



# CICTERRÁNEA

- Revista de Comunicación de las Ciencias de la Tierra -



ISSN 2618-2122

**Yacimientos de Litio**  
**El fin del reinado de los combustibles fósiles**

**Viaje al interior de la Tierra**  
**Conociendo los secretos de las Sierras de Córdoba**

**Lo que el mar se llevó...  
¡y dejó!**  
**Más que adornos en la playa**



# CICTERRA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

## ¿Qué es el CICTERRA?

Es un centro de investigación en Ciencias de la Tierra 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?

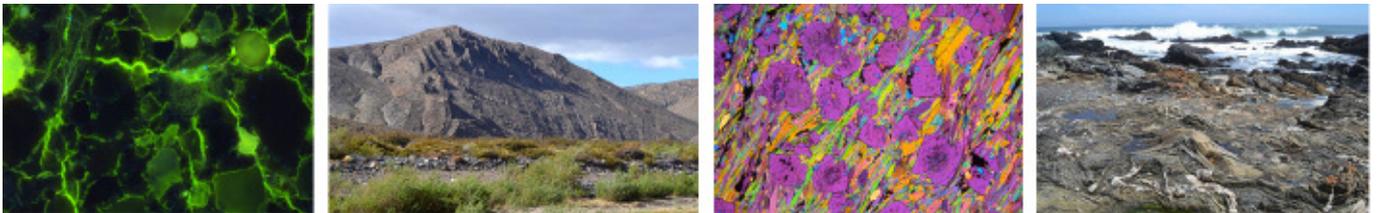
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas vinculados con las Ciencias de la Tierra en general, incluyendo Geología Endógena y Exógena, Geoquímica, Geofísica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión, comunicación pública de la ciencia 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. El Centro incluye geólogos, biólogos, químicos, geofísicos y egresados de carreras afines.

## Líneas de Investigación

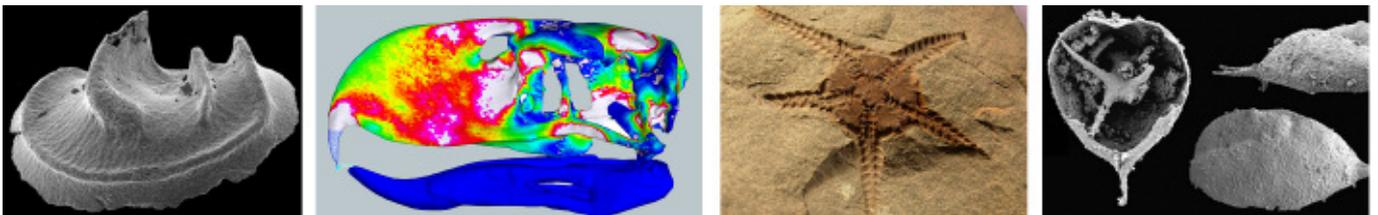
### Dinámica de la litósfera – astenósfera



### 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  
Dra. Gisela Morán

### Comité editor

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

### Diagramación y diseño gráfico

Paula Benedetto

### Corrección de estilo

Dr. Alberto M. Díaz Añel

Foto de Tapa: bajando desde la cima del cerro Champaquí, hacia Villa Alpina, en la Sierra Grande de Córdoba (Autor: Matías M. Morales Cámara).

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. Edgardo Baldo  
Vicedirector: Dr. N. Emilio Vaccari

Contacto:  
[secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar](mailto:secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar)  
Av. Vélez Sársfield 1611,  
X5016GCB Córdoba, Argentina  
Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200  
[www.cicterra.conicet.unc.edu.ar](http://www.cicterra.conicet.unc.edu.ar)

**E**l cuarto número de Cicterránea sale a la luz en un nuevo escenario para la comunidad científica. Luego de cuatro años de un grave y deliberado deterioro del sistema, el reciente cambio en la conducción del Estado ha comenzado a mostrar señales positivas.

En un contexto de crisis económica y de emergencia social, la recuperación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y algunas mejoras para el sector como la recomposición salarial en las becas o el aumento del número de cargos en CONICET, son acciones concretas que ponen de manifiesto la voluntad de reconstruir el sistema de Ciencia y Técnica. Pero, fundamentalmente, transmiten un mensaje, simbólico y potente, que la ciencia vuelve a ser una política de estado en Argentina.

Aún más, en línea con el nuevo clima de época, las políticas públicas comenzaron a incorporar la perspectiva de género a través del impulso de un Programa Nacional de Equidad de Género y Diversidades en el sistema científico y tecnológico para garantizar condiciones de igualdad de derechos, recursos y oportunidades. Al igual que en el resto de los ámbitos, el sistema científico no es la excepción en cuanto a desigualdades de género. Según datos oficiales el 59% del plantel científico son mujeres, sin embargo, los puestos jerárquicos tanto en ciencia como en otras dependencias del Estado siguen siendo en su gran mayoría para los varones. Si bien se espera que esta tendencia se revierta con el tiempo, esto no será posible sin las diferentes iniciativas que se están poniendo en marcha en el sector. Las mismas ponen en evidencia distintas formas de desigualdad y violencia cotidiana hacia las mujeres y disidencias, invitando a la reflexión e implementando medidas de prevención y protección.

Porque nos sentimos interpeladas por esta problemática y dado que marzo es un mes emblemático para la lucha de las mujeres trabajadoras y para el reclamo por igualdad de derechos en todas las esferas, los contenidos de este número de Cicterránea son, en su mayoría, producidos por investigadoras y becarias de nuestro Instituto. Como protagonistas y como un reflejo de nuestra labor científica, hacemos de esta edición un pequeño aporte en pos de visibilizar los desafíos de la mujer en nuestro ámbito, con la esperanza de que los caminos hacia la igualdad real de oportunidades al fin se abran.

Beatriz Waisfeld, Emilia Sferco y Gisela Morán

# índice



**Yacimientos de Litio**  
El fin del reinado de los combustibles fósiles  
Por Laura Borda y M. Gabriela García

4



**Viaje al interior de la Tierra**  
Conociendo los secretos de las Sierras de Córdoba  
Por Carlos D. Ramacciotti y Matías M. Morales Cámara

38



**Lo que el mar se llevó...  
y dejó!**  
Más que adornos en la playa  
Por Sol Bayer

20

## actualidad

**Embalses y aguas verdes.** ¿Qué pasa en Córdoba?  
Por Silvana Halac

30

**Arcillas, cerámica y ciencias.** Imaginar las Ciencias de la Tierra como un lugar en el que converjan las diferentes cosmovisiones de nuestro planeta  
Por Gilda Collo, Olga Tarditti, Julieta Nóbile, María Therisod, Ileana Perassi, Cecilia Wunderlin, Sonia Faudone, Alejandro Germanier, Marcelo Rustán

12

## entrevistas a jóvenes científicos

**Nexxys C. Herrera Sánchez.** Graptolitos: reporteros del pasado

36

**Ayelén Lapiana.** Un río hecho montaña: la historia de los antiguos ríos andinos

18

## fichas técnicas

49

## tomando conCiencia

**Ecoladrillos.** Cuidando el planeta desde casa  
Por Gisela Morán

50

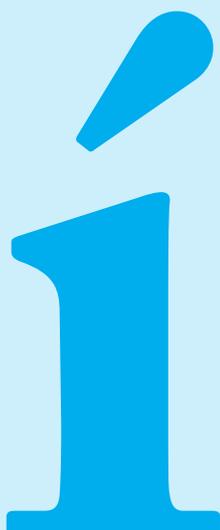
## foto+ciencia

29 - 48

## visualizando ciencia

Objetivos para un mundo mejor

51



An aerial photograph of a vast, flat, arid landscape, likely a salt flat or a lithium extraction site. A narrow, winding channel of bright greenish water runs through the center of the flat, flanked by white and grey mineral deposits. The surrounding terrain is a mix of light brown and grey, with some darker patches. In the distance, there are low, dark mountains under a cloudy, overcast sky.

