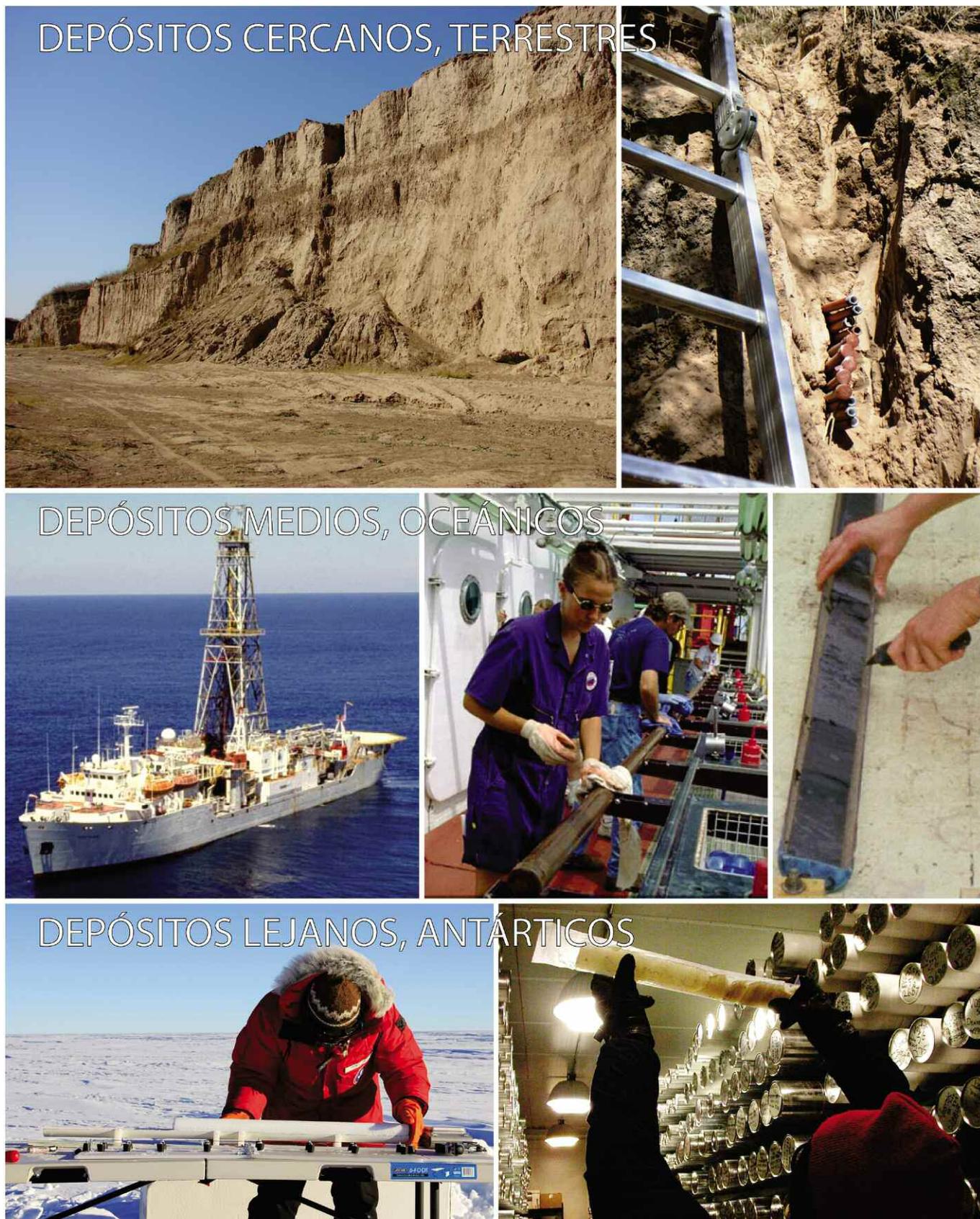
El papel de los aerosoles minerales como nucleantes no sólo trae consecuencias sobre la formación de las nubes y sus efectos sobre el ciclo hidrológico. También afecta la distribución de radiación solar en la atmósfera dado que ésta sufre modificaciones en dirección y/o intensidad al incidir sobre las partículas de nube. Esto afecta directamente la cantidad de radiación solar que alcanza a la superficie terrestre, tal como se muestra en la Figura 3.

Si bien muchos trabajos analizan el rol de los aerosoles minerales colectados en las zonas áridas más importantes del planeta, esta información es escasa no sólo en América del Sur, sino en el hemisferio sur en general. Contribuir al conocimiento del papel de estos aerosoles en la formación de hielo es una línea de trabajo reciente que desde el CICTERRA se está desarrollando en colaboración con investigadores de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FaMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

## La relación entre el polvo atmosférico y el principal gas de efecto invernadero de la atmósfera

El crecimiento del fitoplancton marino depende en gran medida de la presencia del hierro para fijar el carbono fotosintético, lo que hace que este metal sea un nutriente esencial y limitante de la proliferación planctónica en la superficie del océano (Figura 4). El transporte atmosférico de sedimentos eólicos y la posterior deposición en la superficie del océano es una importante vía de entrada de hierro. El polvo atmosférico puede contener entre 3 y 4 % de hierro formando parte de distintas especies químicas y por lo tanto las regiones oceánicas, viento abajo de regiones desérticas, pueden recibir grandes cantidades de hierro biodisponible dependiendo de la solubilidad en agua de mar de estas especies químicas. De esta manera, se cree que el hierro juega un rol importante controlando el ciclo del carbono a través del fitoplancton (consumo de  $\text{CO}_2$ ) y por lo tanto podría modular el clima global.

Figura 5. Ejemplos de distintos tipos de archivos climáticos. De arriba hacia abajo vemos: depósitos cercanos (loess), depósitos medios (océano) y depósitos lejanos (Antártida). A la derecha se ven los distintos tipos de muestras tomadas para cada tipo de archivo. Fuente de las fotos: IODP (Archivos oceánicos), British Antarctic Survey (Archivos antárticos).



Si los flujos de polvo atmosférico/hierro fueron mayores durante los ciclos glaciares, ¿se habrá producido una retroalimentación entre el incremento de la deposición de hierro y la disminución de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico? Experimentos de fertilización sobre la superficie de los océanos tratan de dar respuesta a esta pregunta. Estos experimentos han demostrado que las comunidades de fitoplancton responden rápidamente a los estímulos del hierro introducidos artificialmente y se ha planteado la hipótesis de que el clima del planeta puede ser influenciado por cambios de flujos de polvo atmosférico al océano.

Hoy en día sabemos que la huella de la actividad humana tanto en la superficie del océano como en la atmósfera inferior aumenta de forma notable, como lo demuestran los cambios en la composición y en la concentración de gases (por ejemplo, aumento de CO<sub>2</sub>) y de aerosoles, la desoxigenación del océano, los cambios en los flujos de nutrientes hacia las regiones costeras, etc. Por lo tanto y al mismo tiempo, hay numerosas propuestas para manipular la composición atmosférica y oceánica con el objeto de mitigar los cambios climáticos que se pronostican. La factibilidad de la geoingeniería a escala global es un tema controversial tanto para el público en general como para la comunidad científica. Actualmente la fertilización inducida de los océanos del tipo HNLC con hierro (por sus siglas en inglés, con suficientes nutrientes pero baja productividad primaria), es considerada como una de las posibles líneas de investigación que permitan incrementar la captura de carbono atmosférico y mitigar su constante incremento.

Fuera de estas ideas dirigidas hacia una manipulación humana del sistema climático global, lo que está claro sin embargo es la creciente necesidad social de un detallado y preciso entendimiento de los procesos reguladores oceánicos y atmosféricos y sus interacciones con el sistema climático.

## El loess pampeano como archivo climático del pasado

Cuando pensamos sobre la posible influencia de la presencia masiva de polvo atmosférico en el sistema climático, una pregunta que nos hacemos es cómo influyó éste sobre los grandes cambios climáticos en el pasado. Para responder esto recurrimos a archivos climáticos, que son depósitos sedimentarios específicos que contienen información sobre las condiciones en las que los sedimentos fueron transportados y posteriormente depositados.

Debido a que las trayectorias del polvo atmosférico pueden ser muy largas, es posible encontrar archivos climáticos cercanos, lejanos, y a medio camino de las fuentes de origen del material eólico. Como ya se mencionó antes, en el caso del hemisferio sur, los depósitos de polvo atmosférico más importantes pueden encontrarse en la llanura pampeana (depósitos cercanos a la fuente), el Océano Austral (distancia media de la fuente), y el continente Antártico (depósitos lejanos a la fuente (Figura 1)). Cada uno de estos archivos presenta características particulares y, por lo tanto, se necesitan métodos de estudio particulares. La Figura 5 muestra los distintos tipos de archivos climáticos y las formas en las

***El crecimiento del fitoplancton marino depende en gran medida de la presencia del hierro para fijar el carbono fotosintético, lo que hace que este metal sea un nutriente esencial y limitante de la proliferación planctónica en la superficie del océano. El transporte atmosférico de sedimentos eólicos y la posterior deposición en la superficie del océano es una importante vía de entrada de hierro***

que se extraen muestras para su estudio. Los archivos paleoclimáticos más cercanos se diferencian de los oceánicos y los polares ya que son encontrados en ambientes terrestres, pudiendo ubicarse tanto en grandes planicies como en lagos. Dentro de nuestro equipo de investigación nos concentramos en el estudio de este último tipo de archivos, ya que pueden darnos información sobre las condiciones climáticas dominantes sobre la región.

Cuando el polvo atmosférico se deposita sobre la superficie terrestre, se acumula por años y forma un depósito sedimentario denominado loess (del alemán, löss; frangible, ligero, poco compacto). Eso es lo que ocurrió en la región Pampeana durante miles de años; esta región es una vasta depresión del relieve que alberga decenas de metros de material sedimentario depositado por el viento; constituye una de las praderas con los suelos más fértiles del mundo y es hogar de la mayor parte de la población argentina. Los depósitos de loess representan los depósitos de mayor espesor y extensión del hemisferio sur, y constituyen un archivo continental de los cambios climáticos regionales que ocurrieron durante los últimos 2 millones de años.

**Cuando el polvo atmosférico se deposita sobre la superficie terrestre, se acumula por años y forma un depósito sedimentario denominado loess. Los depósitos de loess representan los depósitos de mayor espesor y extensión del hemisferio sur, y constituyen un archivo continental de los cambios climáticos regionales que ocurrieron durante los últimos 2 millones de años**

Para que se forme un depósito de loess tiene que existir un área fuente que provea material durante un período prolongado, una corriente eólica constante que lo pueda transportar, y un sitio de acumulación o un fenómeno atmosférico (por ejemplo, lluvia) capaz de hacer descender y retener las partículas depositadas. A través del estudio del depósito generado podemos obtener información sobre todos los procesos que intervinieron en su formación. Esta información nos permite además deducir cambios en la extensión e intensidad de la aridez continental, la expansión y duración de las glaciaciones, las variaciones en la circulación atmosférica global, entre muchas otras evidencias que son utilizadas en la generación de modelos climáticos globales.

Un avance reciente, clave en la comprensión de la dinámica del polvo atmosférico, es la determinación del origen del sedimento depositado en un registro eólico. Identificar el área fuente del polvo atmosférico, y conocer así las corrientes de aire que lo transportaron, puede proporcionar los medios necesarios para interpretar qué sistemas de viento dominaron temporalmente en una ubicación particular y, además, permite ayudar a comprender cambios en los patrones de circulación atmosférica que ocurrieron en el pasado. Actualmente nos enfocamos en entender cómo fue la circulación atmosférica durante el último ciclo glacial, prestando especial atención al Último Máximo Glacial, un período que ocurrió aproximadamente entre los 19 mil a 26 mil años antes del presente, y que representa la última vez en la historia de la Tierra en la que los casquetes glaciares estuvieron en su máxima extensión. Comprender cómo se comportaron las distintas variables climáticas durante los grandes cambios climáticos en el pasado puede ser la clave para entender el funcionamiento del sistema climático actual y futuro.

## Perspectivas

En el CICTERRA se desarrolla una línea de investigación que trata de entender el ciclo de los sedimentos, desde su presencia en la superficie de los desiertos sudamericanos

hasta su transporte atmosférico hacia diferentes ambientes del hemisferio sur. Desde el año 2004 pusimos especial énfasis en entender aspectos modernos de este ciclo instalando estaciones de monitoreo a lo largo de la Diagonal Árida Sudamericana, la cual incluye la Puna argentina y el Altiplano boliviano, la región de Cuyo y Patagonia. A partir de una mayor comprensión del ciclo moderno del polvo atmosférico, nuestro grupo está tratando de responder nuevas preguntas científicas: ¿cuál fue la intensidad de los flujos de polvo atmosférico durante el último ciclo glacial y cuál fue su efecto sobre el clima? ¿el polvo atmosférico de América del Sur tiene la capacidad de fertilizar el Océano Austral aportando hierro? ¿la presencia de estas partículas minerales en la atmósfera del hemisferio sur contribuye a la formación de las nubes? Las respuestas a estos interrogantes plantean nuevas preguntas que, en conjunto, nos permitirán realizar aportes significativos al estudio de la variabilidad climática de la Tierra y al mejoramiento de los modelos que tratan de predecir tal variabilidad a futuro.

### G

### Glosario

**Aerosoles minerales:** pequeñas partículas compuestas de sedimentos y rocas que están suspendidas en el aire y son acarreadas por el viento.

**Fitoplancton marino:** microorganismos autótrofos que viven dispersos en las aguas superficiales de los océanos.

**Retroalimentación:** proceso por el cual una cierta proporción de la salida de un sistema se redirige a la entrada de dicho sistema.

**Geoingeniería:** proceso de modificación artificial de alguna componente del Sistema Tierra para influir en el clima.



Microfotografía de un vidrio volcánico producto de una de las erupciones del volcán Copahue, Neuquén. Se observa en detalle una vesícula fracturada, parcialmente rellena y con crecimiento de cristales en "forma de agujas". Imagen tomada con microscopio de barrido electrónico. Escala: 100  $\mu\text{m}$ . **Autora: Catalina Balbis.**



# MOLUSCOS EXÓTICOS E INVASORES DE CÓRDOBA

Amenazas silenciosas en ambientes acuáticos y terrestres

Por Sandra Gordillo

La introducción de especies exóticas se encuentra entre las mayores amenazas que atentan contra la biodiversidad, produciendo además pérdidas económicas y afecciones sobre la salud humana. Si bien las introducciones se vienen produciendo desde tiempos históricos, es en las últimas décadas en que se han incrementado notablemente por el mayor transporte internacional de mercancías sin los controles adecuados.

Así, asiáticos, europeos, gráciles, dorados, degollados, con forma de trompeta, los moluscos exóticos han ido llegando paulatinamente a la provincia de Córdoba. Por ahora, entre los moluscos “acorazados” o que tienen caparazón o concha, son 10 las especies exóticas detectadas: tres moluscos bivalvos (2 almejas y 1 mejillón) y

Los moluscos exóticos son especies foráneas que han sido introducidas de forma accidental o intencionadamente y que, después de cierto tiempo, consiguen adaptarse a su nuevo ambiente y colonizarlo. En diferentes grados, pueden ocasionar perjuicios ecológicos, ambientales, económicos y en la salud humana, reconociéndose en muchos casos como especies invasoras. Actualmente para la provincia de Córdoba se conocen una decena de especies de moluscos exóticos que, sigilosamente entre acuarios, macetas, plantas y barcos, han ido arribando a los ambientes acuáticos y terrestres de la región.

siete gasterópodos (caracoles). Según su hábitat, tres son terrestres, y las demás son acuáticas, y se encuentran tanto en lagos como en ríos en distintos lugares de la provincia.

## Exóticas, foráneas, introducidas y tal vez invasoras

Una especie exótica, también llamada especie no nativa, foránea, alóctona o especie introducida, es aquella que ha sido transportada fuera de su área de distribución natural, principalmente por acciones humanas, ya sea de manera intencional o accidental. Las acciones intencionales se relacionan con el supuesto de que su introducción trae beneficios. A lo largo de la historia del hombre, diversas especies han sido transportadas e introducidas de manera intencional con fines agrícolas o ganaderos. En Córdoba, trigo, maíz, soja, ganado vacuno, etc. son algunos ejemplos. También ocurre que hay introducciones accidentales. Un ejemplo de este caso sería el traslado de innumerables especies a través de los barcos. Así, en las bodegas habrían arribado a nuevos territorios, roedores, insectos e incluso especies marinas contenidas en el agua usada como lastre y que luego se descarta en los puertos de destino.

Algunas de estas especies exóticas al competir por el espacio o el alimento con especies nativas pueden convertirse en invasoras, y en ese caso constituyen una gran amenaza para el mantenimiento de la diversidad biológica. Esto ocurre cuando las especies introducidas poseen gran capacidad de reproducción o generan una fuerte presión depredadora (entre otras características) que ocasionan el desplazamiento o la extinción de especies locales que carecen de estrategias que les permitan competir exitosamente.

Para que una especie exótica se convierta en invasora debe haber logrado reproducirse y haber aumentado su población, causando un problema ambiental, al poner en peligro al resto de las especies presentes en una zona determinada.

Actualmente, como se mencionó al comienzo, las especies invasoras son una de las principales causas de la pérdida de diversidad biológica. Nuestra provincia también es escenario de estas invasiones biológicas, no sólo de especies animales sino también de plantas. A modo de ejemplo, y entre las especies vegetales invasoras podemos mencionar

la acacia negra, la caña común, el ligustro, y entre las especies animales, entre otras tantas, el mejillón dorado.

**Mejillón dorado** (*Limnoperna fortunei*). Esta especie está actualmente reconocida como una especie exótica invasora y su historia de invasión puede servir como ejemplo de una amenaza que comenzó en silencio. El mejillón dorado es un molusco bivalvo procedente del sudeste de Asia, pariente cercano del mejillón y la cholga (Figura 1). A principios de la década del 90 fue encontrado en la costa del Río de la Plata, donde habría llegado en el agua de lastre de embarcaciones. En su momento parecía una pequeña

**Una especie exótica, también llamada especie no nativa, foránea, alóctona o especie introducida, es aquella que ha sido transportada fuera de su área de distribución natural, principalmente por acciones humanas, ya sea de manera intencional o accidental**

comunidad, inofensiva, compuesta por un manojito de individuos. Hoy, a casi 30 años de su llegada, su presencia en zonas subtropicales y templadas de Sudamérica ha producido un gran impacto ambiental en ríos y lagos, con perjuicios ecológicos y económicos. Esto se debió a que es una especie de una gran capacidad adaptativa y reproductiva, lo que favoreció su expansión principalmente en la región litoral y central de Argentina. A esto se sumó la falta de depredadores, y al hecho de que su presencia fue desatendida por parte de las autoridades gubernamentales tanto a nivel nacional como provincial, a pesar de que la comunidad científica, principalmente de la Universidad Nacional de La Plata, advirtió y alertó sobre su presencia y los perjuicios que podría ocasionar. Entre los problemas económicos se puede mencionar los daños cuantiosos que ocasionan por la obstrucción y taponamiento en tomas de agua y tuberías (lo que se denomina *macrofouling*). Entre los daños ecológicos, producen modificaciones en las comunidades que viven en el fondo de los cuerpos de agua, ya que desplazan especies nativas y disminuyen la disponibilidad de alimento para otros organismos.

En la provincia de Córdoba el mejillón dorado fue de-



**Figura 1.** Bivalvos (1–3) y gasterópodos (4–10) exóticos de Córdoba. Especies acuáticas: mejillón dorado (1); almejas asiáticas (2 y 3); caracol asiático grande (4); caracol Fisa (5); *Lymnaea grande* (6) y caracol trompeta (7). Especies terrestres: caracol de jardín (8); caracol degollado (9) y caracol grácil (10). Las escalas equivalen a 10 mm.

tectado aproximadamente en el año 2000, y desde entonces ha provocado numerosos problemas en distintos cuerpos de agua como en el lago San Roque, los embalses Río Tercero y Los Molinos, entre otros, donde afectó las tuberías, al punto tal de llegar a ser noticia en radio, televisión y diarios locales. Por ejemplo, en el caso del Embalse de Río Tercero ocasionó problemas en el sistema de refrigeración de la Central Nuclear. El caso más reciente mencionado en los medios fue en 2018, cuando fue afectado el servicio de agua potable de la localidad de Potrero de Garay.

Además del mejillón dorado, y entre los moluscos con caparazón hay al menos dos almejas asiáticas y otros siete caracoles importados (Figura 1):

**Almejas asiáticas** (*Corbicula fluminea* y *Corbicula largillierti*). Son dos especies de almejas asiáticas que hoy residen en ríos y lagos de Córdoba, con una amplia distribución en la provincia. Viven enterradas en los sedimentos del fondo y son filtradoras. Estas especies también fueron detectadas por primera vez en el Río de la Plata, y podrían haber lle-

**Para que una especie exótica se convierta en invasora debe haber logrado reproducirse y haber aumentado su población, causando un problema ambiental, al poner en peligro al resto de las especies presentes en una zona determinada**

gado a Sudamérica de modo similar al mejillón dorado (en agua de lastre), aunque no se descarta una introducción intencional como alimento traído por inmigrantes. También pueden producir obstrucciones de cañerías y problemas ecológicos al cambiar el ciclo de los nutrientes y competir con especies nativas.

**Caracol asiático grande** (*Sinotaia quadrata*). Este caracol exótico fue detectado en Córdoba por primera vez en el año 2009 en Punilla. Se alimenta principalmente de algas y tiene una altísima fecundidad y tolerancia a la acidez del agua. Eso hizo que en pocos años se convirtiera en una especie dominante en algunos cuerpos de agua de Punilla como en los diques de Cruz del Eje y de La Falda. Su introducción probablemente se vincule con el acuarismo. Puede ser transmisor de parásitos, al actuar como hospedador intermediario, y competir con especies nativas.

**Caracol Fisa** (*Physa acuta*). Esta especie proviene de América del Norte. Desde la década del 70 se distribuye por el centro y norte argentino. Puede ocasionar daños en invernaderos o plantas de tratamiento. También, para otras regiones, se ha reportado competencia con especies nativas. En Córdoba está presente en el río Suquía, en el valle de Punilla y en Piedras Moras, entre otros sitios.

**Caracol Lymnaea grande** (*Pseudosuccinea columella*). Este caracol también proviene de América del Norte. Se alimenta de detritos y materia orgánica. Puede vivir en arroyos, charcos o acumulaciones de agua temporaria. Es transmisor de enfermedades parasitarias que afectan tanto a especies domésticas (ganado bovino, porcino, etc.) como silvestres. Ha sido reportado por primera vez en Misiones (año 1954) donde actualmente se comportaría como una especie invasora. En Córdoba ha sido detectado en los ríos Suquía y Cabalango.

**Caracol trompeta** (*Melanoides tuberculatus*). Este caracol proviene del sur de Asia y norte y noroeste de África y su presencia en la actualidad en otras regiones del planeta estaría vinculada al acuarismo. Es una especie que se reproduce con facilidad y se alimenta de algas, restos orgánicos y detritos. En Argentina se reportó inicialmente en Misiones y actualmente se sabe que está en Buenos Aires y en ambientes artificiales (acuarios) en Córdoba. También podría ocasionar problemas ecológicos en ambientes naturales y representar un riesgo sanitario por ser huéspedes intermediarios de parásitos.

Entre las exóticas, además de las especies acuáticas, hay tres especies terrestres (Figura 2):

**Caracol de jardín** (*Cornu aspersum*). Este caracol es de origen europeo y tiene una amplia distribución en la provincia, principalmente en ambientes urbanos (en patios y jardines), aunque también en ambientes periurbanos. Fue introducido intencionalmente por inmigrantes, dado su interés como recurso alimenticio y su uso en cosmética. Al alimentarse de hojas y plantas, puede convertirse en una plaga de cultivos y ocasionar pérdidas económicas.

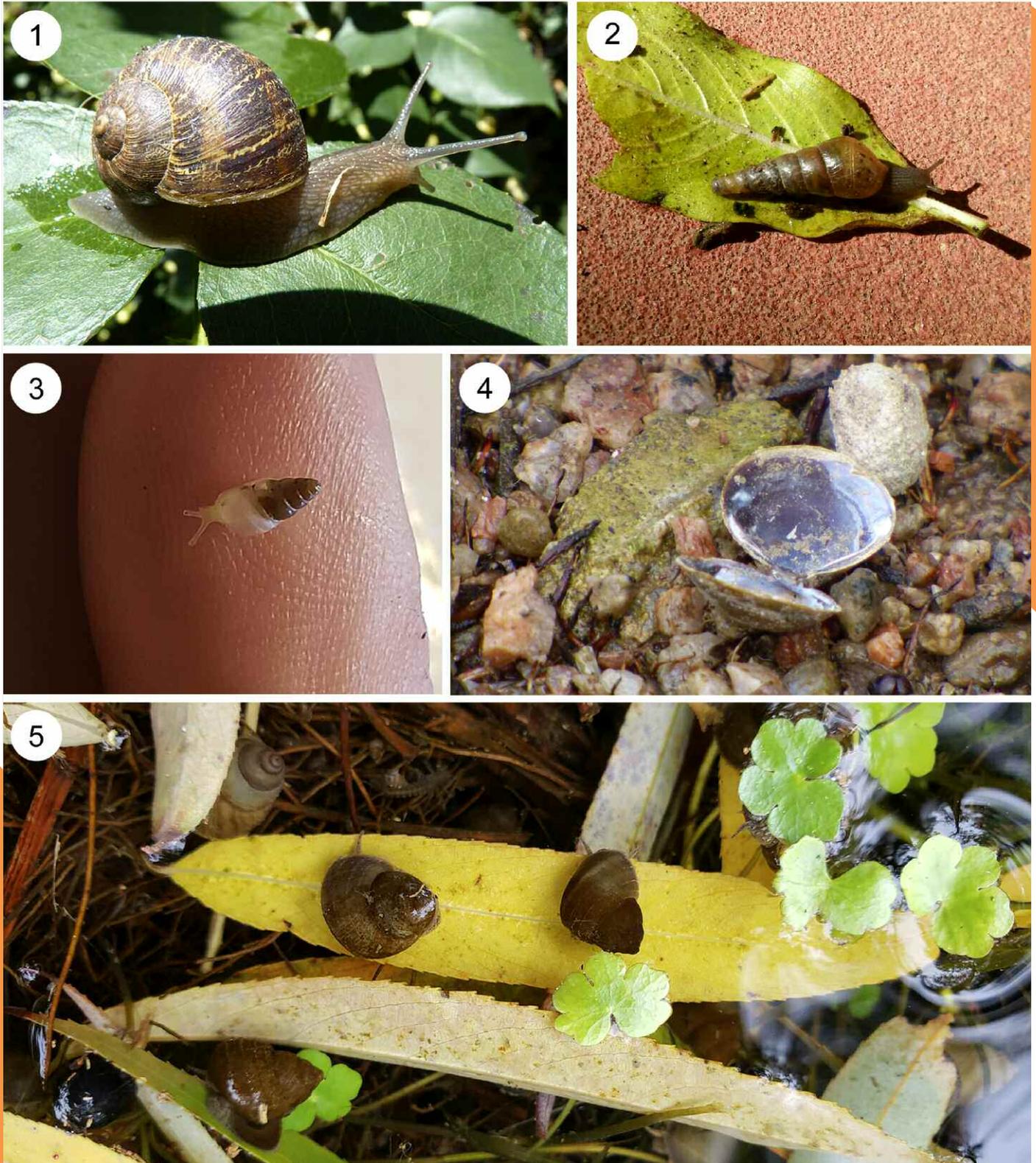
**Caracol degollado** (*Rumina decollata*). Este caracol proviene del Mediterráneo. Se conoce con ese nombre porque su concha suele estar truncada por la pérdida de su porción más afinada. Fue reportado para Córdoba en el año 2018 y su introducción probablemente haya sido accidental, habiendo llegado junto con plantas de las cuales se alimenta. Es una especie voraz, por lo que además de plantas se ali-

**A principios de la década del 90 el mejillón dorado fue encontrado en la costa del Río de la Plata, donde habría llegado en el agua de lastre de embarcaciones.**

**En ese momento parecía una pequeña comunidad, inofensiva, compuesta por un manojo de individuos. Hoy, a casi 30 años de su llegada, su presencia en zonas subtropicales y templadas de Sudamérica ha producido un gran impacto ambiental en ríos y lagos, con perjuicios ecológicos y económicos**

menta de huevos y de otros invertebrados. En otros países se ha convertido en plaga de diferentes cultivos y se sabe que puede actuar como transmisor de parásitos, llegando

a perros y gatos, y a través de éstos a los humanos. Caracol grácil (*Allopeas gracile*). Esta especie terrestre fue también recientemente observada en Córdoba. Es omní-



**Figura 2.** Ejemplos de especies exóticas en diferentes ámbitos y hábitats. Caracol de jardín (1) y caracol degollado (2) en el patio de dos viviendas. Caracol grácil (3) sobre un pulgar y encontrado en una hoja de lechuga. Valvas de una almeja asiática (4) en la costa de un arroyo serrano. Caracoles asiáticos (5) en un lago de Punilla.

vora y se alimenta de plantas verdes, como hortalizas, y materia animal (lombrices). Hasta el momento no se sabe si podría llegar a convertirse en una plaga significativa. El área geográfica de proveniencia de esta especie es incierta y actualmente se considera cosmopolita.

En este breve recorrido hemos mencionado diez especies exóticas, de la mayoría de las cuales se conoce muy poco. Paradójicamente, en la provincia de Córdoba también hay innumerables especies de moluscos nativos,

que en general también se sabe poco. Si realmente la intención es prevenir y disminuir los riesgos de las especies exóticas como potenciales invasoras, es fundamental conocer cuáles son sus efectos nocivos en cada nuevo ambiente o región, y junto a ello prevenir el ingreso o liberación de especies altamente riesgosas para la biodiversidad y para las especies nativas de la provincia en este caso. Para todo ello, se necesita no sólo información, sino la presencia y participación de los distintos actores sociales, que incluye tanto a los especialistas e investigadores como a las distintas comunidades involucradas y entidades gubernamentales de nivel nacional, provincial, municipal o comunal, según el caso.



**Sandra Gordillo**

Doctora en Ciencias Biológicas,  
Universidad Nacional de Córdoba.  
Investigadora Principal del  
CONICET, IDACOR

## Referencias bibliográficas

Darrigrán, G. 2005. Prevención y Control de Bivalvos de Agua Dulce. Caso "Mejillón Dorado" en la Región Neotropical. En: Gomes Nogueira, M.; Henry, R & Jorcin, A. (eds.) Ecología de Reservatorios. (SP) Brasil. pp. 235-250

Darrigran, G. y Damborenea M.C. (eds.) (2006) Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano. EDULP, La Plata. Argentina. 220 pp.

Martín, P. 2017. Caracoles sin fronteras: Patrones y procesos en ambientes dulceacuícolas de Argentina. Boletín de la Asociación Argentina de Malacología, 7 (2): 9-11.

Reyna, P., Gordillo, S. y Moran, G. 2018. Visitantes sin invitación: moluscos exóticos de la provincia de Córdoba (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 5 (2): 71-80. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEfyN/article/view/19338>

## Lecturas sugeridas

<https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/regionales/el-mejillon-dorado-no-deja-de-avanzar-en-los-lagos>

<https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/caracoles-mejillones-y-almejas-invaden-cordoba-y-pueden-generar-problemas>

<https://www.resumendelaregion.com/el-mejillon-chino-invadio-el-lago-los-molinos-y-bloquea-el-servicio-de-agua>

<http://www.fcen.uba.ar/fotovideo/EXm/NotasEXm49/exm49ecologia.pdf>

# Jóvenes científicos

**Pablo Yaciuk** es licenciado en Geología, egresado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. En la actualidad, es estudiante de Doctorado en Ciencias Geológicas de la UNC con una beca doctoral de CONICET.



Su proyecto de investigación, dirigido por la Dra. Karina Lecomte y el Dr. Fernando Colombo, consiste en el estudio de las características geoquímicas de aguas superficiales y de minerales presentes en la cuenca del arroyo Capillitas, en Catamarca. En particular, estudia el llamado drenaje ácido del Yacimiento Capillitas, producido por la disgregación y liberación de materiales de las rocas y minerales al entrar en contacto con la atmósfera y el agua (meteorización), los cuales generan acidez y liberan elementos tóxicos al ambiente.



## De las montañas a los ríos: siguiendo el camino de los metales en ambientes mineros

### ¿Qué tiene de particular el arroyo Capillitas en Catamarca?

Capillitas es un arroyo de montaña ubicado a una altura media de 3400 metros. Su sector de mayor altura se desarrolla parcialmente sobre el distrito minero "Capillitas", el cual es el yacimiento argentino más rico en especies minerales y uno de los mayores productores mundiales de rodocrosita ("piedra" nacional argentina). Este yacimiento tiene una historia de explotación compleja y extensa, habiendo sido trabajado, intermitentemente y a distintas escalas por los Incas, luego por los jesuitas y posteriormente por distintas compañías mineras nacionales e internacionales, e incluso emprendimientos familiares. Todos estos años de explotación, han puesto en contacto un gran volumen de rocas con sulfuros con la atmósfera y el agua. Este contacto produce modificaciones y desestabiliza los minerales que componen las rocas (proceso llamado meteorización), los cuales, al ser atravesados por el agua de lluvia o de los arroyos de la zona, producen lo que conocemos como "drenaje ácido de mina", liberando numerosos elementos tóxicos al ambiente.

### ¿Por qué es importante conocer estas características en una cuenca como la estudiada?

Si bien el drenaje ácido de mina es un problema estudiado a nivel mundial, no existen estudios sobre la temática en esta cuenca. Es importante identificar y comprender los procesos que llevan a los elementos químicos a liberarse de la estructura de los minerales que los alojan para alcanzar los suelos y cursos de agua

circundantes. Esto nos permite identificar potenciales fuentes de contaminación y cuáles son las condiciones ambientales más y menos favorables para que se produzca. Estos conocimientos son fundamentales para disminuir los impactos de la actividad minera y pensar eventuales medidas de remediación, brindando además herramientas adecuadas para la gestión sustentable de las aguas de la cuenca.

### ¿Cuál es el impacto que produce la concentración de elementos tóxicos en el agua?

Elementos potencialmente tóxicos, como los "metales pesados", son componentes que se encuentran naturalmente en el ambiente. Algunos son esenciales para la vida humana en pequeñas concentraciones, mientras que otros son útiles para el desarrollo de diversas tecnologías. Si bien estos elementos pueden encontrarse en grandes cantidades naturalmente, el desarrollo de ciertas actividades, como la minería, puede aumentar las concentraciones en ciertos reservorios, superando los umbrales permitidos y resultando tóxicos para la salud humana. Estos elementos suelen acumularse en los sedimentos y en los distintos niveles de la cadena alimentaria, produciendo la degradación de los suelos y distintas afecciones a la flora y la fauna. Uno de los mayores problemas de la contaminación por metales pesados es que suelen pasar desapercibidos en sus inicios, por lo que son detectados en fases avanzadas, donde gran parte del daño ya está hecho y es más difícil realizar las prácticas necesarias de remediación del ambiente y de atención de la salud de las personas afectadas.



## ¿Sería posible remediar estas consecuencias?

Parte de la peligrosidad de los metales pesados radica en que no son fácilmente degradables y que, una vez liberados, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. A pesar de esto, existen en la actualidad varios métodos que han permitido disminuir la carga contaminante en ciertos ambientes mineros y hay muchos más que aún están siendo estudiados. Las prácticas más utilizadas se basan en la fijación e inmovilización de los elementos tóxicos a través de la actividad de microorganismos y plantas, o de la incorporación de ciertos compuestos químicos artificiales o naturales. Debido a las dificultades que presenta la remediación de este tipo de contaminantes, siempre es preferible centrar esfuerzos en la prevención de estos problemas realizando adecuadas evaluaciones de impacto ambiental que incluyan estudios de base de las características naturales de cada sistema.