# Yacimientos de litio

**El fin del reinado de los combustibles fósiles**



### **Laura Borda**

Lic. en Geología, Becaria del CONICET  
Estudiante del Doctorado en Ciencias  
Geológicas, FCEfyN, Universidad Nacional  
de Córdoba



### **M. Gabriela García**

Dra. en Geología  
Investigadora Independiente del CONICET,  
Docente de la Escuela de Geología,  
FCEfyN, Universidad Nacional de Córdoba

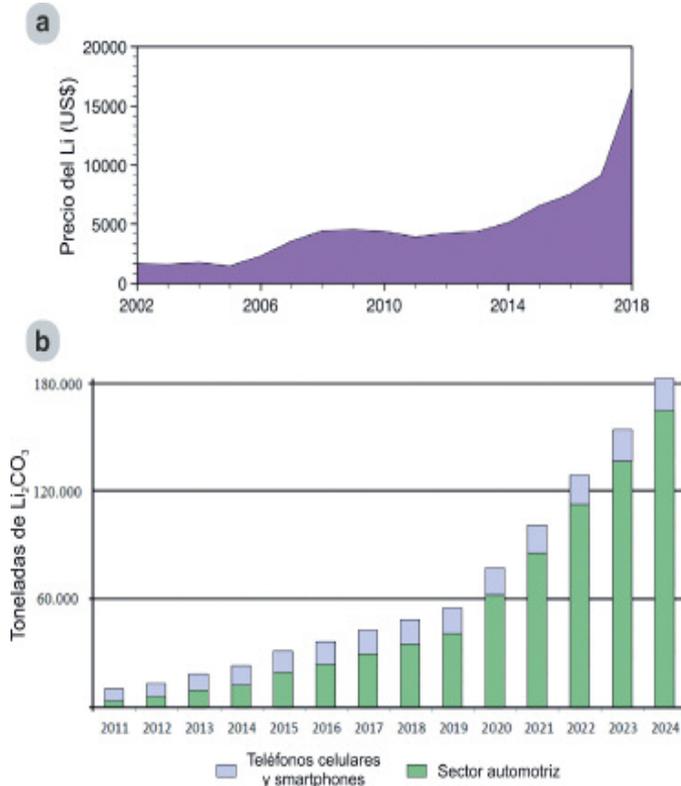
---

El premio Nobel de química del año 2019 fue para tres investigadores que desarrollaron las baterías de ion litio. Estas baterías, que son más livianas y eficientes, permitieron promover la industria electrónica de gran consumo y crearon las condiciones para liberar a las sociedades de los combustibles fósiles. Argentina es el tercer productor mundial de litio, elemento que es extraído desde las salmueras almacenadas en los salares de la Puna. Allí convergen una serie de condiciones geológicas y climáticas que son indispensables para la formación de estos yacimientos y que sólo se encuentran en unas pocas regiones del mundo.

---

**H**oy en día es imposible imaginar la vida moderna sin la energía que proveen los átomos de litio. Este elemento, el más liviano de los metales y con una elevada reactividad química, es la materia prima primordial con la que se construyen las baterías eléctricas de alto rendimiento. Debido a que estas baterías son más pequeñas, proporcionan más energía y presentan mayor durabilidad que las tradicionales, son la fuente de energía preferida por la industria tecnológica. Nuestros teléfonos celulares, cámaras de fotos, y computadoras portátiles usan baterías de ion litio. Sin embargo, lo que ha incrementado notablemente la demanda de este elemento en los últimos años ha sido el desarrollo de baterías de litio para su uso en los automóviles eléctricos (Figura 1). De hecho, se estima que para este año, 2020, la producción de vehículos eléctricos será cercana a las 7 millones de unidades.

Además de ser el componente principal de las baterías, el litio tiene otras aplicaciones en las industrias de la cerámica, vidrios, energía nuclear, y en la fabricación de grasas lubricantes, aires acondicionados, gomas sintéticas y aluminio. Es además un insumo muy importante de la industria farmacéutica, debido a que el litio es un potente estabilizador del ánimo, utilizado en tratamientos psiquiátricos de patologías muy propias de las sociedades actuales, tales como depresión, insomnio, trastornos alimentarios, hiperactividad, ansiedad, trastorno bipolar, ataques de pánico y adicciones.



**Figura 1. (a)** Evolución del precio del litio (en dólares estadounidenses US\$) en el período 2002-2018. **(b)** Evolución de la demanda del litio (toneladas de carbonato de litio) para automóviles y artículos electrónicos en el período 2011-2024. (a partir de datos de Metalary, 2018: <https://www.metalary.com/lithium-price/>)

**Debido a sus múltiples aplicaciones, y sobre todo a su rol como componente primordial en el desarrollo tecnológico de las sociedades y la producción de energía limpia, en 2010 el litio fue declarado como elemento estratégico por la Unión Europea y Estados Unidos**

Debido a sus múltiples aplicaciones, y sobre todo a su rol como componente primordial en el desarrollo tecnológico de las sociedades y la producción de energía limpia, en 2010 el litio fue declarado como elemento estratégico por la Unión Europea y Estados Unidos. Es a partir de entonces cuando comienza a incrementarse de manera exponencial su precio y la demanda, tanto para su uso en la industria automotriz como en la electrónica (Figura 1).

## Los yacimientos de litio

El litio (cuyo símbolo químico es Li) es un elemento relativamente común en la naturaleza, ya que es posible encontrarlo en las rocas, los sedimentos y hasta en el agua de océanos, lagos y ríos en concentraciones que pueden alcanzar varios cientos de miligramos de litio por kilogramo de material. De las 114 especies conocidas de minerales que contienen litio, las más comunes son espodumeno, elbaíta, ambligonita, petalita, pezzottaíta (Tabla 1), así como lepidolita y la arcilla hectorita. Sin embargo, en muchos casos este elemento no forma minerales propios, sino que se encuentra como una impureza reemplazando principalmente al magnesio en otros minerales.