## ¿Cuáles son las actividades que realizás para llevar a cabo tu investigación?

Una de las primeras actividades que realizamos es el trabajo de campo: tomamos muestras de aguas, sedimentos, rocas y minerales. Luego, mandamos las muestras de agua al laboratorio para identificar qué elementos están presentes de manera disuelta y en qué cantidades. Por otro lado, estudiamos

las muestras de rocas y minerales por métodos ópticos (microscopio petrográfico y de luz reflejada) y electrónicos (microsonda de electrones) para conocer qué minerales están presentes y su composición química. Los datos obtenidos nos sirven para identificar los procesos que ocurrieron en los distintos ambientes (aguas y rocas), los cuales determinaron que ciertos elementos se encuentran en algunos sitios en mayor abundancia que otros. Todas estas actividades son acompañadas por una capacitación constante, la cual involucra mucha lectura de bibliografía, la realización de cursos y la participación en congresos, entre otras.

## ¿Cómo surgió tu interés en estudiar esta temática?

Desde que era chico disfrutaba mucho de leer libros y ver documentales de temas relacionados con la naturaleza. Durante mi etapa como estudiante de geología tuve la oportunidad de interiorizarme más con las ciencias ambientales y, particularmente, con aquellas relacionadas con el agua. A través del estudio de estas temáticas, vi una oportunidad para realizar avances en el conocimiento que pudieran mejorar la calidad de vida de las personas. Luego de hablar con mis actuales directores, decidí realizar mis estudios de doctorado investigando las aguas superficiales y su interacción con distintas rocas y minerales en el distrito Capillitas. Si bien en algunos momentos me resulta

difícil especializarme simultáneamente en temáticas tan distintas (hidrogeológica y mineralogía), en general lo disfruto, ya que me permite tener una visión ampliada de la problemática y una mejor comprensión de los procesos que ocurren en la zona.

## ¿Qué actividades realizás en tus tiempos libres?

Me gusta hacer actividades al aire libre y compartir tiempo con mis amigos/as. Me gusta mucho viajar y conocer nuevos lugares, por lo que es una actividad que intento hacer siempre que puedo. Además, soy un aficionado al coleccionismo de monedas, así que suelo dedicar algo de tiempo para que mi acumulación de monedas se transforme en algo parecido a una colección.

## ¿Tenés planes para futuro en ciencia?

Mi plan actual es terminar mi tesis doctoral en el CICTERRA. A futuro, me gustaría presentarme a una beca postdoctoral para luego continuar trabajando en el sistema científico argentino. Lamentablemente, resulta cada vez más difícil hacer ciencia en nuestro país debido a las políticas científicas que se han llevado a cabo en los últimos años, y que han contribuido a un desfinanciamiento y vaciamiento del sector científico. Sin embargo, tengo la esperanza de que esta situación pueda ser revertida en el futuro.

# EL PELIGRO VOLCÁNICO EN ARGENTINA



**Ivan Alejandro Petrinovic**  
Dr. en Ciencias Geológicas  
Investigador Principal del CONICET

**Argentina es un país volcánico. Testimonio de ello son los casi 40 volcanes ubicados en la línea de frontera con Chile y Bolivia, o dentro del territorio nacional, que han tenido actividad en los últimos 10 mil años. Si a esto le sumamos los más de 70 volcanes ubicados en territorio chileno, que nos han afectado con lluvias de cenizas durante igual período de tiempo, el resultado es que los volcanes forman parte de nuestras vidas. Es difícil percibir la idea de que convivimos con volcanes, ya que cualquier argentino a lo largo de su vida, ha sido afectado -en el mejor de los casos- sólo por alguna/s erupción/es de baja magnitud.**

## **¿Qué sabemos y qué falta saber?**



## ¿Qué es un volcán activo?

Las erupciones volcánicas ocurren desde hace 4.500 millones de años en nuestro planeta. Cada año hay alrededor de 60 erupciones, la mayoría con bajo Índice de Explosividad y poca dispersión de los productos volcánicos (por ejemplo, en la región andina: Chaiten, 2008; Llaima, 2009; Puyehue, 2011; Copahue, 2012; Villarrica, 2015; Calbuco 2015). Desde una perspectiva histórica, se ha intentado caracterizar a los volcanes y considerar su peligrosidad latente. Así, los “volcanes activos” son aquéllos que han presentado una erupción en tiempos históricos y hoy muestran algún signo de actividad, mientras que llamamos “volcanes dormidos” a aquéllos que desarrollaron una erupción en tiempos históricos y hoy “no muestran signos de actividad”. Los volcanes que no registraron una erupción durante tiempos históricos son conocidos como “volcanes extintos”. Esta clasificación, a la luz del conoci-



**No obstante, hoy en día existe un consenso en considerar a un volcán como activo, cuando muestra actividad eruptiva actual o registró erupciones o signos de actividad geotermal (fumarolas y géiseres), sismos o deformación en los últimos 10.000 años**

miento actual carece de valor científico, ya que el hecho de no detectar erupciones durante el breve lapso de la historia documentada del ser humano, no significa que el mismo se haya extinguido. En términos volcanológicos, podemos decir que la frecuencia volcánica de las erupciones explosivas de gran magnitud (supervolcanes) es mayor a todo el lapso de la historia de la humanidad. Razón por la cual, los volcanes responsables de las erupciones más catastróficas reconocidas en la historia de la Tierra serían considerados como “inactivos”. No obstante, hoy en día existe un consenso en considerar a un volcán como activo, cuando muestra actividad eruptiva actual o registró erupciones o signos de actividad geotermal (fumarolas y géiseres), sismos o deformación en los últimos 10.000 años.

## ¿Cómo nos afectan las erupciones?

Las erupciones volcánicas afectan a las localidades aledañas de múltiples maneras. Pero, las localidades más alejadas pueden verse afectadas por lluvias de cenizas. Ahora bien, ¿qué es una lluvia de cenizas? Las cenizas son fragmentos de magma del tamaño de un grano de arena o menores, formados por explosiones volcánicas.

Los volcanes pueden explotar o sólo emitir lavas. La mayoría de los volcanes activos en los Andes, tienen y han tenido erupciones explosivas. Esto ocurre cuando el magma asciende por los conductos buscando la superficie, y los gases contenidos en el magma (principalmente dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua) se separan del líquido bruscamente formando una espuma que llega a la superficie con velocidades supersónicas. Así, se pueden formar chorros de material particulado (cenizas) y gas que pueden ascender hasta las capas altas de la atmósfera y dispersarse a escala continental gracias a los vientos dominantes a distintas alturas. Los vientos do-

**Figura 1** Distribución de volcanes activos (Holoceno = 10.000 años al presente) como puntos rojos en la cadena andina (fuente: Smithsonian Inst., *Global Volcanism Program*).

minantes de altura (durante las cuatro estaciones), hacen que muchas de las erupciones ocurridas en territorio chileno, afecten el territorio argentino. Las acumulaciones de cenizas volcánicas pueden observarse como capas (muchas veces discontinuas lateralmente) en las laderas de cursos fluviales o carreteras, o bien al realizar excavaciones en las llanuras. En Córdoba, estas capas de cenizas no son muy comunes, dado que no tenemos volcanes activos directamente al Este de esta latitud. No obstante, son frecuentes en el noroeste argentino, en la región pampeana y en la Patagonia.

Las lluvias de cenizas afectan no sólo la vida humana, provocando enfermedades respiratorias, sino que afectan el circuito social y económico de una región. Por ejemplo, las provisiones de agua poblacionales pueden verse afectadas si no están cubiertas, las redes viales y tráfico aéreo pueden ser interrumpidas, la pastura para ganado y cultivos pueden ser afectadas impidiendo la continuidad de tareas rurales y la alimentación del ganado. En las zonas urbanas, la afectación puede ser mayor, interrumpiendo drenajes artificiales y naturales, provocando el colapso de techos por exceso de carga, impidiendo el suministro eléctrico y los medios de comunicación, entre otros efectos.

Las comunidades aledañas a volcanes, son las más afectadas por las erupciones. Esto es así, porque algunos procesos que transportan y forman rocas volcánicas, son extremadamente peligrosos. El mayor índice de pérdidas de vidas humanas es precisamente en localidades afectadas directamente por procesos eruptivos que ocurren en un breve lapso de tiempo, y generalmente no dan tiempo para resguardarse de sus efectos.

## Los peligros volcánicos

Hay abundante material filmográfico, en el que las víctimas son atrapadas por lavas incandescente que destruyen todo a su paso. No es el caso de los volcanes de los Andes, donde la frecuencia de lavas con cierta movilidad (algunos kilómetros por hora) son extremadamente raras. La mayoría de las lavas andinas se mueven metros por día y no constituyen un peligro real. Los mayores peligros asociados a una erupción volcánica explosiva en nuestros volcanes son los asociados a corrientes de material particulado que descienden vertiginosamente por las laderas del volcán, pudiendo alcanzar en algunas ocasiones centenas de kilómetros en un lapso breve de tiempo. ¿Cómo sabemos qué volcán es capaz de generar estos procesos y cómo nos prevenimos para minimizar sus efectos? A través del conocimiento de la historia eruptiva del volcán.

**Las lluvias de cenizas afectan no sólo la vida humana, provocando enfermedades respiratorias, sino que afectan el circuito social y económico de una región. Por ejemplo, las provisiones de agua poblacionales pueden verse afectadas si no están cubiertas, las redes viales y tráfico aéreo pueden ser interrumpidas, la pastura para ganado y cultivos pueden ser afectadas impidiendo la continuidad de tareas rurales y la alimentación del ganado. En las zonas urbanas, la afectación puede ser mayor, interrumpiendo drenajes artificiales y naturales, provocando el colapso de techos por exceso de carga, impidiendo el suministro eléctrico y los medios de comunicación, entre otros efectos**

Los volcanes, al igual que las personas, tienden a repetir sus actos, -si lo hizo una vez, probablemente lo vuelva a hacer-. Entonces, la mejor manera de catalogar los volcanes potencialmente peligrosos, es a través del estudio de su pasado eruptivo. Una suerte de estudio psicoanalítico-forense del volcán, ahondando en su pasado, descifrando la manera en que ocurrieron los hechos, no sólo a través del estudio geológico. Las ciencias sociales, son de gran ayuda a iguales propósitos. El estudio sistemático y metodológico de fuentes gráficas, escritas, orales son muy útiles al tiempo de reconstruir erupciones pasadas, ya que hay erupciones que no dejan registro geológico (rocas) y la única forma de identificar su ocurrencia, es a través de los hechos humanos registrados en la época.

Entonces, los peligros volcánicos más destacables en los volcanes andinos son aquellos derivados de las erupciones explosivas y se pueden agrupar en: i) lluvias de cenizas, caída de bloques y bombas, ii) corrientes de material particulado, iii) flujos de escombros y avalanchas.

## Lluvias de cenizas y caídas de bloques

Las lluvias de cenizas, afectan regional y globalmente a las poblaciones, constituyendo un peligro cierto y casi seguro para el territorio nacional. Es el mayor peligro volcánico al cual nos encontramos muy vulnerables. Así, numerosas fuentes de aprovisionamiento de agua se encuentran expuestas, y las condi-

## Peligro o Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo

Estas palabras son utilizadas muchas veces como sinónimos, pero significan conceptos muy distintos. Los peligros o amenazas de un evento natural son algo objetivo, concreto, que puede ocurrir bajo ciertas condiciones y con un grado relativo de previsibilidad. En el caso de los volcanes, es la amenaza de cierto volcán de producir un evento posible capaz de causar destrucción. La vulnerabilidad es el grado de exposición de vidas y bienes u objetos naturales ante cierto peligro o amenaza. Por ejemplo, una población donde preponderan los techos de chapa, es más vulnerable a una lluvia de cenizas, que aquel donde predominan los techos de losa. Riesgo es la relación entre peligro/amenaza y vulnerabilidad. Por ejemplo, las corrientes piroclásticas que puedan ocurrir en el volcán Lullillaco en la provincia de Salta, son un peligro que representa poco riesgo, ya que no hay poblaciones que puedan ser directamente afectadas. Caso inverso, es el volcán Copahue en la provincia de Neuquén, donde a peligros bajos/moderados, puede haber un gran riesgo, dada la población ubicada a escasos kilómetros del volcán.

ciones socio-económicas de las comunidades andinas dictan las posibilidades edilicias que no siempre son las adecuadas. La asistencia en crisis eruptivas, no siempre logra paliar los efectos del desastre natural, ya que carecemos de protocolos y educación poblacional a la altura de los posibles escenarios eruptivos. A este respecto, en las últimas décadas se ha logrado una mayor participación del ámbito científico en la toma de decisiones y en el manejo de las vulnerabilidades, pero lejos estamos de alcanzar una relación óptima.

**Los volcanes, al igual que las personas, tienden a repetir sus actos, -si lo hizo una vez, probablemente lo vuelva a hacer-. Entonces, la mejor manera de catalogar los volcanes potencialmente peligrosos, es a través del estudio de su pasado eruptivo. Una suerte de estudio psicoanalítico-forense del volcán, ahondando en su pasado, descifrando la manera en que ocurrieron los hechos**

Pueden afectar extensos territorios, incluso dispersarse a escala global. Para ilustrar su magnitud y alcances, valen los ejemplos del siglo XX en la Argentina como la producida por el volcán Quizapu en 1932. En esta erupción, más de 10 kilómetros cúbicos de cenizas se dispersaron como una nube hacia el Atlántico llegando a Río de Janeiro en menos de tres días. Toda la región central argentina se vio afectada (5 centímetros de cenizas en La Pampa y 1 centímetro en la ciudad de Buenos Aires), pero las localidades más cercanas (Malargüe) recibieron gruesas capas de ceniza que perjudicaron no sólo los bienes y el desarrollo (se estima que la caída de la temperatura en el hemisferio sur fue de 0,8°C) sino también la salud humana (las partículas menores a 10 micrómetros, afectan seriamente las vías respiratorias de la población).

Otra erupción más reciente, fue la del Hudson en 1991.

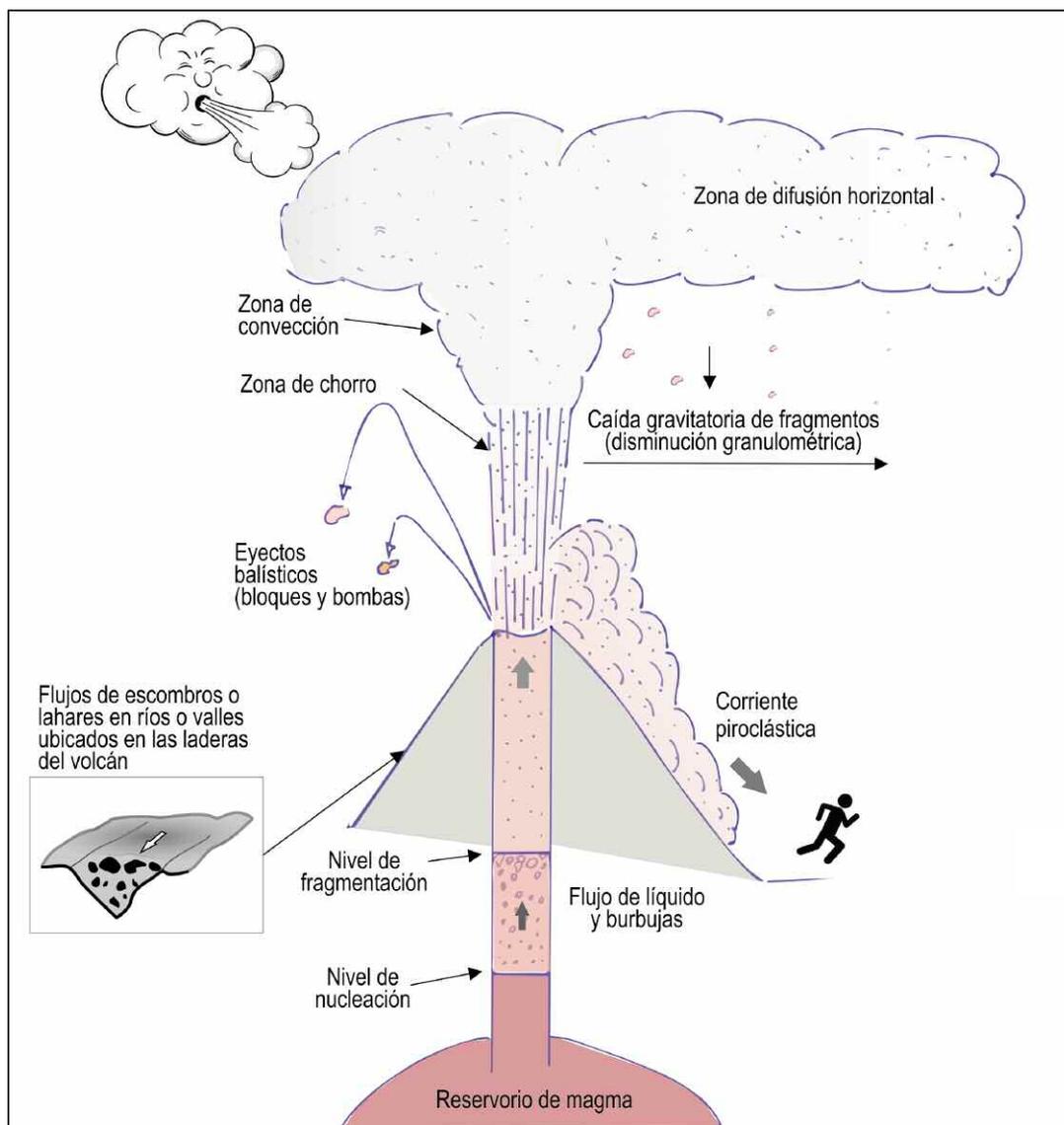
Se estima que se produjeron casi 8 kilómetros cúbicos de cenizas que alcanzaron el Atlántico (incluso dieron la vuelta al planeta pasando por encima del volcán en los días posteriores a la erupción) y afectaron seriamente toda la meseta patagónica varios años después de la erupción. Ahora, no en toda la meseta cayeron cenizas de igual tamaño.