## Una fuente de energía almacenada en las rocas

La mayoría de las rocas contienen litio, aunque sus concentraciones son muy variables de un tipo a otro. Los granitos y las pegmatitas son las rocas que tienen en promedio las concentraciones de litio más altas. Si bien las pegmatitas son rocas comunes en terrenos graníticos de muchas regiones del mundo, no cualquier pegmatita puede ser considerada como un yacimiento de litio. Específicamente, las pegmatitas del tipo LCT, es decir, ricas en los elementos químicos litio, cesio y tantalio, son el foco de las explotaciones de litio a nivel mundial. El primer productor mundial de litio es Australia, que extrae este elemento desde



### Cerditos Zen

En la actualidad, el litio es uno de los medicamentos más efectivos de la psiquiatría, ya que es utilizado para estabilizar los estados de ánimo de millones de personas en el mundo con trastornos de desorden bipolar. Los primeros estudios comenzaron hace 70 años, cuando el psiquiatra australiano John Cade descubrió los efectos que causaba este elemento sobre el comportamiento de cerdos, que se volvían muy dóciles luego de ser tratados con dosis crecientes de litio. Un poco más tarde, los psiquiatras daneses Mogens Schou y Poul Baastrup, realizaron estudios clínicos con mayor grado de rigor científico y publicaron sus resultados en la prestigiosa revista The Lancet. A partir de entonces, la comunidad de médicos psiquiatras aceptó como válido el tratamiento del trastorno bipolar con litio, aunque los mecanismos por los cuales este medicamento ayuda a ralentizar los ciclos de altibajos emocionales, son aún un misterio. Este importante hallazgo científico, dejó además un medicamento relativamente barato en el mercado, ya que no fue patentado por ninguna compañía farmacéutica.

## La kriptonita es un mineral de litio y está en la Tierra!

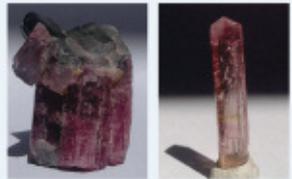
En la película *El regreso de Superman* (2006), Lex Luthor, el archienemigo del famoso superhéroe, roba un cristal de un mineral verde esmeralda sobre el que hay un rótulo que dice: hidróxido de silicato de sodio litio boro. Increíblemente, esta es exactamente la composición química de la jadarita, un mineral que se encontró en una mina de Serbia en 2007. A diferencia de la Kriptonita, la Jadarita es blanca, granulada y, por lo que se conoce hasta ahora, no tendría los "poderes" de su familiar extraterrestre.



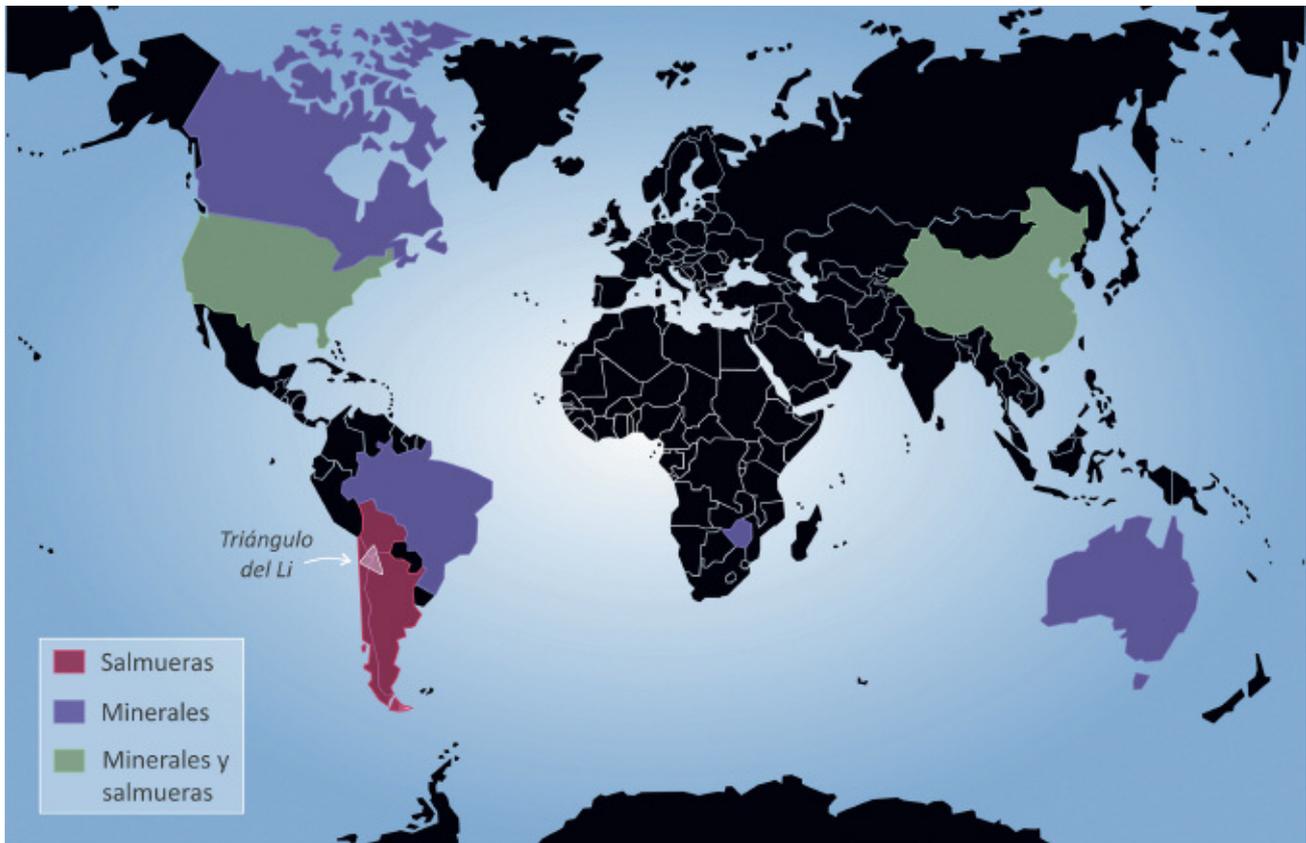
## Las pegmatitas del tipo LCT, es decir ricas en los elementos químicos litio, cesio y tantalio, son el foco de las explotaciones de litio a nivel mundial

cristales de espodumeno que se encuentran en el yacimiento de Greenbushes, una pegmatita litífera (rica en litio) de 5 km de largo y 300 m de ancho ubicada al oeste

del país. Además de Australia, las pegmatitas litíferas más importantes conocidas hasta el momento se encuentran en China, Zimbabwe, Canadá y Brasil (Figura 2). En Argentina, este tipo de pegmatitas se encuentran en la región de las Sierras Pampeanas, donde han sido explotadas en pequeña escala desde principios del siglo pasado. En Córdoba, la reciente renovación de licencias para la exploración y la explotación de litio en la pegmatita de la mina Las Tapias han encendido las alarmas de los pobladores de la

Mineral	Fórmula química	Contenido de Li (%)	
Espodumeno	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	3,7	
Ambligonita	$\text{LiAl}[\text{PO}_4][\text{F},\text{OH}]$	3,4-4,7	
Elbaíta	$\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	1,89	
Petalita	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	1,6-2,27	
Pezzottaíta	$\text{Cs}(\text{Be}_2\text{Li})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	0,99	

**Tabla 1.** Composición química y contenido de litio en alguno de los principales minerales de este elemento. Las fotografías corresponden a ejemplares de la colección personal del Dr. Fernando Colombo.



**Figura 2.** Distribución de los principales yacimientos de litio en explotación en el mundo.

zona, que ven a la extracción del litio no sólo como una amenaza ambiental sino también para sus fuentes de trabajo, relacionadas principalmente al turismo rural.

## Las baterías que se alimentan de los volcanes, la sal y el sol

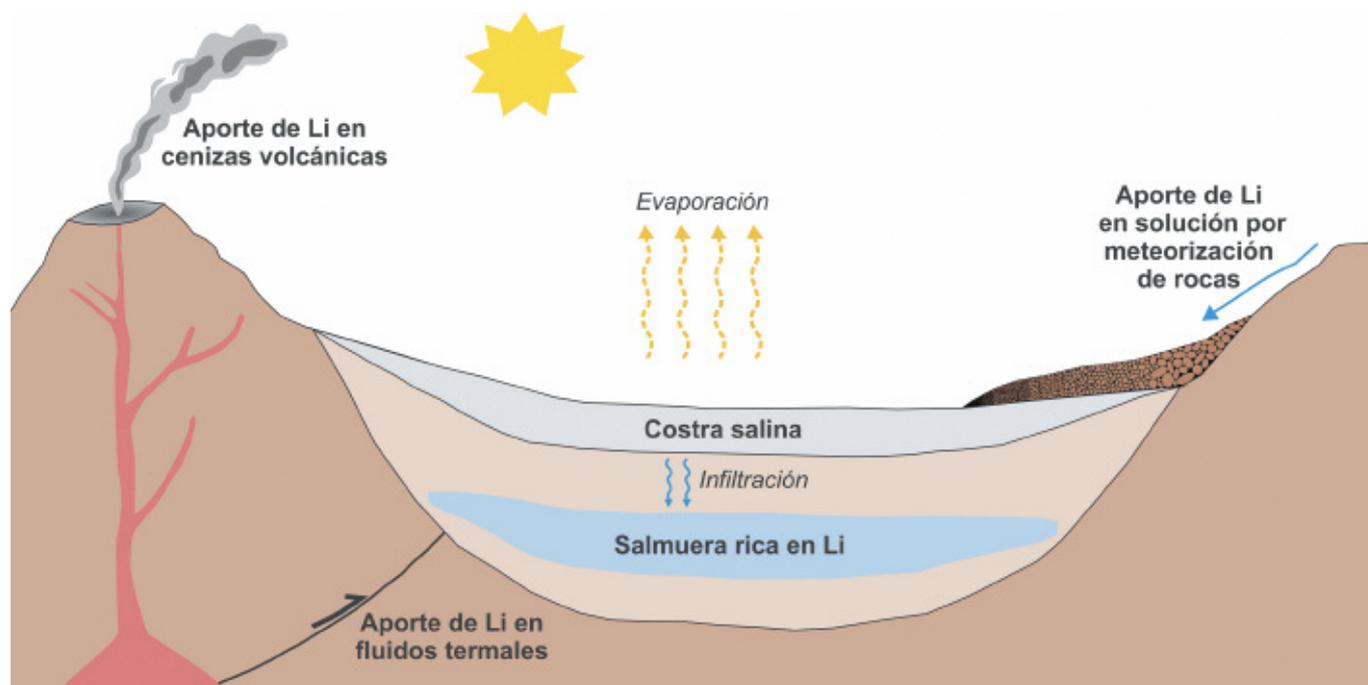
Cuando los minerales que contienen litio son expuestos a los agentes atmosféricos, se produce su liberación al agua, donde tiende a permanecer en solución ya que no forma sales propias. En la mayoría de los ríos y lagos del mundo, la concentración de litio es muy baja en relación con otros elementos disueltos en el agua, alcanzando un promedio de  $0.0015 \text{ mg L}^{-1}$ . Por el contrario, en las salmueras la concentración de este elemento puede ser entre cinco y seis órdenes de magnitud mayor (entre  $100$  y  $2000 \text{ mg L}^{-1}$ ). Las salmueras son aguas muy ricas en sales (más salinas que el agua de mar) que se acumulan en el subsuelo de los salares y son el foco de las operaciones de litio debido a que su extracción resulta más sencilla y económica que en el caso de los yacimientos de pegmatitas litíferas.

Los principales reservorios de salmueras litíferas se en-

cuentran en la región de los Andes Centrales ocupada por el *plateau* de la Puna y el Altiplano, en salares y lagos salinos de Clayton Valley (Nevada, Estados Unidos) y en la región del *plateau* Tibetano de China (Figura 2). En la región de la Puna y el Altiplano se concentra el 60% de las reservas

***En la región de la Puna se concentra el 60% de las reservas de este metal identificadas a nivel global. Esta región se conoce como el triángulo del litio, debido a la gran cantidad de salares ricos en este elemento que se encuentran distribuidos entre los salares de Uyuni (Bolivia), Atacama (Chile) y Hombre Muerto (Argentina)***

de este metal identificadas a nivel global. Esta región se conoce como el triángulo del litio, debido a la gran cantidad de salares ricos en este elemento que se encuentran distribuidos entre los salares de Uyuni (Bolivia), Atacama (Chile) y Hombre Muerto (Argentina) (Figura 2). El salar de Uyuni contiene las reservas de litio más importantes a



**Figura 3.** Condiciones necesarias para la formación de salmueras litíferas en ambientes salinos.

nivel mundial, pero las mismas no están siendo explotadas actualmente. La mayor producción actual se obtiene del salar de Atacama, lo que convierte a Chile en el segundo productor mundial de este elemento. El tercer productor mundial de litio es Argentina, que lo extrae desde los salares del Hombre Muerto (Catamarca) y Olaroz (Jujuy).

Existen seis factores principales que hacen que las salmueras, alojadas en los salares de las regiones anteriormente mencionadas, contengan altas concentraciones de litio (Figura 3):

**Clima árido... pero con mucha agua.** La mayoría de los salares ricos en litio del mundo se encuentran en regiones tropicales o en latitudes medias con climas áridos. En estos ambientes, la evaporación excede las precipitaciones y es lo que permite que la concentración de litio en el agua aumente varios órdenes de magnitud en relación con las concentraciones de este elemento medidas en las aguas que alimentan los salares. Sin embargo, también es esencial para la formación de las salmueras litíferas que haya un flujo importante de agua al salar que remueva el litio desde las rocas adyacentes y lo transporte hacia el centro de la cuenca, donde termina acumulándose.

**Presencia de fuentes potenciales de litio en la cuenca.** Aún no se conocen con precisión cuales son las fuentes del litio en los salares, aunque actualmente se aceptan dos tipos principales: 1) la alteración de rocas ígneas o volcánicas ricas en sílice y 2) la descarga de aguas termales ricas en litio. En la región de la Puna, existen extensas regiones cubiertas por rocas volcánicas producto de antiguas erupciones explosivas. Estas rocas, denominadas ignimbritas, contienen concentraciones de litio más elevadas que el resto de las rocas y sedimentos de la región. Otra fuente potencial de litio son los depósitos de cenizas volcánicas que se encuentran dispersos alrededor de las cuencas de los salares y que también contienen altas concentraciones de este elemento.