Los fragmentos que se originan en una erupción explosiva y son expulsados violentamente a la atmósfera, van cayendo por su propio peso. Así, los fragmentos mayores caen en las cercanías del volcán y los más finos son dispersados por los vientos a mayores distancias. En los alrededores del cráter o boca eruptiva en proceso, son arrojados fragmentos de varios metros cúbicos. Pueden ser fragmentos de magma (bombas volcánicas) o fragmentos de la roca que forma las paredes del conducto (bloques balísticos). En ambos casos, opera la ley de la balística en su eyección incluyendo tamaño, velocidad inicial, la gravedad y el ángulo de disparo como variables en juego. El resultado son verdaderos proyectiles que impactan en todo el entorno del volcán y resultan sumamente peligrosos. Los volcanes que emiten este tipo de productos, suelen ser delimitados durante crisis volcánicas, impidiendo el acceso de personas a las potenciales áreas de impacto. Ejemplos de este proceso pudieron observarse en la erupción 2012 del volcán Copahue (Neuquén).

## Corrientes piroclásticas

Se forman con los mismos fragmentos que las lluvias de ceniza y caen en los entornos del cráter, pero ya no como fragmentos balísticos, sino como una masa incandescente de fragmentos sólidos y gas que fluye descendiendo por las laderas del volcán a altísimas velocidades. Por cierto, este es el mayor peligro que puede ofrecer un volcán ya que la temperatura y velocidad del proceso es tal, que muchas veces no da tiempo para huir de su paso.

Usualmente fluyen a cientos de kilómetros por hora y pueden superar los 600 grados de temperatura. Si son densas (más



**Figura 2**

**Productos de una erupción explosiva y peligros volcánicos más comunes (ver texto por definiciones).**

sólidos que gas) se encauzan en valles fluviales; si son diluidas (más gas que sólidos en suspensión), pueden cubrir bajos y altos del relieve y se transforman en la mayor amenaza en las laderas de un volcán.

Son frecuentes en volcanes andinos explosivos, y coexisten en la misma erupción con lluvias de cenizas y caídas de bloques y bombas. Cuando hay poblaciones en el curso de valles que descienden del volcán, representan una amenaza cierta y pueden causar muchas víctimas y daños a la infraestructura.

## Flujos de escombros (lahares) y avalanchas

Se originan por desplomes de rocas inestables en pendientes elevadas. Fluyen generalmente a temperatura ambiente por lo que no calcinan todo a su paso, como las corrientes piroclásticas. Pero al igual que éstas, sepultan todo a su paso fluyendo a velocidades considerables.

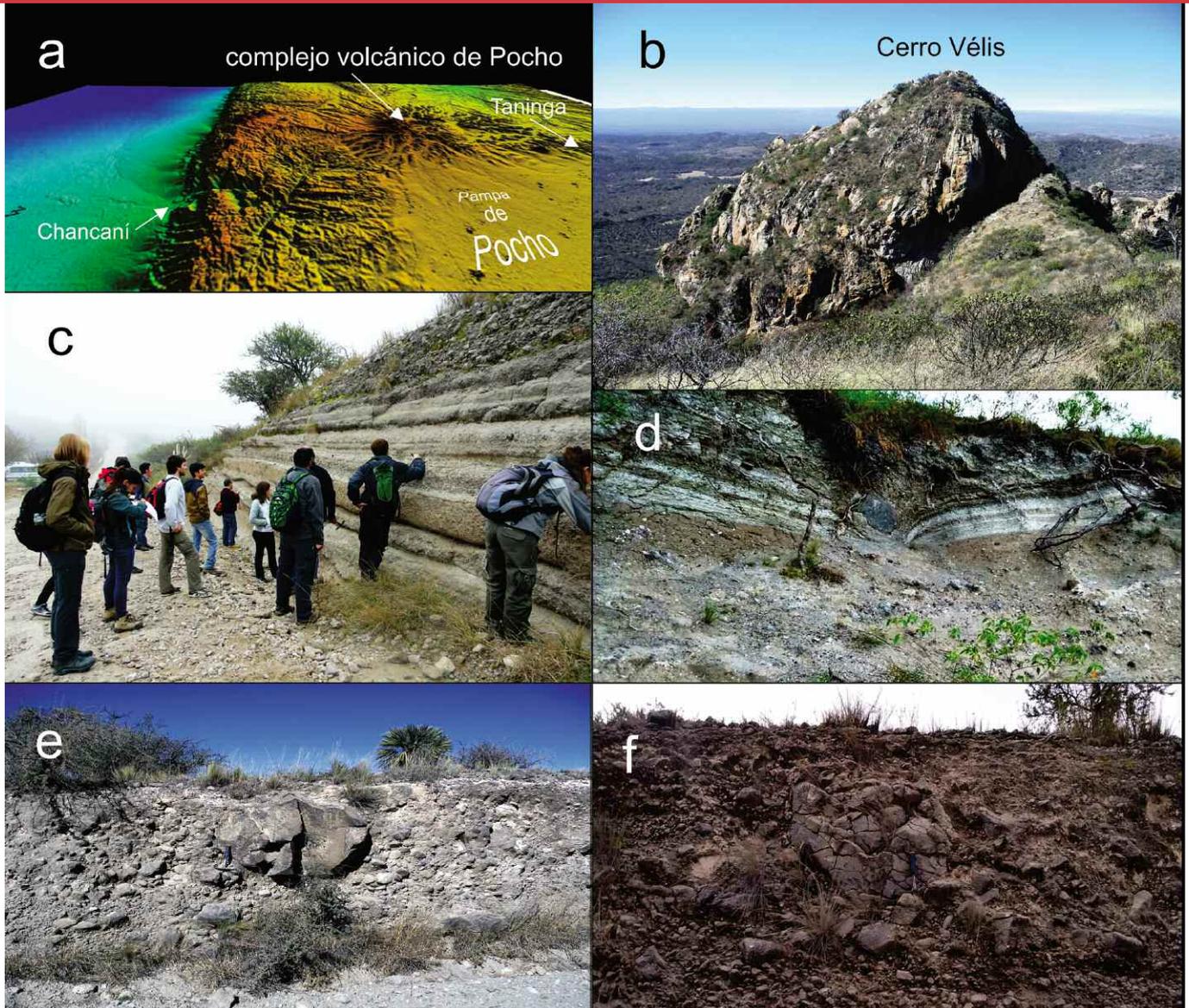
Ocurren usualmente durante erupciones, cuando las co-

### Los volúmenes de las erupciones

Imaginemos un cubo de 1000 m de lado por 1000 metros de altura, ( $1 \text{ km}^3 = 1.000.000 \text{ metros}^3$ ). Calculemos que la ceniza tiene una densidad de  $700 \text{ kg/m}^3$ , entonces  $1 \text{ km}^3$  pesaría unos 700 millones de kilogramos. La erupción del Quizapu arrojó unos 4 kilómetros cúbicos... si las repartiéramos a cada habitante en Argentina hoy, nos tocarían a cada uno 70 kilos de ceniza.

**Figura 3**

Complejo volcánico de Pocho (Córdoba). a) Modelo de elevación digital (SRTM) del oeste de la provincia de Córdoba, mostrando en perspectiva la ubicación geográfica del complejo volcánico. b) panorámica del Cerro Véjis. Es una porción de magma que llegó a la superficie en estado semisólido, rellenando el conducto original. c) Lluvias de ceniza depositadas solapadamente, alternando con depósitos de corrientes piroclásticas (ruta provincial nº 28). d) Detalle del impacto de un bloque balístico en depósitos de corrientes piroclásticas (ver esquema en Figura 2). e) Depósito de flujo de escombros o lahar (ruta provincial nº 28) formado por la re-movilización de material volcánico suelto (incluyendo bloques de grandes dimensiones). f) bloques calientes y fragmentados incluidos dentro del mismo depósito que en e).



rientes piroclásticas alcanzan ríos, se diluyen, enfrían y se mezclan con los sedimentos del curso de agua, vigorizando el transporte y alcanzando en ocasiones decenas a cientos de kilómetros de su origen. En otras ocasiones, el incremento de temperatura en el cráter de un volcán activo, funde el hielo y lo transforma en una corriente de barro y escombros volcánicos que puede afectar poblaciones sobre los cauces de ríos, sin que exista una erupción significativa asociada.

Las avalanchas, son el desplome gravitacional de una parte del edificio volcánico. Las magnitudes del proceso pueden ser catastróficas y ocurren cuando el volcán se torna inestable, debido a deformación interna. Son comunes en volcanes con elevadas pendientes (ángulos mayores de 30 grados). En ocasiones, el desplome del edificio gatilla una erupción, ya que, al perder parte de las capas externas, el magma contenido bajo la superficie se ve liberado y hace erupción.

**En Córdoba tenemos un pasado volcánico reciente (en tiempo geológico), y bastante explosivo. Ocurrió en el departamento Pocho, al oeste de la localidad de Salsacate, hace unos 5 millones de años**

## ¿Están relacionadas las erupciones y los terremotos?

No hay una respuesta que satisfaga esta pregunta y es motivo de estudio en cada volcán en particular. Ya en el siglo XIX, Darwin anticipó que existía una relación entre grandes terremotos y erupciones volcánicas, en base a lo que pudo observar en los Andes. Autores recientes analizaron terremotos de magnitud mayor a ocho ocurridos en Chile, y observaron que hasta 2 años después de cada terremoto, hubo un incremento en la actividad de los volcanes ubicados en un radio de 500 km.

## ¿Y en Córdoba?

Córdoba no tiene volcanes activos, por lo que no es necesario evaluar peligros volcánicos potenciales en la provincia. Si algún volcán del sur de Mendoza, Neuquén o de las provincias del noroeste hace erupción, y los vientos dominantes tienen la dirección adecuada, la provincia puede ser afectada por lluvia de cenizas. Pero eso es todo.

En Córdoba tenemos un pasado volcánico reciente (en tiempo geológico), y bastante explosivo. Ocurrió en el departamento Pocho, al oeste de la localidad de Salsacate, hace unos 5 millones de años. El magma, generado a grandes profundidades, ascendió por la corteza y alcanzó la superficie de manera muy explosiva, generando corrientes piroclásticas, lluvia de cenizas, caída de bloques y flujos de escombros volcánicos (casi todos los peligros volcánicos juntos). La erupción debió devastar la zona de Pampa de Pocho calcinando y sepultando grandes extensiones. Quedan como vestigios del pasado volcánico, un gran número de conductos por los cuales surgió el material incandescente, ahora rellenos del magma que no logró llegar a la superficie.

## ¿Qué sabemos y qué falta saber de nuestros volcanes?

La volcanología es una disciplina de las ciencias de la tierra muy joven. Llegó en la década de los 70 a nuestro país (un poco después que en el resto del mundo), por lo que aún sabemos poco de nuestros volcanes. Tres generaciones de volcanólogos argentinos se han ocupado y se ocupan de entender cada día más cómo funcionan y cuáles son sus peligros. Algu-

nos estudiamos lo que hicieron en el pasado, otros estudian lo que hacen en la actualidad. Entre todos tratamos de incrementar el conocimiento científico que contribuya a que las próximas generaciones puedan seguir trabajando sobre bases de conocimiento cada día más sólidas.

Sabemos que han ocurrido erupciones devastadoras en los últimos milenios, y que algunos de los volcanes activos son recurrentes en sus erupciones. Necesitamos profundizar el conocimiento de nuestros volcanes y organizar esa información, para contribuir desde la ciencia, a la toma de decisiones gubernamentales ante erupciones que nos puedan afectar.

**Tres generaciones de volcanólogos argentinos se han ocupado y se ocupan de entender cada día más cómo funcionan y cuáles son sus peligros. Algunos estudiamos lo que hicieron en el pasado, otros estudian lo que hacen en la actualidad. Entre todos tratamos de incrementar el conocimiento científico que contribuya a que las próximas generaciones puedan seguir trabajando sobre bases de conocimiento cada día más sólidas**

### G

#### Glosario

**Magma:** porción de rocas fundidas, donde coexisten sólidos (cristales de minerales), gases y líquido.

**Índice de Explosividad Volcánica (IEV):** mide la energía liberada por las erupciones en una escala de 0 a 8.

**Registro geológico:** Son las huellas que dejan los procesos geológicos y es el objeto de estudio de las ciencias geológicas. Incluyen rocas, fósiles y marcadores geoquímicos que evidencian el ambiente y los procesos por los cuales se formaron.

# HORMIGÓN

## ¿Una roca hecha por el hombre?

El hormigón es el segundo material más consumido por la sociedad a nivel mundial, después del agua. Está compuesto mayoritariamente por materiales rocosos naturales y procesados, y alcanza resistencias similares a las de algunas rocas, por lo que se lo suele considerar "una roca hecha por el hombre". La industria de la construcción involucra el consumo de grandes cantidades de recursos naturales no renovables así como la generación de importantes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por lo que a nivel mundial existe un esfuerzo conjunto de gobiernos, empresas y de la comunidad científica para diseñar estrategias que minimicen estos impactos.



Dique La Viña, departamento San Alberto, Provincia de Córdoba

Antes de introducirnos en el tema, es importante efectuar una observación. Es común el confundir cemento con hormigón, por lo que solemos escuchar afirmaciones como “esa obra es de cemento”. Aquí es importante hacer una aclaración quizás algo obvia para muchos pero necesaria para poder avanzar con otros conceptos: “cemento” no es lo mismo que “hormigón”. Haciendo una analogía, el cemento es al hormigón lo que la harina es para una torta.

## ¿Qué es el hormigón y cuál es su origen?

A lo largo de su historia, la humanidad ha utilizado diferentes materiales adaptándolos a sus necesidades. Un ejemplo claro de esto ha quedado registrado en la construcción de diversas obras de arquitectura de variada complejidad; desde los primeros refugios y sitios sagrados o de culto (p.ej., las pirámides de Egipto) hasta las modernas obras de ingeniería actual. Las “piedras” (o “rocas” como nos gusta denominarlas a los geólogos), constituyen uno de los primeros materiales utilizados por la humanidad para la construcción, así como también la utilización de “barros” (sedimentos de tamaño de grano fino mezclados con agua) y diferentes vegetales como troncos, ramas y cañas.

Los primeros registros de un material sólido artificial derivado de la mezcla de materias primas naturales con sustancias aglutinantes y agua, provienen de elementos encontrados en Israel y datan de aproximadamente 9.000 años. Se trata de pisos fabricados aparentemente mediante la mezcla de cal (óxido de calcio, CaO), agua y arenas. Esto supone que ya en esa época se calcinaban (calentamiento a gran temperatura) rocas o suelos ricos en carbonatos de calcio (CaCO<sub>3</sub>) para la obtención de cal en una forma similar a lo que sucede en la actualidad. La mezcla de cal con agua produce la cal hidratada que combinada con arena y gravas (o piedra triturada), y expuesta al CO<sub>2</sub> de la atmósfera, da como resultado un material sólido que podríamos considerar como una especie de hormigón rudimentario. Sin embargo, el hito que marca el inicio del

***El hormigón es un material compuesto, conformado por un medio aglutinante denominado pasta de cemento (cemento + agua) en el cual quedan embebidas las partículas de agregados (finos y gruesos)***

hormigón como lo conocemos en la actualidad, se remonta a 1824 cuando Joseph Aspdin, como corolario del trabajo de numerosas experiencias previas, patenta en Inglaterra el primer cemento portland obtenido mediante la calcinación de piedra caliza y arcilla.

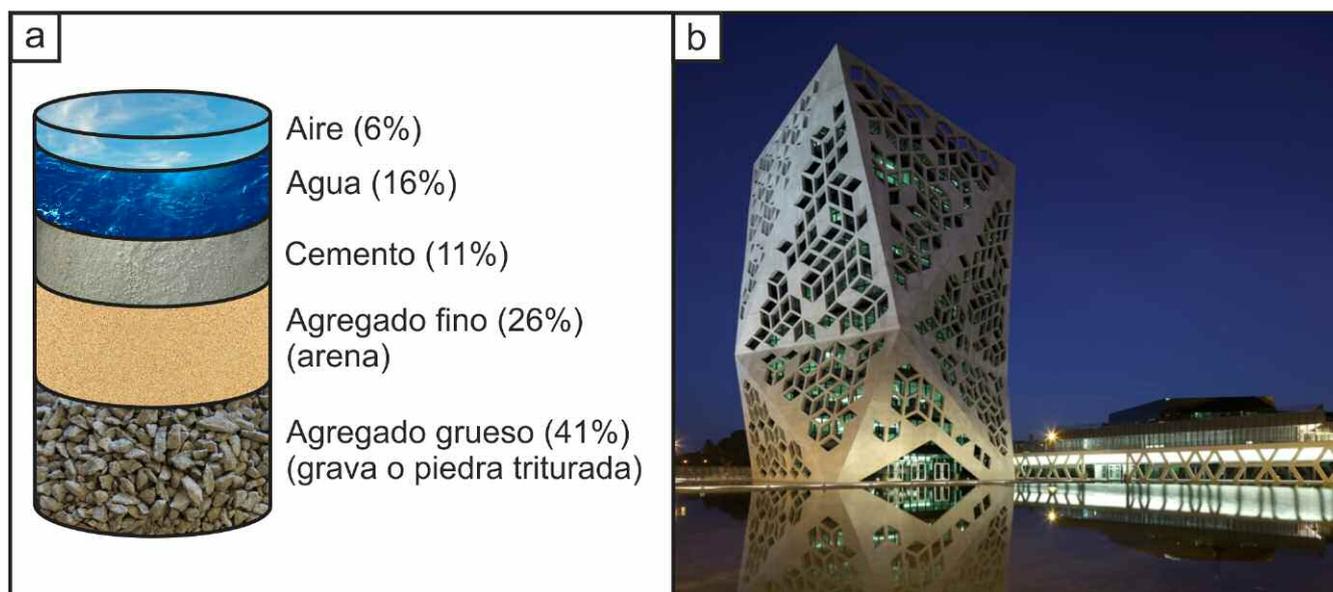
Actualmente, la fabricación del cemento se realiza en hornos giratorios a una temperatura entre 1.400 °C y 1.650 °C. A partir de este proceso se generan pequeñas esferas denominadas *clinker*, las cuales son posteriormente molidas, lográndose un material pulverulento al que se le agrega un porcentaje de yeso para constituir el cemento portland normal que consumimos día a día. La mezcla del cemento portland con agua, arena y gravas en determinadas proporciones, da origen al hormigón que conocemos en la actualidad (Figura 1a). En definitiva, el hormigón es un material compuesto, conformado por un medio aglutinante denominado pasta de cemento (cemento + agua) en el cual quedan embebidas las partículas de agregados (finos y gruesos). En la actualidad existen diferentes tipos de cemento y hormigones a los cuales se le incorporan aditivos químicos, minerales y otros compuestos, con el objetivo de producir hormigones adaptados para fines particulares (Figura 1b).