**Presencia de volcanes o aguas termales cercanos.** Las aguas termales, generalmente asociadas con sistemas volcánicos, pueden contener concentraciones elevadas de este elemento que son aportadas por los cuerpos magmáticos emplazados en profundidad. La migración de estas aguas de origen magmático hacia los sectores más superficiales de la cuenca, suele dar lugar a las salmueras ricas en litio acumuladas en los acuíferos del salar. Al mismo tiempo, la circulación de aguas calientes en el subsuelo favorece la meteorización de

rocas y sedimentos con los que están en contacto. Cuando un mineral se meteoriza, una parte de los elementos químicos que lo componen se disuelve en el agua, mientras que otra parte queda retenida como un residuo sólido. El litio forma parte de los elementos que se disuelven en el agua, por eso puede ser transportado en solución hasta los acuíferos que están en el subsuelo del salar, donde se acumula.

*Son cuencas cerradas que contienen un salar.* Las zonas bajas, donde convergen los ríos, se denominan “cuencas endorreicas”. Estas favorecen la acumulación de agua en el subsuelo de los salares, así como la de todos los elementos que se encuentran disueltos en ella.

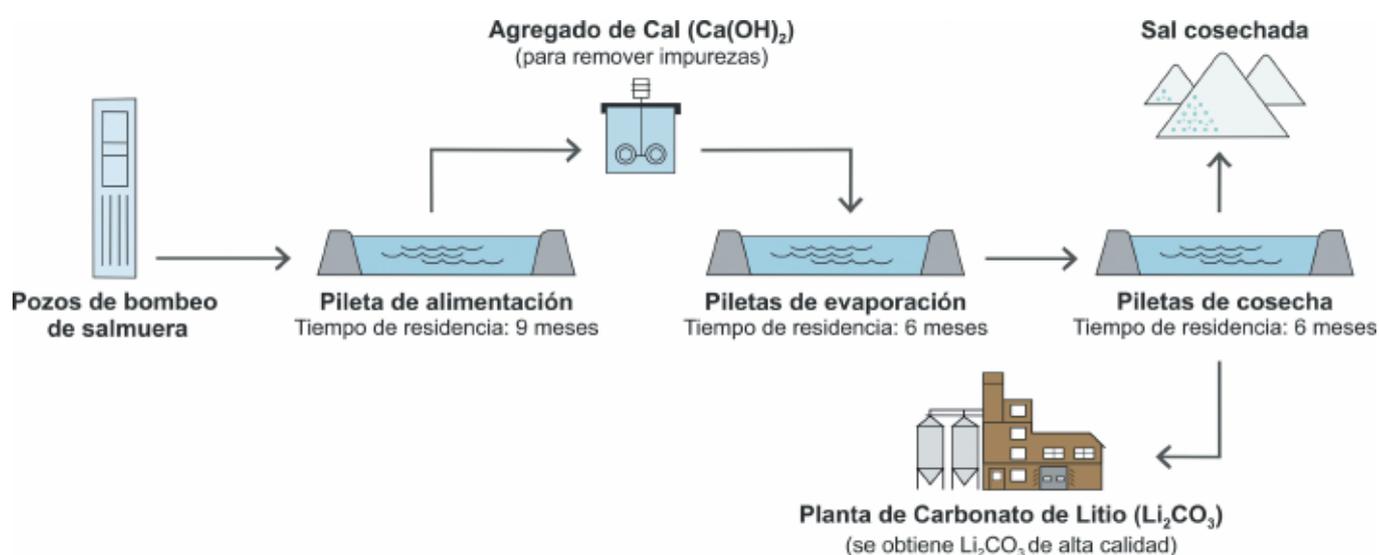
*Desarrollo de acuíferos en el subsuelo del salar.* El agua de lluvia llega al núcleo de los salares a través de los ríos que desembocan en él. Antes de infiltrarse, la intensa evaporación produce una pérdida importante de agua acompañada de un fuerte incremento en la concentración de los elementos disueltos, especialmente del litio, por lo cual el agua se vuelve más densa favoreciendo su desplazamiento en profundidad. En el subsuelo del salar, las salmueras pueden estar alojadas en grietas, en el caso de los salares maduros con gran desarrollo de costra salina, o en niveles de gravas y arenas en el subsuelo de los salares inmaduros donde estos

niveles alternan con capas delgadas de sales.

*Tiempo.* La meteorización, el transporte del litio a la cuenca del salar, la evaporación, la infiltración de las salmueras y finalmente su acumulación en los acuíferos del subsuelo de los salares, son procesos que ocurren en períodos de tiempo prolongados, que pueden alcanzar algunos millones de años.

## De la salmuera a la fábrica de baterías: el proceso de extracción de litio

Las salmueras litíferas se bombean desde la red de pozos perforados en el salar hacia una pileta de alimentación donde pueden permanecer almacenadas durante 9 meses aproximadamente (Figura 4). Luego del agregado de cal (que favorece la eliminación de impurezas, principalmente magnesio y sulfato), las salmueras son conducidas a las piletas de evaporación donde permanecen expuestas al sol durante 6 meses. Al final de este período, se logra duplicar la concentración de litio de la salmuera original. En un siguiente paso, las salmueras resultantes son transferidas a las piletas de cosecha, donde se produce la separación del litio de otros elementos muy solubles como el sodio y el potasio, que precipitan en forma de halita y sil-



**Figura 4.** Esquema de extracción de litio desde las salmueras litíferas de la Puna.

vita (cloruro de sodio (sal de mesa) y cloruro de potasio respectivamente). Al final de este proceso, la concentración de litio es tres a cuatro veces mayor que la de la salmuera extraída del salar. Finalmente, el concentrado es conducido a la planta de carbonato de litio, donde se eliminan las impurezas finales mediante procesos químicos (precipitación de carbonatos e intercambio iónico) y se obtiene una salmuera purificada. Por último, la misma es sometida a un proceso de carbonatación cuyo producto final es un carbonato de litio grado batería. Este es el producto que se exporta hacia los países que fabrican las baterías de litio, principalmente Japón, Estados Unidos y China.

## Los nuevos yacimientos

En los últimos años se ha comenzado a explorar la potencialidad de los yacimientos de litio asociados con arcillas hidrotermales. En estos depósitos, el litio se encuentra retenido en la superficie de minerales arcillosos, por lo cual puede liberarse fácilmente cuando las arcillas entran en

contacto con el agua. Uno de los reservorios de arcilla de litio más importante descubierto hasta ahora es el depósito de Thacker Pass de Montana, Estados Unidos. Este yacimiento se formó por la meteorización de rocas volcánicas emitidas por un supervolcán extinto hace 16,3 millones de años. El litio lixiviado de estas rocas se depositó en la cuenca de la caldera, formando un gran lago y una espesa secuencia de depósitos lacustres ricos en arcillas, donde el litio quedó retenido por procesos de adsorción. Posteriores eventos volcánicos elevaron el centro de la caldera, drenando el lago y llevando los sedimentos ricos en litio a la superficie.

*Agradecimientos.* Agradecemos al Dr. Fernando Colombo (FCEFyN – UNC- CONICET) por las fotografías de minerales de litio de su colección personal y a Sofía Romero García (Primero Quinta – ESCMB– UNC) por las ilustraciones que acompañan los cuadros de textos.

RB

### Bibliografía/ Lecturas sugeridas

Alonso, R.N., 2006. Ambientes Evaporíticos Continentales de Argentina. En: Temas de la Geología Argentina I. Serie Correlación Geológica. INSUGEO.

Baran, E. J. (Ed), 2017. Litio. Un Recurso Natural Estratégico. Desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie Publicaciones Científicas n° 12, ISBN 978-987-4111-19-7.

Calvo, E., 2019. Litio, un recurso estratégico para el mundo actual. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy 28 (164): 17-23.

De la Hoz, M., Martínez, V. R., Vedia, J. L., 2013. El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares. Temas de Biología y Geología del NOA 3 (3), 58-67.

G

### Glosario

**Acuífero:** roca o sedimento a través del cual el agua subterránea se mueve con facilidad.

**Adsorción:** proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en la superficie de un sólido.

**Lixiviado:** empobrecimiento de materiales solubles presentes en la parte superior del suelo por percolación de aguas descendentes.

**Meteorización:** fragmentación física (desintegración) y alteración química (descomposición) de las rocas de la superficie terrestre, o cerca de ella.

**Pegmatita:** roca ígnea formada durante las últimas fases de enfriamiento de los magmas en donde los minerales se presentan en forma de cristales de gran tamaño.

**Plateau:** meseta intermontana elevada, que se encuentra generalmente localizada entre dos o más cadenas montañosas recientes.



# ARCILLAS, CERÁMICA Y CIENCIAS

Imaginar  
las Ciencias  
de la Tierra  
como un  
lugar en el que  
converjan las  
diferentes  
cosmovisiones  
de nuestro planeta

## Interdisciplina y diálogo de saberes

El disparador original del proyecto fue el de recopilar prácticas y tecnologías de ceramistas de Córdoba y caracterizar los afloramientos de arcilla con destino cerámico-alfarero, utilizadas actualmente y potencialmente utilizadas en el pasado para confección de objetos arqueológicos. Esta caracterización incluyó un

En los últimos años ha tenido lugar por parte de los ceramistas de las Sierras de Córdoba, incluyendo a aquellos pertenecientes a Comunidades Originarias, un retorno al uso de materiales del entorno como materia prima para la confección de objetos cerámicos. La cerámica actualmente elaborada en las Sierras de Córdoba posee un valor cultural y económico significativo para la región, al tiempo que el acercamiento entre los ceramistas ha disparado el entrelazado de una red de intercambio de saberes dentro de su comunidad.

Desde el CICTERRA estamos impulsando un proyecto que integra el trabajo de ceramistas locales y profesionales de instituciones de Ciencia y Tecnología nacionales y provinciales. Este proyecto intenta aportar a la compleja pero muy placentera tarea del diálogo entre saberes hegemónicos y tradicionales y a su revalorización. Compartimos estos primeros pasos del proyecto, que para nosotros han sido transformadores, con la intención de invitar/invitarnos a explorar estas otras formas de hacer ciencia.

**El abordaje interdisciplinario y el diálogo de saberes (o diálogo inter-científico, inter-paradigmático, entre diferentes cosmovisiones) permitieron repensar esa intención inicial, reflexionar creativamente y formular preguntas que no hubieran sido formuladas puertas adentro de la comunidad académica**

*análisis físico* para conocer, por ejemplo, la plasticidad y granulometría del material, un *análisis mineralógico* para determinar qué tipos de minerales de arcilla (por ejemplo, esmectitas, caolinitas, illitas) y qué minerales no arcillosos los conforman (por ejemplo cuarzo, feldespatos, carbonatos) y una *caracterización geoquímica* para conocer los elementos presentes y sus proporciones (por ejemplo porcentajes de aluminio, silicio, potasio, etc.).

Se generaron así una serie de encuentros en territorio con ceramistas de Córdoba que trabajan con arcillas locales, con la intención de recolectar el material con el que trabajan y reconocer y registrar sus prácticas. En estos encuentros pudimos experimentar y comprender procesos y conceptos, revalorizando y potenciando los conocimientos que ellos producen en los espacios que habitan y fortaleciendo el diálogo entre estas prácticas cotidianas y el que-hacer científico tradicional.

El abordaje interdisciplinario y el diálogo de saberes (o diálogo inter-científico, inter-paradigmático, entre diferentes cosmovisiones) permitieron repensar esa intención inicial, reflexionar creativamente y formular preguntas que no hubieran sido formuladas puertas adentro de la comunidad académica. Preguntas que sobrepasan largamente los aspectos técnico-analíticos y que reflejan la diversidad de miradas integradas en el marco del proyecto, pero también las preocupaciones y prioridades que nacen de la vida cotidiana de los actores involucrados.



**Figura 1.** El territorio que habitamos, que transformamos y nos transforma.

El proyecto se reconfiguró así en dos ejes, el primero de las subjetividades, a través de los actores ceramistas y sus modos de habitar la tierra y el territorio; el segundo de las características y conformación de la tierra, ¿de qué está hecha esa tierra?

El diálogo de saberes permitió también visibilizar saberes tradicionales acumulados y transmitidos intergeneracionalmente, afirmar que estos saberes existen, que aportan respuestas a sus necesidades.

*En su concepción más amplia la ciencia abierta promueve el conocimiento como bien común, integra diferentes tradiciones científicas y formas de saber, promueve una colaboración equitativa en la que los científicos y comunidades se relacionan en calidad de pares y, fundamentalmente, hace foco en el proceso y explora nuevas formas de generar conocimiento*

## Ciencia Abierta

Como mencionan Arza y Fressoli (2017) “la Ciencia Abierta puede definirse como la producción científica que es desarrollada y comunicada para permitir que otros contribuyan y colaboren con el esfuerzo de investigación y cuyos datos, resultados y protocolos obtenidos en las diferentes etapas del proceso de investigación son puestos a libre disposición”. En su concepción más amplia promueve el conocimiento como bien común, integra diferentes tradiciones científicas y formas de saber, promueve una colaboración equitativa en la que los científicos y comunidades se relacionan en calidad de pares (OCSDNet, 2018. Manifiesto de la Ciencia Abierta) y, fundamentalmente, hace foco en el proceso y explora nuevas formas de generar conocimiento.

En el caso de este proyecto las prácticas de ciencia abierta comienzan con la reformulación de los objetivos o preguntas directrices, lo que al mismo tiempo permite poner necesidades sociales en el centro de nuestra agenda de investigación. A su vez, los registros y los resultados parciales se comparten a tiempo real con los integrantes “formales” del proyecto, así como también con los ceramistas en el territorio.

En ese marco, la planificación, realización, evaluación e interpretación de los resultados obtenidos son parte de un proceso de diálogo permanente y de co-producción de conocimiento entre quienes pertenecemos a la comunidad académica y los actores no-académicos.