## ¿Por qué los geólogos nos involucramos en el estudio del hormigón?

Si bien es común asociar al hormigón con la ingeniería civil, ya que es uno de los materiales más utilizados para

**Figura 1.** a) Componentes de un hormigón convencional. Los porcentajes son estimativos y pueden variar dependiendo del tipo de hormigón fabricado. b) Edificio del Centro Cívico del Bicentenario en la Provincia de Córdoba, construido con un hormigón autocompactante-arquitectónico (fuente de la imagen: <http://arquitecturapanamericana.com/centro-civico-del-bicentenario-cordoba>).

*El 60% al 80% del hormigón está constituido por agregados finos y gruesos (también denominados áridos), es decir rocas*



la construcción de obras civiles, es importante tener en cuenta que el 60 % al 80 % del hormigón está constituido por agregados finos y gruesos (también denominados áridos), es decir rocas, por lo que no debería ser extraña la participación de los geólogos en su estudio. Desde la geología estudiamos diferentes características de los agregados pétreos tales como la mineralogía (tipos de minerales presentes y su proporción), tamaño de los granos minerales, textura (disposición de los minerales en la roca), entre otras características. A través de esta información evaluamos desde el punto de vista geológico, su aptitud (o calidad) para diferentes aplicaciones. Estas evaluaciones pueden efectuarse mediante técnicas simples, como la realización de observaciones con lupas de mano, o empleando técnicas más sofisticadas, como el estudio mediante la utilización de microscopios u otros métodos de mayor complejidad. Estos análisis están normalizados por las normas IRAM argentinas (Instituto Argentino de Nor-

malización y Certificación), denominándose de manera general como estudios petrográficos. Los resultados de estos estudios son de gran importancia para la toma de decisiones en obras de ingeniería.

### ¿Por qué decimos que el hormigón es una roca hecha por el hombre?

Si bien los procesos involucrados en la producción de un hormigón distan mucho de los procesos naturales formadores de rocas, la comparación se basa principalmente en las propiedades físico-mecánicas alcanzadas, además de compartir ciertos atributos de aspecto (Figura 2). Por otro lado, a excepción del agua, tanto los agregados (arenas y gravas) como el cemento derivan de materiales rocosos naturales o procesados, por lo que podríamos también considerar al hormigón como una roca reconstituida. Dependiendo del tipo de hormigón generado (existen dife-

rentes tipos), pueden alcanzarse resistencias muy elevadas similares a las de algunas rocas, aunque su vida útil es mucho más limitada. Sin embargo, teniendo en cuenta que el hormigón en estado fresco puede adquirir la forma del recipiente que lo contiene en un corto período de tiempo, este material es utilizado en un sinnúmero de obras de infraestructura y arquitectura, lo que le otorga cierta ventaja frente a las rocas naturales.

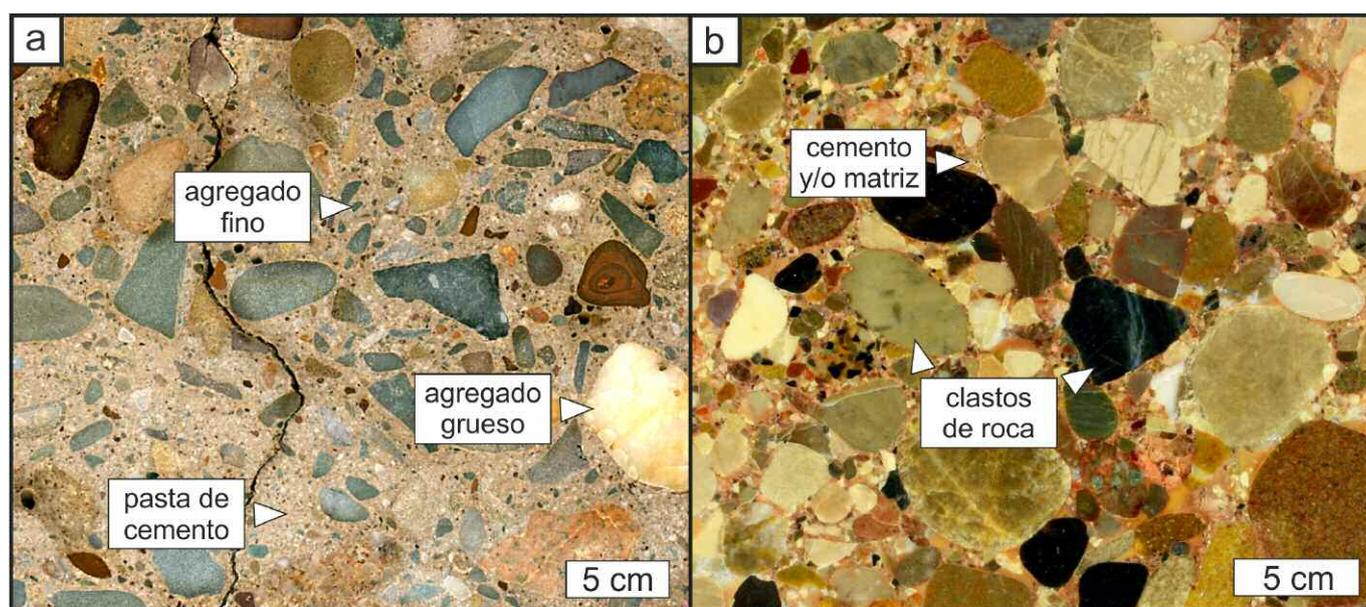
## Desafíos actuales

Se estima que el hormigón es el segundo material más consumido a nivel mundial, luego del agua. A su vez, se calcula que la industria del cemento es responsable de aproximadamente el 6-8% de las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales. Esto, sumado a la demanda creciente de cemento, ha obligado a que se tomen medidas a nivel mundial con el fin de disminuir este tipo de emisiones. Si bien desde hace algunas décadas las industrias cementeras están implementando medidas al respecto tales como el incremento en la eficiencia energética y el uso de combustibles alternativos, aún existen áreas que pueden ser optimizadas. A nivel

***Tanto los agregados (arenas y gravas) como el cemento derivan de materiales rocosos naturales o procesados, por lo que podríamos también considerar al hormigón como una roca reconstituida***

internacional se están proponiendo al menos dos medidas; la primera es realizar un uso más eficiente del cemento, optimizando las proporciones de los materiales utilizados para lograr hormigones de mejor calidad; la segunda es la utilización de materiales cementicios suplementarios (MCS) en reemplazo parcial del cemento. Los MCS son materiales naturales o artificiales finamente molidos que contribuyen a lograr hormigones de resistencias similares o aún mejores que si solo se utilizara cemento, contribuyendo así a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas durante la fabricación de este último.

Mencionamos que el hormigón tiene una vida útil, la cual depende de una gran cantidad de variables. Lo cierto



**Figura 2.** a) Sección pulida de un hormigón (fuente de la imagen: <https://www.petrolab.co.uk/concrete>). b) Sección pulida de una roca tipo "conglomerado" (fuente : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:00142\\_9\\_cm\\_conglomerate.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:00142_9_cm_conglomerate.jpg)).

## *Se estima que el hormigón es el segundo material más consumido a nivel mundial, luego del agua. A su vez, se calcula que la industria del cemento es responsable de aproximadamente el 6-8% de las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales*

es que el fin último del hormigón es transformarse en escombros, representando un pasivo ambiental que requiere de tratamiento. A su vez, la producción de un hormigón supone el consumo de materiales rocosos (agregados finos y gruesos), recursos naturales que no son renovables. Esto ha llevado a la propuesta de utilizar agregados de hormigón reciclado para la fabricación de nuevos hormigones. En otras palabras, la idea es poder reutilizar el hormigón desechado como agregados reciclados para la generación de otros nuevos. Esta es una temática en pleno desarrollo y con gran potencial.

Desde el CICTERRA realizamos investigaciones en colaboración con investigadores del país y de otras instituciones extranjeras a fin de optimizar el uso de los recursos naturales utilizados en la industria de la construcción, así como para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con esta industria. Algunas de las investigaciones en curso se vinculan con el control de calidad de agregados pétreos para obras de hormigón, el estudio de diferentes adiciones minerales para su uso como MCS, y la optimización de hormigones generados con agregados de hormigón reciclado.

### **Francisco Locati**

Doctor en Ciencias Geológicas  
Investigador Adjunto del CONICET



## Glosario

**Arena y grava:** los tecnólogos del hormigón definen a las partículas de roca con tamaños menores a 4,75 milímetros como agregados finos (o simplemente arena), y a las mayores de 4,75 milímetros como agregados gruesos (o simplemente grava). En las Ciencias de la Tierra, llamamos partículas tamaño arena a aquellas comprendidas entre 2 y 0,0625 milímetros, y tamaño grava a las mayores de 2 milímetros.

**Brecha:** roca compuesta por fragmentos angulares de minerales y/o rocas de gran tamaño (generalmente mayores de 2 milímetros), unidos entre sí por un cemento mineral y/o una matriz de tamaño de grano fino.

**Cemento:** conglomerante o aglutinante formado a partir de una mezcla de calizas y arcillas calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.

**CO<sub>2</sub>:** gas incoloro compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno (también denominado dióxido de carbono).

**Roca:** material sólido cohesionado compuesto por uno o más minerales, que se forma de manera natural.

**Vida útil:** se puede definir como el período de tiempo a partir de la construcción de una obra durante el cual debe mantener las condiciones aceptables de seguridad, funcionalidad o aptitud en servicio y aspecto estético sin gastos de mantenimiento no previstos.

## Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Maldonado, N.G. y Carrasco, M.F. (Ed.) 2012. Ese material llamado hormigón, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 366 páginas.

Fookes, P.G. y Walker, M.J. 2010. Concrete: A man-made rock?. Geology Today 26, 2, 65-71.

## FICHA GEOLÓGICA

### MINERALES: FLUORITA



**Composición y sistema de cristalización:** mineral formado por la combinación de los elementos calcio y flúor, con fórmula fluoruro de calcio ( $\text{CaF}_2$ ). Su estructura interna corresponde al sistema de cristalización cúbico y se presenta en hábito cúbico, octaédrico y rombododecaédrico.

**Color y dureza:** se observa en una gran variedad de colores brillantes que varían desde incolora, violeta, azul, verde, amarillo, marrón, rosa, negro a naranja rojizo. El color de la fluorita está determinado por factores que incluyen impurezas y exposición a la radiación. Posee una dureza de 4 y puede ser rayada con un instrumento de acero; la raya resultante es de color blanco. Es frágil y presenta exfoliación perfecta.

**Transparencia y brillo:** dependiendo del estado de pureza de la muestra, la fluorita puede ser transparente u opaca. Tiene brillo vítreo.

**Termoluminiscencia y fluorescencia:** este mineral se caracteriza por tener la capacidad de emitir energía lumínica a partir de un estímulo térmico –aplicación de calor– y fluorescencia bajo la luz ultravioleta, lo cual le permite absorber los rayos ultravioleta, invisibles al ojo, y devolver energía lumínica visible. Debido a estas propiedades, la fluorita refractará diversos colores con los cuales se la conoce comúnmente.

**Origen y presencia en rocas:** se forma generalmente como un relleno hidrotermal, especialmente si está en contacto con rocas carbonatadas. También aparece asociada a rocas ígneas que cristalizan en profundidad; en estos casos junto a otros minerales como la turmalina y el topacio.

**Yacimientos en Córdoba:** se encuentra en distritos como Cerros Negros, Cabalango, San Bartolomé y Laguna Brava.

**Usos comerciales:** se usa principalmente en la producción de ácido fluorhídrico, como fundente en la fabricación de acero y producción de aluminio. También, es utilizada en piezas de joyería.

**¿Dónde encontrarla?:** cristales de fluorita bandeada multicolor se exhiben en el Museo de Mineralogía y Geología “Dr. A. Stelzner” de la FCEFyN, UNC y en el Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Arturo Umberto Illia” en Córdoba Capital.

## FICHA PALEONTOLÓGICA

### MAMÍFERO: tigre dientes de sable



**Nombre científico:** *Smilodon populator*

**Tamaño:** este gran felino medía 1,15 m de altura y 2,6 m de largo, su peso era de 400 kg aproximadamente, convirtiéndolo en el felino más grande de Sudamérica y uno de los más grandes que han existido en todo el mundo.

**Características particulares:** *Smilodon populator* se caracterizó por su cuerpo robusto y gran desarrollo muscular en sus patas, sobre todo, las delanteras. Dado su gran porte no podía correr a altas velocidades por largas distancias. Los caninos superiores, largos y afilados, alcanzaban hasta 30 cm de longitud y sobresalían unos 17 cm de la mandíbula. A diferencia de los caninos cónicos de los felinos actuales, los de *Smilodon* eran recurvados y de sección oval (más largos que anchos). Estos dientes eran relativamente frágiles, y podían romperse por el impacto con un hueso o el forcejeo con la presa.

**Período:** apareció hace un millón de años en Sudamérica y se extinguió alrededor del límite Pleistoceno-Holoceno (hace cerca de 10.000 años).

**Distribución geográfica:** Sudamérica, a lo largo de Argentina, Uruguay, Bolivia, Brasil, Perú y Venezuela.

**Hábitat y modo de vida:** habitaba las praderas y sabanas de Sudamérica. Se cree que cazaba en grupos herbívoros de tamaño dos o tres veces más grandes que ellos. El mecanismo de caza habría sido emboscar e inmovilizar a la víctima escogida con los potentes músculos de sus patas y luego cortar la garganta con sus largos dientes. Se han encontrado fósiles de varios individuos diferentes muy cerca unos de otros y, de restos de animales herbívoros, lo que constituye un claro indicio de la conducta social de esta especie.

**Observaciones:** la extinción del “tigre dientes de sable” podría haber estado relacionada a la desaparición de las grandes presas. Al ser incapaz de adaptarse para atrapar presas más pequeñas y rápidas, debido a su constitución pesada, se extinguió por falta de alimento.

**Lugares de repositorio:** Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”, Buenos Aires (MACN), Museo de La Plata, Buenos Aires (MLP), Museo Regional Florentino Ameghino de Río Tercero, Córdoba.

**Fuente de la foto:** <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/saber-toothed-smilodon-3d-model-1292400>

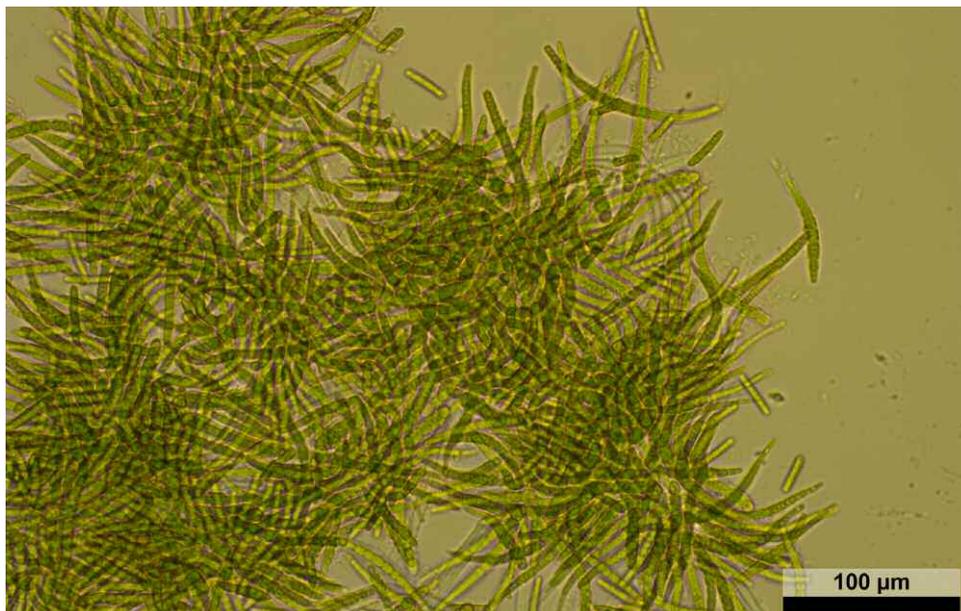
# Jóvenes científicos

**Eliana M. Soto Rueda** es Licenciada en Química, Magister en Química, egresada la Universidad del Quindío (Colombia). En la actualidad es estudiante de Doctorado en Ciencias Biológicas en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en la Universidad Nacional de Córdoba, con una beca doctoral de CONICET.



## Microorganismos extremófilos: potenciales héroes contra el Arsénico

Su investigación, dirigida por la Dra. Laura Borgnino y la Dra. Cecilia Mlewski, se basa en el estudio de la potencialidad de los microorganismos extremófilos presentes en la Laguna Negra (Catamarca) para la bio-remoción del Arsénico. A través de estudios experimentales de laboratorio busca reproducir las condiciones ambientales similares a las de sitios contaminados, para luego evaluar la capacidad de acción de estos microorganismos.