*En particular este proyecto nos acerca, a través de las prácticas de los ceramistas que con su trabajo transforman la arcilla, a otros modos posibles de relacionarnos y habitar la tierra, a otro modo posible de pensarnos en la naturaleza*



*“La arcilla ya quemada no sirve más, se modificó...se murió digo yo...”  
Mariana López, Villa Benegas - Valle de Traslasierra*

**A**l pensar desde el otro, se transitan caminos, se construyen preguntas y se formulan respuestas que nunca surgirían desde una única perspectiva. Estas preguntas son algunas de las que “moldearon” este proyecto:

*¿De qué manera podemos transformar las “tierras” de nuestro entorno para, a partir de ellas, poder hacer piezas cerámicas?*

*¿Qué datos son importantes para los ceramistas?*

*¿Es posible desarrollar una actividad cerámico/productiva de oficio con arcillas locales?*

*¿Qué características tienen las cerámicas que se pueden realizar con las arcillas locales de la provincia de Córdoba?*

*¿Hablamos de lo mismo, pero con distintos lenguajes?*

*¿Qué características diferencian los materiales de alta temperatura y de baja temperatura?*

*¿Qué representa en la vida de los ceramistas la posibilidad de trabajar con arcillas locales?*

*“...Sería lindo saber lo que uno trabaja, los componentes de la materia prima...”*

*¿De qué está hecha esa tierra?*

*¿Cuáles son los modos posibles de habitar la tierra?*

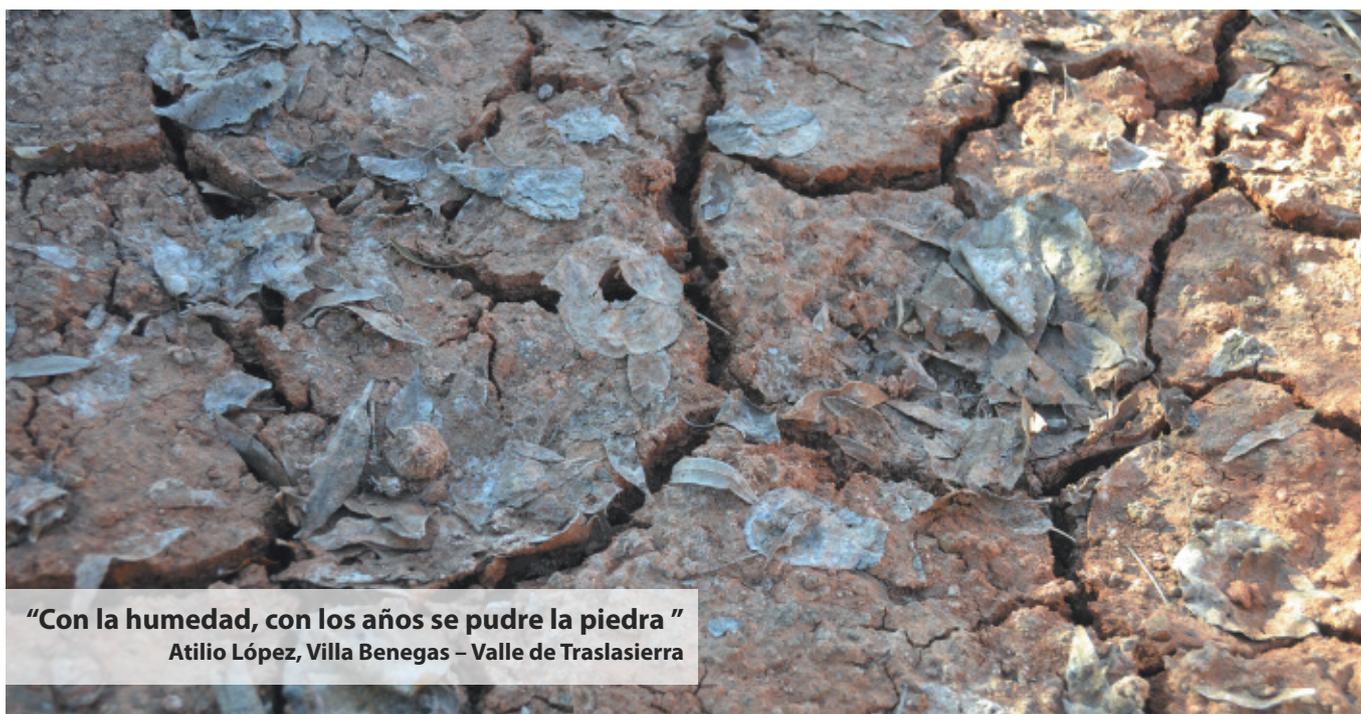
**“A veces hemos ido a buscar arcilla con él, él la toca y ya sabe...”**

**Adriana Ponce, Villa Benegas – Valle de Traslasierra**



**Figura 3.** Panes de arcilla en el taller de Atilio López.

Pretendemos también realizar un mapeo colectivo e intercambio de arcillas con la comunidad alfarera toda y diseñar, al finalizar el proyecto, una serie de documentos y mapas de libre acceso, en el que se integren los saberes de los ámbitos formales y no formales, en un lenguaje asequible a todos los actores (dentro y fuera de la comunidad científica), y que esperamos sea de utilidad para los ceramistas de la región.



**“Con la humedad, con los años se pudre la piedra ”**  
**Atilio López, Villa Benegas – Valle de Traslasierra**

**Figura 4.** Nuestra tierra. Arcilla cuarteada (grietas de desecación) en piletones de decantación.



*“uno termina la escuela sintiendo que si uno no tiene el taller, no tiene el torno, la mesa de amasado, la laminadora, las bolsas de arcillas compradas o el paquete de arcilla no puede hacer cerámica... Para mí fue una transformación venir acá y empezar a descubrir la arcilla desde la simpleza. Acá hacés un pozo y hay arcilla, en donde hagamos un pozo vamos a encontrar arcilla, mejores o peores, arenosas, muy plásticas... pero arcilla pisamos todo el tiempo. Y en esto que hablábamos de la magia de la cerámica y que cada vez somos más ceramistas por suerte, es que hay en nosotros una memoria genética... cuando tocamos arcilla está adentro nuestro... pasa con esas cosas que nos han acompañado durante miles de años, están adentro nuestro...”*

Carlos Enrique Leotta, Villa Animí – Sierras Chicas

## ¿Por qué pensar/explorar otras formas de producir conocimiento?

Entendemos que la generación y fortalecimiento de iniciativas alternativas no-hegemónicas de producción de conocimiento, interdisciplinarias, abiertas, colaborativas, desde el interior del ámbito académico, pero hacia espacios no tradicionales, contribuye a la humanización de la ciencia.

Humanización necesaria y urgente en el contexto de la crisis global y civilizatoria que estamos atravesando. En particular este proyecto nos acerca, a través de las prácticas de los ceramistas que con su trabajo transforman la arcilla, a otros modos posibles de relacionarnos y habitar la tierra, a otro modo posible de pensarnos en la naturaleza. Entendemos también que el desarrollo de prácticas de co-construcción de conocimiento produce nuevas habilidades,

nuevas identidades, que las formas alternativas de conocimiento son también fuentes alternativas de producción.



**Figura 7.** Encuentros. Reconociendo el material en su lugar de origen.

Para cerrar, hacemos nuestras las palabras de Ana Patricia Noguera y Omar Giraldo (2017), “Una doble significación de saber: cómo conocer y cómo sentir. Sentir los sabores de la tierra, es saber sus sentires. Saber cómo siente y cómo se siente la tierra, es saber de nosotros mismos y es saborear-nos, oler-nos, escuchar-nos. Esta profunda e íntima relación de los cuerpos-entre-cuerpos

habitando, se sale de la relación sujeto-objeto presente en la ciencia occidental moderna. Saber que sabemos, es sentir el saber-sabor.”