### ¿Qué son los microorganismos extremófilos y por qué son importantes para tu investigación?

Los microorganismos extremófilos son aquellos organismos microscópicos adaptados a vivir en sitios cuyas condiciones parecen imposibles, por ejemplo, condiciones extremas de temperatura, acidez, presión, salinidad, radiación y sus combinaciones. En particular, en mi investigación es muy importante el estudio de sus procesos metabólicos para entender su capacidad de cambiar el ambiente circundante. Concretamente, estos microorganismos pueden inducir la precipitación (o formación) de carbonatos de calcio, lo cual resulta una herramienta muy interesante para evaluar su potencialidad en usos ambientales. Por ejemplo, a partir de esta propiedad, sería posible remover el arsénico de sitios contaminados, dado que el carbonato de calcio tiene la particularidad de "capturarlo". Este proceso se denomina bio-remoción, dado que el arsénico se eliminaría del ambiente utilizando un factor biológico, en este caso, los organismos extremófilos.

### ¿Cómo llega el arsénico a contaminar ciertos ambientes? ¿Por qué es importante removerlo?

La contaminación de ciertos ambientes por la presencia del arsénico puede tener un origen natural. Un ejemplo de esto se da en la región chaco-pampeana y en la Puna, donde se atribuyen los altos niveles de arsénico a la presencia de ciertos minerales que contienen este elemento. Otra forma por la que

puede llegar el arsénico al medio ambiente es por el impacto de las actividades humanas, entre estas la minería, procesos agroindustriales y otros.

### ¿En qué casos de contaminación podrían aplicarse los resultados de tu investigación?

Es cierto que todavía me falta mucho por estudiar acerca del potencial de estos microorganismos extremófilos, sin embargo, se puede decir que a futuro este estudio podría ser aplicado para el tratamiento de aguas naturales (subterráneas o superficiales) contaminadas con altas concentraciones de arsénico.

Algunos compuestos de arsénico son altamente tóxicos, por esta razón la OMS (Organización Mundial de la Salud) hace énfasis en la importancia de remover el arsénico del agua potable, y recomienda que el agua para consumo humano tenga una concentración máxima de 0,01 miligramos por litro de arsénico (que es una concentración muy baja). Todos tenemos clara la gran importancia del agua para poder llevar una vida digna. Y es que el agua es indispensable: lo es para producir los alimentos que comemos, para garantizarnos una higiene básica y para el consumo humano directo. Por este motivo la búsqueda de métodos efectivos para la remoción del arsénico es tan importante.

### ¿Qué tiene de particular la Laguna Negra?

La Laguna Negra posee ciertas características geológicas, geoquímicas y microbianas que hacen de éste un



lugar muy interesante para estudiar. Es un lago muy salino (mayor salinidad que la del mar) que se encuentra en la Puna argentina (Catamarca) donde las condiciones son extremas, por ejemplo: incidencia de vientos fuertes, alta radiación UV y altura de 4500 metros sobre el nivel del mar. Además, esta laguna tiene algo muy especial: un cinturón de estromatolitos, es decir, estructuras de carbonato de calcio construidas gracias a procesos biológicos (microorganismos). Estos estromatolitos nos pueden ayudar a entender el papel desempeñado por la actividad microbiana en los procesos de sedimentación y el rol que cumplen ciertos metabolismos microbianos en la formación de carbonatos.

### ¿Cómo surgió tu interés en estudiar esta temática?

Mi interés en temas ambientales surgió en el grupo de investigación de la Universidad del Quindío en Colombia donde realicé mi tesis de grado y de maestría. Tuve la oportunidad de ser integrante de un macro proyecto que buscaba asesorar a la industria del curtido de cuero en temas de impacto ambiental. En mi tesis de maestría estudié la capacidad de bacterias y levaduras obtenidas de aguas residuales de curtiembre para la reducción de cromo hexavalente (compuesto altamente tóxico). Desde ese momento me quedé gratamente sorprendida del potencial de los microorganismos

para atenuar o eliminar compuestos tóxicos del agua. En 2016, recibí el mail de un amigo sobre las convocatorias a becas doctorales del CONICET, allí vi la propuesta de trabajo con microorganismos extremófilos para la remoción de arsénico, y no dudé en postularme enseguida. Hoy en día estoy muy contenta haciendo el doctorado en la Universidad Nacional de Córdoba y trabajando en este tema.

### ¿Qué actividades diarias realizás dentro del marco de tu investigación?

Las actividades que realizo en el marco de mi investigación son muy variadas, algunas son netamente de laboratorio, pero otras están más enfocadas a la lectura y estudio de documentos científicos. Otras actividades que son muy importantes para mi formación doctoral es la realización de cursos de posgrado relacionados con mi tema.

Constantemente me reúno con mis directoras para revisar los avances de la investigación y proponer experiencias de laboratorio que me ayuden a responder las preguntas planteadas en mi plan de trabajo y las que van surgiendo.

Podría decir que gran parte de mis actividades diarias de investigación las llevo a cabo en el laboratorio, uso principalmente el Laboratorio de Geoquímica y el Laboratorio de Geomicrobiología experimental del CICTERRA.

Últimamente he participado en divulgación científica en escuelas de la provincia de Córdoba, donde compartimos relatos sobre los microorganismos y nuestra actividad como científicos. Para mí ha sido una experiencia muy enriquecedora, ver a los niños tan interesados en la ciencia y cómo participan en nuestras charlas, realmente nos motiva.

### ¿Qué actividades realizás en tus tiempos libres?

Me gusta compartir mi tiempo libre con mi familia y amigos. Soy fanática del ciclismo, es una de las actividades en las que me encanta invertir mi tiempo libre. En mi casa todos andan en bicicleta y las salidas de fin de semana eran imperdibles. Al venir a Argentina no traje mi bicicleta "la furia roja" así que regularmente salía a correr por los parques que quedan cerca de mi departamento. Ahora gracias a un gran amigo me decidí a comprar una bici y hemos empezado a salir a disfrutar de las sierras de Córdoba. También disfruto mucho salir a caminar y visitar la feria de artesanos del barrio Güemes y terminar con una buena cervecita.

### ¿Tenés planes para tu futuro en ciencia?

Mi plan más próximo es continuar trabajando en el CICTERRA durante los dos años y medio que me restan de la beca doctoral. Me visualizo a futuro como docente universitaria vinculada a la investigación.

# EL MAR PALEOZOICO DE LA REGIÓN CUYANA

Un paseo por el Caribe de la Precordillera Argentina

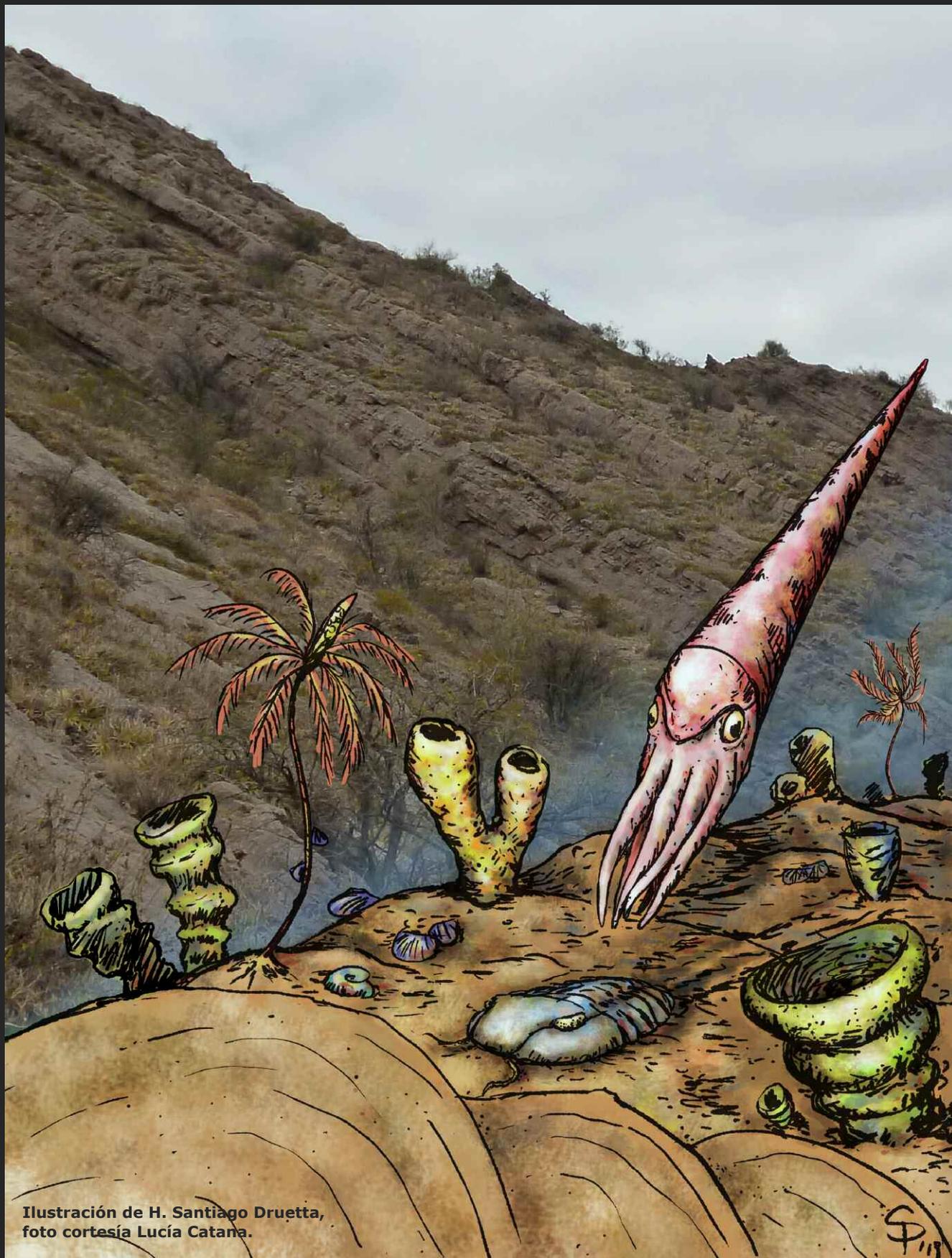


Ilustración de H. Santiago Druetta,  
foto cortesía Lucía Catana.

**La cambiante historia geológica de la actual región cuyana se remonta a principios del Paleozoico (alrededor de 500 millones de años). En esa etapa las rocas que hoy conforman la Precordillera Argentina se depositaban en un ambiente marino tropical muy parecido al Caribe actual, incluyendo arrecifes. Estos ambientes permiten reconstruir las comunidades marinas, su ecología, su evolución y los eventos que llevaron a su desaparición.**



**Marcelo G. Carrera**

Dr. en Ciencias Geológicas  
Investigador Principal del CONICET  
Docente de la FCEFyN, Universidad  
Nacional de Córdoba

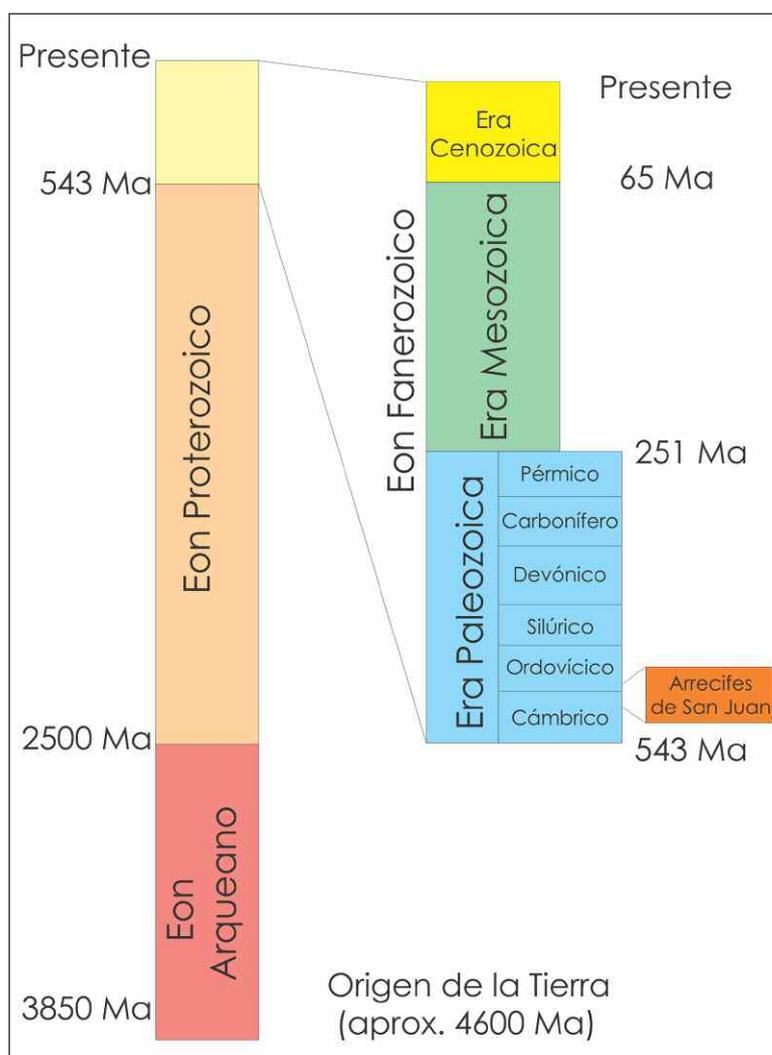
La historia geológica de la región cuyana también conocida como la provincia geológica de la Precordillera Argentina, que comprende gran parte de las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, nos revela aspectos sorprendentes que surgen de la exploración, estudio y la comprensión de su geología. Esta región, ahora más conocida por sus maravillosos paisajes montañosos semidesérticos y sus espectaculares viñedos, esconde una increíble variedad de eventos geológicos y biológicos ocurridos en distintas etapas de la rica historia de la región.

**Si tuviéramos la máquina del tiempo para viajar a esa etapa seguramente necesitaríamos un buque de exploración submarina ya que los sedimentos que se depositaban en ese momento son de origen marino**

Esta historia llega a nosotros gracias a que las rocas, que nos muestran el registro de estos eventos, se han conservado con relativa poca alteración hasta nuestros días. En palabras simples, no han sufrido sucesos que las hayan destruido (erosionado totalmente) o modificado en tal medida que su contenido y registro se haya alterado significativamente.

Es probable que la región sea más conocida por los famosos yacimientos paleontológicos Mesozoicos (Triásicos) con dinosaurios como Ischigualasto y Talampaya, pero si nos remontamos a una etapa anterior en el Paleozoico (Figura 1) veríamos un paisaje completamente diferente. Si

tuviéramos la máquina del tiempo para viajar a esa etapa seguramente necesitaríamos un buque de exploración submarina ya que los sedimentos que se depositaban en ese momento son de origen marino.



**Figura 1.** Escala cronológica global, incluyendo la ubicación temporal de los arrecifes en la Formación San Juan.

## El mar cálido de la Precordillera

El mar Paleozoico bañaba todo el borde occidental del antiguo continente de Gondwana, que incluía a Sudamérica (ver cuadro El Paleozoico Inferior de la región cuyana y Figura 2). Sus aguas ocupaban también parte de las actuales provincias de Catamarca, Salta y Jujuy en el noroeste argentino. Esta parte del continente estaba ubicada en una posición de media a alta latitud, próxima al polo sur (hay evidencias de glaciaciones en distintas etapas del Paleozoico). Contrariamente, las rocas de la Precordillera para el Paleozoico Inferior (Cámbrico y Ordovícico temprano, Figura 1), compuestas principalmente por calizas, muestran haber sido depositadas en ambientes de clima cálido. Los sedimentos depositados en los actuales mares tropicales como los del Caribe, el Mar Rojo o las costas tropicales de Australia, son principalmente el producto del depósito de carbonato de calcio que con el tiempo se transformará en roca caliza.

Esta característica tan particular de la Precordillera en el Paleozoico Inferior llevó a muchos investigadores a sospechar

**Esta característica tan particular de la Precordillera en el Paleozoico Inferior llevó a muchos investigadores a sospechar que esta región provenía de un lugar diferente al sitio en el que actualmente se emplaza**

que esta región provenía de un lugar diferente al sitio en el que actualmente se emplaza, es decir que no formaba parte del antiguo margen de Sudamérica (más información en cuadro El Paleozoico Inferior de la región cuyana).

## Los arrecifes de San Juan

La sedimentación de las calizas tropicales está íntimamente asociada a la presencia de la vida marina. La influencia de los organismos es clave en la formación de estas rocas, no sólo con el aporte de partículas sedimentarias de sus exoesqueletos luego de la muerte de los organismos, sino también como efecto de sedimentación bioquímica a través de su fisiología (vida y actividad de los organismos) generando condiciones propicias para la precipitación del carbonato de calcio desde el agua de mar.

De esta forma bacterias, algas, esponjas, corales, moluscos, crustáceos y equinodermos (como las estrellas o erizos de mar), entre los más importantes, tienen una participación directa en la sedimentación del carbonato y obviamente son los organismos más comunes en ambientes marinos tropicales, ver Figura 3 y cuadro arrecifes actuales. Estos depósitos sedimentarios han sido muy estudiados por geólogos ya que normalmente representan la principal fuente de materia orgánica en el registro geológico y la potencial “roca generadora” o “roca madre” de los yacimientos petroleros.

En la Precordillera existen varias formaciones rocosas de naturaleza calcárea. Entre ellas se destacan las calizas de la Formación San Juan del Ordovícico temprano que contiene abundantes fósiles marinos, que incluyen a la mayoría de los grupos mencionados anteriormente. El estudio de las rocas de la Formación San Juan permite identificar diversos ambientes de sedimentación marina reconocidos por sus características sedimentológicas y los fósiles que las contienen. Podemos detectar si estas calizas se han depositado en ambientes muy someros (próximos a la



**Figura 2.** Reconstrucción paleogeográfica para el Ordovícico Inferior. Nótese la ubicación de la Precordillera con respecto a Sudamérica y Norteamérica. Realizado con GPlates 1.5 utilizando PALEOMAP PaleoAtlas de Scotese 2016.

## El Paleozoico Inferior de la región cuyana

El Paleozoico representa un intervalo de tiempo enorme (que va desde los 543 a los 252 millones de años, aproximadamente) y por suerte lo tenemos bastante bien representado en los estratos rocosos de la Precordillera. Como cuestión básica cabe recordar que la Tierra es muy dinámica y que a paso muy lento nos muestra cambios trascendentes. Para esta parte del continente sin duda que el cambio más relevante es el levantamiento de la Cordillera de los Andes que recién comienza a ser evidente a finales del Mesozoico. Es decir que en el Paleozoico hacia el actual oeste de nuestro país no había sistemas montañosos y, por lo tanto, apenas pasáramos de una línea imaginaria al oeste de los límites actuales de las provincias de Córdoba o San Luis, estaríamos llegando a las costas de un inmenso mar que durante el Paleozoico fue cambiando y que recibe distintos nombres: Iapetus primero, Panthalassa después, hasta llegar al Océano Pacífico actual. (Ver también Cicterránea N° 1: La Tierra cambiante. Un viaje hacia el tiempo profundo).

La región de Cuyo no estaba adosada a Sudamérica (Gondwana) para este momento, ya que los territorios próximos en el Noroeste argentino presentan rocas, también de origen marino, pero totalmente diferentes y consideradas de clima frío. Luego de muchas discusiones en general se acepta esta separación y la mayoría concuerda con su proveniencia desde el sureste del continente de Laurentia (actual Norteamérica). El “viaje” de la Precordillera desde los mares cálidos de Laurentia hasta los fríos de Gondwana se produjo durante el Período Ordovícico como consecuencia de la tectónica de placas (Figura 2). Al final de este periodo se produjo posiblemente el final de ese viaje y la Precordillera pasó a formar parte de la Sudamérica. Una evidencia de esto es el registro de una glaciación importante, con un casquete polar en Gondwana, que también afectó a la Precordillera. Sus rocas para fines del Ordovícico ya muestran las características de estas glaciaciones y sus fósiles son los mismos que encontramos en el resto de los mares fríos de Gondwana.

costa) o más profundos. Entre estos distintos ambientes de sedimentación generales se han reconocido intervalos puntuales, que se caracterizan por una concentración excepcional de organismos que han facilitado la acumulación de sedimento carbonático y producen un mayor realce. Estas acumulaciones particulares, coinciden con lo que podríamos llamar “arrecife” o estructura arrecifal, en este caso fósil.

En la Precordillera existen distintas estructuras de este tipo, desde montículos arrecifales -pequeños domos dominados por comunidades microbianas (bacterias y algas microscópicas)-, comunes en los fangos calcáreos, hasta arrecifes dominados por esponjas, como los de la Formación San Juan.

Las primeras formas tipo montículos de fango (compuestas por microbios y algas) tienen en realidad una historia mucho más prolongada. Podría decirse que son las estructuras biológicas y evidencias de vida más antiguas, estas formas comúnmente con forma de domo y con laminación bandeada se conocen con el nombre de estromatolitos y los primeros, que tienen una antigüedad de 3.500 millones de años, corresponden al Precámbrico (Figura 4).

Si aplicamos el concepto de estructura arrecifal a estas construcciones orgánicas, podríamos decir que lo primero que formaron los primeros organismos al “aglutinarse” fueron arrecifes (en el sentido amplio). Estas comunidades microbianas fueron dominantes durante casi todo el Precámbrico. Esta inmensa etapa temporal solo tuvo este tipo de estructuras arrecifales en las áreas cálidas y someras del planeta.

**Figura 3.** Arrecife actual de la gran barrera australiana con la dominancia de colonias coralinas y gran variedad de peces. Foto cortesía de: Romain Vaucher.



## Arrecifes actuales

En la actualidad, la imagen que tenemos de un arrecife es básicamente una construcción orgánica principalmente desarrollada por corales y algunos organismos constructores accesorios como algas calcáreas y en menor medida esponjas, con una increíble diversidad de biota que vive en este “refugio” natural (Figura 3). Pero en el pasado, el tipo de organismo constructor ha cambiado mucho a través del tiempo y podríamos decir que el rol de constructor es parecido (formar una estructura orgánica a partir de sus exoesqueletos, con un relieve positivo sobre el fondo marino), pero los actores han cambiado repetidamente en la historia del planeta. También dependiendo del constructor, varía el tamaño de los arrecifes; así las grandes colonias de los corales actuales pueden desarrollar arrecifes de gran porte, que si se alinean en el borde de la plataforma marina desarrollan las importantes barreras arrecifales como la Gran Barrera Australiana (una de las pocas construcciones biológicas que pueden verse desde el espacio).

Con la aparición de los primeros metazoos (los organismos pluricelulares) y sobre todo los primeros organismos con exoesqueleto calcáreo, a principios del Cámbrico. Durante este período se dieron las condiciones para el desarrollo de otro tipo de estructuras orgánicas, y en todas las áreas tropicales se desarrollaron arrecifes dominados por esponjas.

En la Precordillera encontramos arrecifes y ambientes cálidos tropicales desde el Cámbrico hasta el Ordovícico medio. Los más notables se encuentran en el Ordovícico temprano de San Juan. El ambiente de sedimentación para ese momento se asemeja bastante a lo que podemos ver en el actual caribe. Obviamente que los roles de principales constructores que

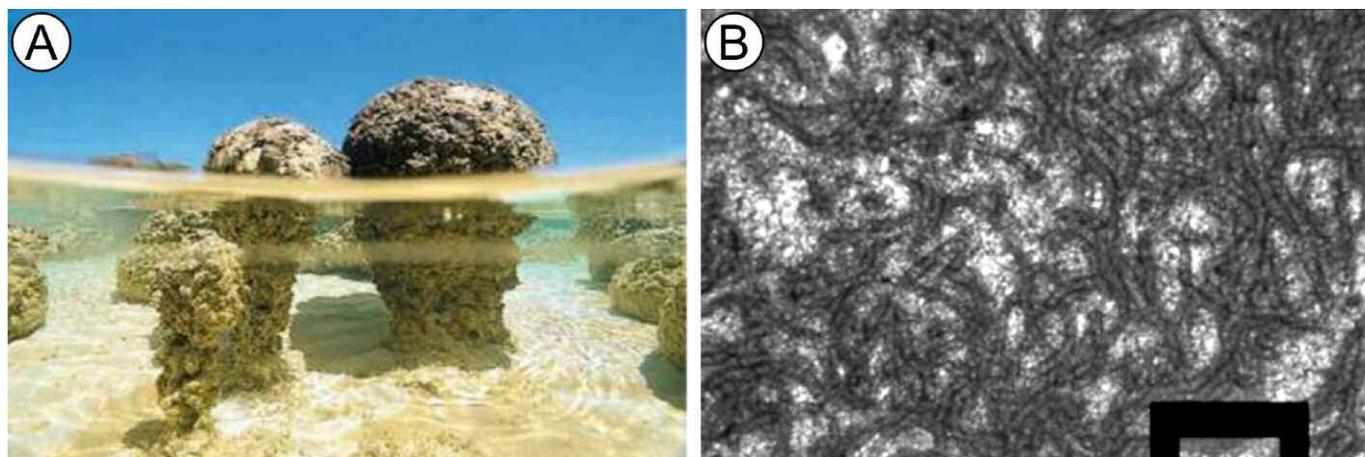
cumplen los corales y algas calcáreas actuales, son suplidos por las esponjas y las comunidades microbianas.

## ¿Quiénes eran y cómo vivían los principales integrantes de los arrecifes ordovícicos?

Estamos acostumbrados a ver en los documentales sobre la actual vida marina, que las zonas arrecifales están llenas de peces de muchísimas variedades viviendo entre grandes colonias de corales conformando a veces paredes, domos o torres en la construcción del arrecife. Seguramente que este no era el caso de los arrecifes de la Precordillera, suponemos que por la conformación que tienen deben haber sido un poco más modestos, con formas de domos coalescentes de dos a tres metros de alto sobre el sustrato marino. También los organismos que vivían asociados a estas estructuras eran diferentes. Solo para empezar, los peces se encontraban en una etapa basal de su historia evolutiva y por lo tanto muy poco abundantes.

Si pudiéramos trazar paralelismos entre los habitantes de los arrecifes actuales y los de San Juan (de aproximadamente 470 a 485 millones de años atrás), encontraríamos diferencias importantes, pero es posible que si bien los actores no sean los

**Se han reconocido intervalos puntuales, que se caracterizan por una concentración excepcional de organismos que han facilitado la acumulación de sedimento carbonático y producen un mayor realce. Estas acumulaciones particulares, coinciden con lo que podríamos llamar “arrecife” o estructura arrecifal, en este caso fósil**



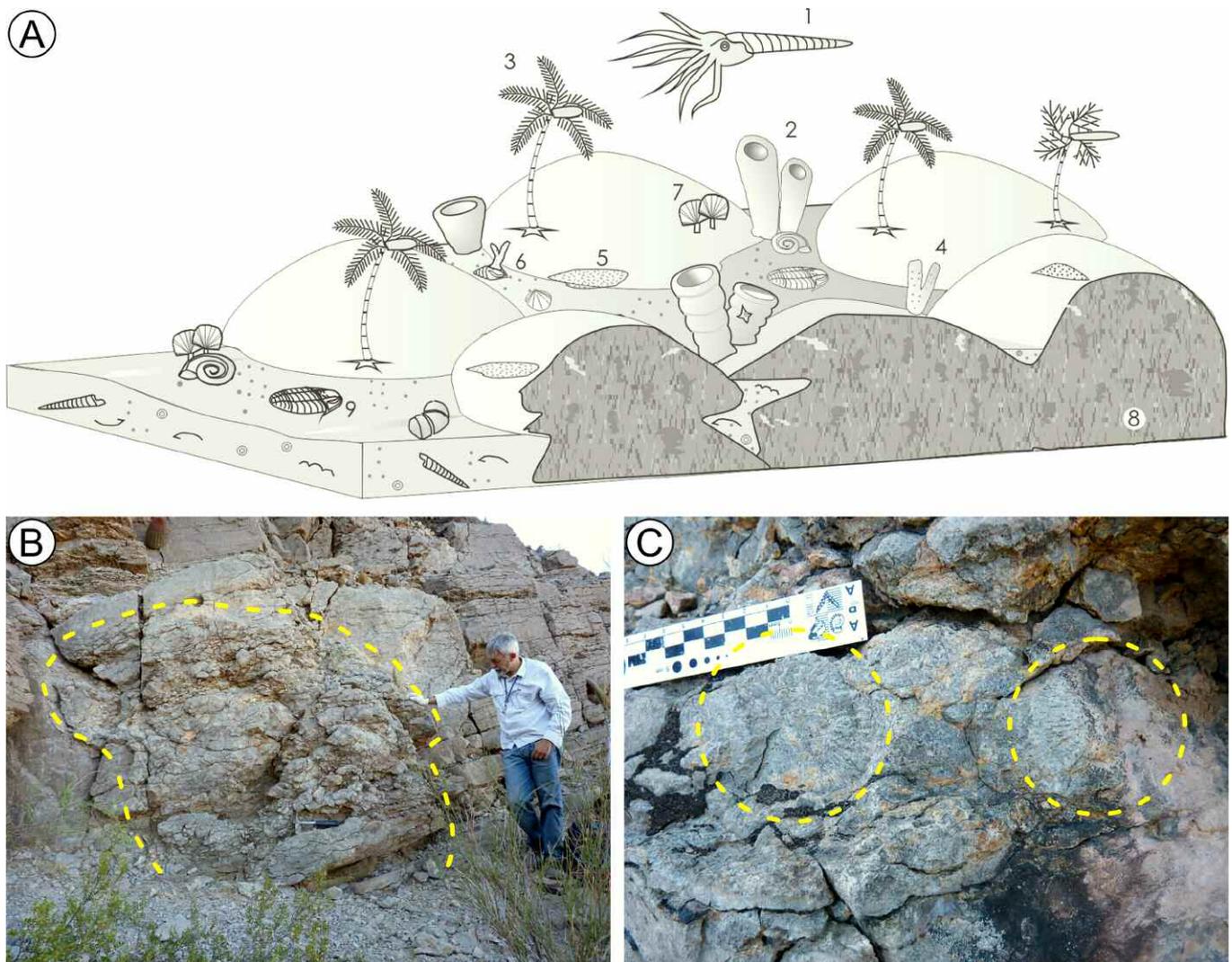
**Figura 4.** Fotos: A. Estromatolitos (actual) en la bahía del Tiburón (Shark bay, Australia, fuente: <http://geologie.vsb.cz/>). B. corte delgado mostrando cianobacterias filamentosas (calcimicrobios) comunes en estas estructuras laminadas (escala: 1 mm).

mismos sus roles en la comunidad hayan sido relativamente similares. Como se mencionó antes no veríamos la inmensa variedad de peces, y podríamos decir que en general los organismos estaban más asociados al fondo marino que a habitar por encima de éste.

Los peces en esta etapa eran acorazados con placas óseas cubriendo su cuerpo y en general de pequeño tamaño (20 a 30 cm). Tenían principalmente una dieta herbívora y recorrían el fondo marino con movimientos lentos (no eran buenos nadadores), sobre todo porque sus placas óseas que los protegían de los depredadores, los hacían más pesados. Había dos grupos que sí nadaban con mayor velocidad y que eran los depreda-

## En la Precordillera encontramos arrecifes y ambientes cálidos tropicales desde el Cámbrico hasta el Ordovícico medio. Los más notables se encuentran en el Ordovícico temprano de San Juan

dores de la época: en primer término, los nautiloideos (Figura 5), que son cefalópodos parecidos a calamares, parientes lejanos del actual *Nautilus* y de los famosos amonites del Mesozoico. Poseían un exoesqueleto cónico (recto o curvado) cubriendo su cuerpo del que sobresalían la cabeza y los tentá-



**Figura 5.** A. Reconstrucción esquemática de la comunidad arrecifal: 1. Nautiloideo 2. Esponjas 3. Crinoideos 4. Alga calcárea 5. Alga incrustante 6. Briozoo sobre un Gastrópodo 7. Braquiópodos 8. Comunidades microbianas (bacterias y algas). 9. Trilobite. B. Afloramiento de las calizas de la Formación San Juan mostrando un estructura de tipo arrecifal "domo irregular" (enmarcada en la línea de guiones amarilla) entre estratificación tabular por debajo y hacia los laterales. C. Detalle de la estructura arrecifal mostrando dos esponjas tubulares vistas en corte transversal (círculos amarillos), obsérvese la estructura radial de sus canales y red esquelética. Fotos cortesía: Diego Muñoz.

culos. Eran los principales predadores y llegaron a medir desde pocos centímetros hasta varios metros de largo. El otro grupo de predadores en el Ordovícico eran los Euriptéridos, conocidos como los “escorpiones de mar”, con largas patas, las delanteras terminadas en pinzas para capturar a sus presas. Aunque parecen escorpiones corresponden a otro grupo de artrópodos. En el Ordovícico no fueron tan abundantes y no sobrepasaron el metro de longitud. Pero en el Silúrico y Devónico llegaron a medir hasta 3 metros (ver Cicterránea N° 2: La revolución marina del Paleozoico medio. El gran impacto de los continentes sobre la vida en el mar).

Entre los moradores más comunes del arrecife se encontraban aquellos que vivían fijos al fondo marino (como las esponjas, Figura 5) o los que vagaban por él. Entre los primeros se encontraban los equinodermos, pero a diferencia de la abundancia de estrellas o erizos de mar de los arrecifes actuales, los equinodermos del Ordovícico estaban dominados por los crinoideos o “lirios de mar” (Figura 5) que, aunque parecían plantas son animales que comen plancton.

Entre los moluscos que habitan el arrecife, los gasterópodos (caracoles) ya estaban presentes al igual que ahora. Obviamente las especies, géneros o familias no son las mismas pero el rol es bastante parecido; algunos estudios indican que los del Paleozoico habrían sido herbívoros, mientras que los actuales son principalmente carnívoros. Los bivalvos (almejas, mejillones), tan abundantes en la actualidad, son escasos en el Paleozoico y su rol era ocupado por los braquiópodos (Figura 5), un grupo que si bien tiene dos valvas no está emparentado con los bivalvos. Ambos grupos en el Paleozoico son suspensívoros, es decir que se alimentan de plancton filtrando el agua.

Los crustáceos (cangrejos, langostinos, entre otros), abundantes en los arrecifes actuales, no eran comunes en las comunidades del Paleozoico, y su rol en las comunidades arrecifales del Ordovícico podría ser ocupado por otros artrópodos con caparazón, los famosos “trilobites” (Figura 5). La riqueza de este grupo en el Paleozoico temprano es muy importante y eran sin duda los artrópodos dominantes en las comunidades. Si bien alcanzaron grandes tamaños, entre las formas que habitaban estos arrecifes se registran pequeñas tallas, en general con hábitos herbívoros, filtrando el agua o buscando alimento entre los detritos del fondo.

Como vemos ya desde el Paleozoico temprano tenemos un reparto de roles y organización ecológica bastante compleja. No obstante, estos grupos tenían estrategias ecológicas más simples y una menor utilización del ecoespacio con respecto a las comunidades actuales e incluso con las siguientes en el Mesozoico.

Podemos, por ejemplo, ver una menor movilidad en esta comunidad arrecifal del Ordovícico con un escaso desarrollo de los peces.

Los corales actuales crecen y ocupan el sustrato marino mucho más rápido y seguramente saldrían victoriosos en una hipotética “batalla” contra cualquier constructor arrecifal del Paleozoico. En general toda la comunidad actual saldría ganadora en esta contienda ecológica. Esto es porque los organismos no evolucionan aislados, van ocupando nichos o espacios ecológicos y con el tiempo ganando o perdiendo pequeñas batallas contra sus oponentes circunstanciales, que ocupan su mismo rol. Además, deben interactuar con sus potenciales depredadores y modificar sus estrategias de defensa.

## Cambios climáticos y arrecifes

Durante el paleozoico los principales constructores arrecifales son las esponjas, en sus distintas variedades, esponjas calcificadas o con red esquelética silíceo (como las de la Formación San Juan). Dependiendo de las distintas condiciones ambientales que se dan a largo plazo (millones de años) van dominando unas u otras. Los corales paleozoicos no han adquirido todavía las características de los actuales y aunque se los encuentra también asociados a los arrecifes son siempre accesorios o poco representados.

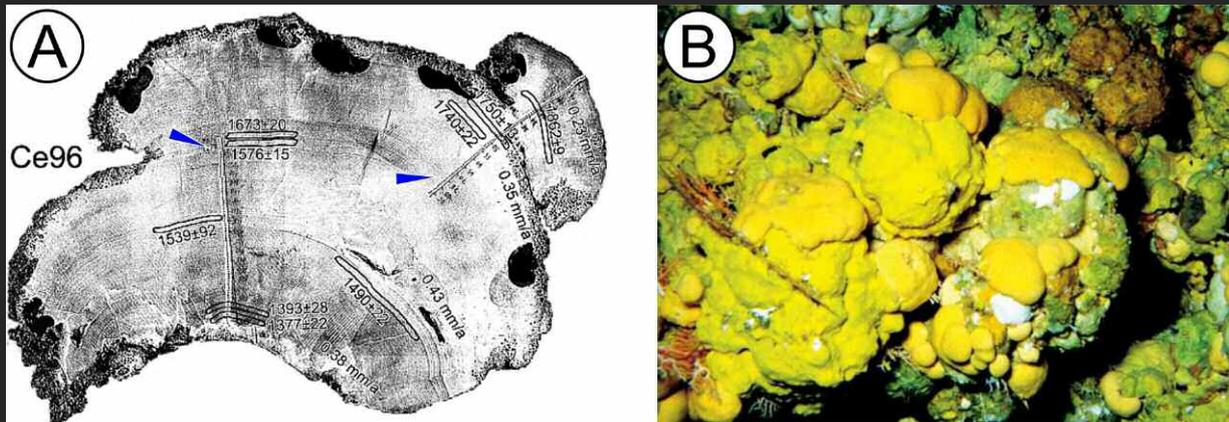
El gran cambio que se da, por ejemplo, al finalizar el Paleozoico y los comienzos del Mesozoico fue donde el planeta atravesó la mayor extinción masiva conocida. Aquí las esponjas dejaron su lugar, como los constructores principales de arrecifes, a los actuales corales escleractinios (conocidos también como corales pétreos o duros). Estos adquieren las características capaces de formar grandes arrecifes; como la de formar colonias compactas en todos los grupos, con mayor producción de carbonato de calcio y así desarrollar colonias superiores en tamaño.

Los arrecifes han demostrado ser claves para reconocer los

**Los arrecifes han demostrado ser claves para reconocer los cambios climáticos ocurridos en el planeta a todas las escalas temporales. Las condiciones particulares en las que se desarrollan (temperatura, salinidad, cantidad de luz solar) los hacen un “marcador” ambiental ideal**

## Corales y esponjas: registro de las condiciones climáticas

El crecimiento de una colonia de un coral o de una esponja calcificada se produce en bandas o láminas que se forman a intervalos de tiempo bastante regulares. La calcificación del exoesqueleto del coral o la esponja se produce por la toma del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) directamente del agua de mar para formar el carbonato de calcio de cada una de las bandas o láminas del exoesqueleto. Por lo que cada una de estas láminas contiene los elementos químicos extraídos del agua de mar para ese momento temporal, es decir que en cada una de estas láminas se encuentran encerradas las características químicas del mar en el momento de su formación. Estos elementos químicos como los isótopos de oxígeno, carbono o estroncio que se encuentran en el carbonato de calcio varían con las condiciones ambientales, principalmente con la temperatura, en las que se encontraba el agua de mar al momento de su formación. De esta forma el análisis de sus concentraciones y proporciones en cada etapa nos muestra las variaciones de estas características a través del tiempo, en el caso de estos organismos constructores se puede registrar la curva de temperatura del mar de los últimos miles de años.



A. corte de un ejemplar de esponja calcificada actual con el muestreo lineal de cada lámina de crecimiento. (Modificado de Haase-Schramm *et al.* (2003) *Paleoceanography*, VOL. 18, (3)). B. Esponja calcificada en su hábitat natural.

cambios climáticos ocurridos en el planeta a todas las escalas temporales. Las condiciones particulares en las que se desarrollan (temperatura, salinidad, cantidad de luz solar) los hacen un “marcador” ambiental ideal y como ejemplo su actual deterioro es evaluado por el efecto de distintos factores entre ellos el aumento del dióxido de carbono.

A escalas de cientos a decenas de años se pueden analizar estos cambios dentro del mismo arrecife, es decir establecer y analizar todas las etapas de desarrollo de la estructura e intentar verificar las condiciones climáticas y los cambios biológicos ocurridos. Esto es posible gracias a que los componentes principales como los organismos constructores corales, esponjas o algas calcáreas son organismos longevos, es decir al igual que los árboles milenarios, cada individuo o la colonia pueden vivir cientos a miles de años (se han reconocido colonias de corales y esponjas calcificadas de 11.000 años considerados como los individuos más longevos del planeta). Podemos a través de ellos observar

las variaciones climáticas que han ocurrido en todo el lapso de vida del organismo (ver cuadro Corales y esponjas: registro de las condiciones).

Al ser estructuras relativamente jóvenes (no fósiles aún), sus características no han sido alteradas por la compactación, recristalización y demás procesos de diagénesis (transformación del sedimento en roca) y fosilización. Por esto es posible analizar con mucho detalle las distintas etapas en la construcción arrecifal tanto en sus aspectos biológicos como geológicos, y poder estudiarlos como un registro de las variaciones climáticas de los últimos miles de años.

Conocer nuestro pasado geológico y a través de éste la historia de la vida en el planeta nos permite realizar inferencias e intentar predecir sobre el futuro de los ciclos geológicos y de la vida a diferentes escalas y principalmente intentar en lo posible mitigar las consecuencias de estos ciclos o las que nuestras actividades producen sobre los sistemas naturales.

### G Glosario

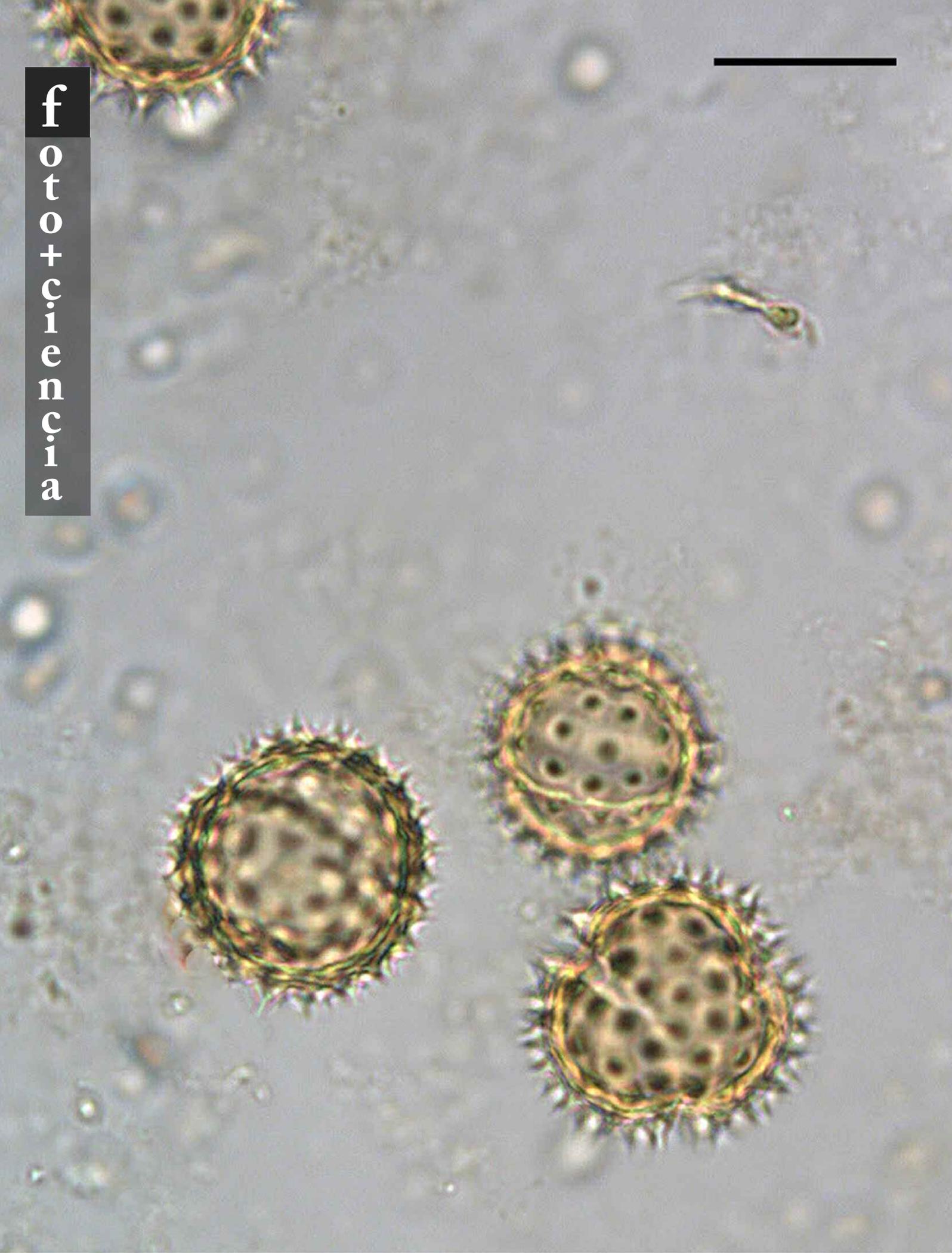
**Exoesqueleto:** Esqueleto externo de algunos organismos marinos normalmente compuesto de carbonato de calcio o sílice.

**Sedimentación bioquímica:** Procesos de sedimentación con la participación de precipitados químicos

**Algas calcáreas:** Algas con exoesqueleto de carbonato de calcio

**Fangos calcáreos/montículos de fango:** fangos (sedimentos de grano fino (limos-arcillas) con la participación proporcionalmente importante de carbonato de calcio.

**Ecoespacio:** Espacio teórico ideal en el que se desarrolla una especie o grupos de especies.



# Reciclando desperdicios y viviendo en un ambiente saludable y limpio

Por Ricardo A. Astini

¿Sabías que haciendo una compostera domiciliaria podés reducir el volumen de desperdicios, mejorar y abonar tus plantas o tu quinta de vegetales y frutas, disfrutando de tareas al aire libre junto a la familia?

El compost es una mezcla heterogénea de materia orgánica en descomposición que tiene una apariencia similar a la tierra, pero que mejora la estructura del suelo y proporciona nutrientes para las plantas. Puede estar listo para usar entre 3 meses y un año.

Una compostera puede ser un hueco en el suelo o un recipiente en el jardín donde arrojás y acumulás la basura orgánica. Esto dependerá de cuánta producción de residuos tenés, de qué espacio disponés, y de cuánto compost necesitás. Asegurate de taparlo para que no ingresen moscas ni mosquitos y que la iluminación y aireación sean reducidos.

¿Qué residuos pueden ir a la compostera?

En general, restos de vegetales, frutas y residuos de poda (previamente molidos para facilitar su desintegración); además podés agregar en menor cantidad lácteos y harinas. No deben incorporarse residuos patógenos, heces, cenizas o raíces de plantas invasivas. También puede agregarse papel corrugado u orgánico y aserrín.

El procesamiento de los residuos lo generan diversos organismos entre los cuales las lombrices son los más eficientes. También hay una variedad de insectos y numerosos roedores que ayudan a procesar y madurar ciertos materiales y componentes del compost. Mientras más aireada, más rápida es la descomposición. Con cierta frecuencia, resulta útil espolvorear tierra (la del propio pozo elaborado) para tapar y relajar la actividad superficial. Así, al cabo de unos meses contarás con “tierra sagrada”, fuente de fertilizantes naturales para potenciar la capacidad de crecimiento de semillas y plantas de tu hogar.

Hacer compostaje permite una mejor gestión del residuo domiciliario, elimina malos olores, jugos indeseados y actividad de canes y carroñeros en tachos de basura. Tiene además, la enorme ventaja de disponer de un fertilizante hogareño y sin costos, que evita la necesidad de adicionar productos químicos a los cultivos.

¡Todos podemos contribuir a generar menos basura! Reciclar y tener nuestras propias huertas orgánicas privilegian la salud y la sustentabilidad.



Foto: <https://casaydiseno.com/mantenimiento-de-jardines-fotos.html>

# LABORATORIO DE PALEOBIOLOGÍA Y GEOMICROBIOLOGÍA EXPERIMENTAL - LaPGE

Las investigaciones contempladas en este espacio se focalizan en estudios en paleobiología y geomicrobiología considerando al actualismo como base de interpretación de los fenómenos y procesos condicionantes y modificadores de la biota en el pasado. Este laboratorio, fundado en mayo de 2016, se encuentra dividido en tres espacios de trabajo. El primero de ellos corresponde a la zona común donde se alojan freezers y heladeras, funcionando como una zona de repositorio transicional de las muestras que se utilizan en los otros dos espacios. En el segundo espacio se desarrollan temas de paleobiología y en el tercero se llevan a cabo estudios relacionados con geomicrobiología. Este espacio de investigación tiene como encargados a los Dres. Fernando Gómez y Federico J. Degrange, quienes son investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

**¿Quiénes utilizan este laboratorio? El LaPGE es frecuentemente utilizado por investigadores del CICTERRA y estudiantes del doctorado de Geología y Biología para la realización de diferentes experiencias de laboratorio relacionadas con sus tesis o investigaciones en curso.**

En el LaPGE hay dos grupos de investigación, uno de estos es el de Paleobiología, que tiene por objetivo la reconstrucción del hábito o estilo

de vida de los organismos que no tienen representantes vivientes. Para ello, los estudios se focalizan en establecer la relación entre la forma y la potencial función que se podría desarrollar con dicha forma. Al respecto, se menciona que en la naturaleza son raros los casos en los cuales se preservan o detectan los tejidos blandos en los fósiles. Por esta razón, es importante contar con herramientas que permitan inferir la presencia o ausencia de una estructura blanda de interés. La reconstrucción de tejidos blandos en formas extintas requiere de la integración de datos tanto paleontológicos (los que

proviene del estudio de los fósiles) como neontológicos (que provienen de estudiar las formas vivientes). En vertebrados también se busca el llamado correlato óseo, esto es, la marca que dejan algunos músculos sobre los huesos. A partir del correlato óseo preservado en el fósil y en contraste con su par actual, es posible predecir la función que ejercería ese músculo en el animal extinto. Actualmente, uno de los focos principales es la reconstrucción de tejidos blandos, especialmente de la cabeza (músculos, cerebro y oído, por ejemplo) y del miembro posterior en vertebrados tetrápodos. Para ello, se



Laboratorio de Geomicrobiología

utilizan técnicas tradicionales, como la disección de cadáveres, se analizan los músculos y separan las fibras que los componen, se estima la fuerza que se podría ejercer con ellos, entre otras variables. En el LaPGE también se esqueletizan los individuos ya diseccionados. Los esqueletos ya limpios se numeran y en el caso de las aves, pasan a integrar la Colección Osteológica de Aves Actuales (CIT-O) que pertenece al CICTERRA.

El otro grupo de investigación que trabaja en el LaPGE es el de Geomicrobiología, el cual tiene dos líneas de trabajo. Por un lado, se estudian las interacciones entre microbios y minerales carbonáticos en los procesos sedimentarios y biogeoquímicos asociados, y cómo éstos son preservados en los sedimentos, utilizando ambientes modernos y potenciales análogos del registro geológico. Por otro lado, se estudia la biodiversidad, ecología, evolución y mecanismos moleculares de adaptación de microorganismos y poblaciones microbianas de ambientes extremos. En la actualidad los estudios se enfocan en lagos hipersalinos, Antártida y ambientes contaminados.

El laboratorio se ha ido equipando recientemente gracias al esfuerzo de varios investigadores. Actualmente cuenta con material de vidrio y plástico de uso común, set de micropipetas, centrifugas, baño térmico, agitadores, autoclave, estufa de cultivo, campana de flujo laminar, heladeras y freezers para la conservación de muestras. Además, en convenio con otras instituciones, se tiene acceso a termociclador, microscopios de avanzada (CLSM, SEM, TEM, RAMAN) y secuenciación de nueva generación (454 pirosecuenciación, Illumina).



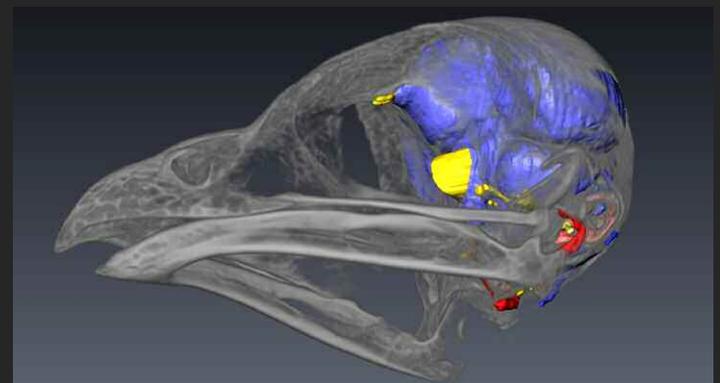
Cianobacterias y Diatomeas - Mata microbiana (Laguna Negra, Catamarca)



Cráneos de aves



Cultivo de cianobacterias



Modelado de cerebro de ave

Este número de Cicterránea fue financiado por:



Proyectos de Transferencia de Resultados de Investigación y  
Comunicación Pública de la Ciencia 2018 (PROTRI 2018)