*Este es un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de las Provincia de Córdoba. PID 2018: Arcillas y alfarería: recopilación de prácticas alfareras y caracterización físico-química y genética de materias primas en las Sierras de Córdoba. Todas las fotografías de la nota son propias de los autores.*



**Gilda Collo,**  
Geóloga, Investigadora CICTERRA  
**Olga Tarditti,**  
Ceramista Autodidacta  
**Julieta Nóbile,**  
Geóloga, Investigadora CICTERRA  
**Maria Therisod,**  
Trabajadora Social, Aprendiz de Ceramista  
**Ileana Perassi,**  
Química, Personal de Apoyo, CICTERRA  
**Cecilia Wunderlin,**  
Geóloga, Becaria Doctoral CICTERRA  
**Sonia Faudone,**  
Química, Investigadora CEPROCOR  
**Alejandro Germanier,**  
Físico, Investigador CEPROCOR  
**Marcelo Rustan,**  
Bioquímico, Investigador CEPROCOR

## Bibliografía sugerida

- Arza, V. y Fressoli, M. 2017. Ciencia abierta en Argentina: experiencias actuales y propuestas para impulsar procesos de apertura. Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT). <http://www.cieci.org.ar/wp-content/uploads/2016/09/CIECTI-Proyecto-CENIT.pdf>
- Noguera de Echeverri, A.P. y Giraldo, O.F. 2017. ¿Para qué poetas en tiempos de extractivismo ambiental? Ecología política latinoamericana: pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica, coordinación general de Héctor Alimonda ; Catalina Toro Pérez ; Facundo Martín, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. CLACSO. Libro digital, PDF [https://www.google.com/biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20171030111951/GT\\_Ecologia\\_politica\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.google.com/biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20171030111951/GT_Ecologia_politica_Tomo_I.pdf)
- OCSDNet, 2018. Manifiesto de la Ciencia Abierta: Hacia una ciencia abierta inclusiva para el bienestar social y ambiental <https://universoabierto.org/2018/08/30/manifiesto-de-la-ciencia-abierta-hacia-una-ciencia-abierta-inclusiva-para-el-bienestar-social-y-ambiental/>
- Santos, Boaventura de Souza. 2012. De las dualidades a las ecologías. Serie: Cuaderno de Trabajo No. 18. Editora: Red Boliviana de Mujeres Transformando la Economía REMTE, Bolivia.

# Jóvenes científicos

**Ayelen Lapiana** es geóloga, egresada de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. 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. Cecilia del Papa y el Dr. Edward Sobel, consiste en estudiar cómo evolucionaron los ríos antiguos en la cuenca de Tres Cruces, (localidad cercana a Humahuaca, Jujuy) conforme los Andes se elevaban en el Noroeste argentino. Particularmente, mediante diversas disciplinas como la estratigrafía, la sedimentología y la termocronología, intenta conocer cómo y cuándo se elevaron.



## UN RÍO HECHO MONTAÑA La historia de los antiguos ríos andinos

**Sedimentología, estratigrafía, termocronología... ¡Qué palabras difíciles! ¿Nos podrías contar un poco de qué se tratan?**

*Cada una en sí misma es una disciplina, un mundo de información y metodologías. De hecho los científicos se especializan años para ser sedimentólogos o termocronólogos. La sedimentología estudia los procesos que forman las rocas (en este caso las sedimentarias). La estratigrafía consiste en el estudio de las diferentes unidades, es decir las diferentes capas de sedimento y cómo se relacionan entre sí. Y por otro lado, con la termocronología se puede determinar hace cuanto, por ejemplo, se elevó un cerro. Un ejemplo simple para entenderlo: si nos situáramos en el Cerro de los 7 colores (Purmamarca, Jujuy), utilizando estas disciplinas podríamos conocer cómo se formaron los diferentes niveles de colores, cuál es más antiguo que otro, si fueron depositados en un ambiente marino o continental, y cuándo se elevó la montaña.*

**En tu investigación, ¿qué datos podés aportar para el caso de la Cuenca Tres Cruces?**

*Mi investigación se centró en el estudio de las rocas sedimentarias coloradas y anaranjadas, que integran las formaciones Casa Grande y Río Grande, respec-*

*tivamente. Los resultados obtenidos nos permitieron conocer que la Formación Casa Grande es más vieja que la Formación Río Grande y que ambas fueron depositadas por ríos antiguos hace 18 a 37 millones de años atrás. El río que depositó los sedimentos de la Formación Casa Grande era un río de llanura indicando que el relieve del terreno era plano, por lo tanto deducimos que este río existía antes de que los Andes se levantaran, en cambio, el río que depositó los sedimentos de la Formación Río Grande era un río de montaña, señalando de este modo un cambio en las pendientes del terreno y por consiguiente el inicio del elevamiento de los Andes. Estos datos de base representan los diferentes escenarios del paisaje antes y después de la Cordillera de los Andes, lo cual resulta importante dado que nos permite conocer cómo evolucionó el paisaje del Noroeste argentino a medida que los Andes se elevaban.*

**Seguramente no debió ser fácil hacer todo esto, ¿Qué tipo de actividades realizaste durante tu investigación para obtener tus datos?**

*Durante los primeros años del doctorado realicé 5 campañas al Noroeste argentino en compañía de mi grupo de trabajo. Trabajamos en el Valle de Casa Grande y los alrededores del poblado minero El Aguilar, donde tomamos notas descripti-*



vas de lo que observamos, tomamos fotografías, medimos espesores y estructuras sedimentarias y geológicas, y recolectamos diferentes muestras de roca marcando los puntos de GPS correspondientes. El trabajo de campo es la actividad que más disfruté de realizar como geóloga, además tuve el agrado de conocer y trabajar con las comunidades locales. Otra etapa muy linda fue el procesamiento de las muestras, porque tuve la suerte de visitar y trabajar en varios laboratorios, incluso de hacer una pasantía en el laboratorio de termocronología en la Universidad de Potsdam en Alemania.

### **Y, ¿cómo fue ese encuentro con las comunidades locales? No debe ser algo de todos los días que alguien vaya a investigar a la región...**

El encuentro fue muy agradable, nos reunimos con el actual intendente, Omar Vilte, y con los pobladores de la comunidad de Casa Grande, Vizcarra y El Portillo. El desafío más grande fue comentarles nuestros objetivos de trabajo en el área, mencionando siempre que perseguimos fines científicos y no

privados. Finalmente, ellos como comunidad establecieron las condiciones y logramos acordar los permisos pertinentes para realizar mi proyecto doctoral en el área, además de los permisos otorgados por la Secretaría de Minería e Hidrocarburos de la Provincia de Jujuy. ¿La región? ¡La región de estudio para mí, es el patio de sus casas, el de la escuela provincial N° 316, entre otros espacios que visitan a diario, ellos son los verdaderos dueños de los sedimentos de las Formaciones Casa Grande y Río Grande! Es aquí donde radica la importancia de obtener los permisos correspondientes antes de visitar el campo. Debemos tomar conciencia que, incluso siendo científicos del Estado, también debemos pedir permiso para realizar nuestras tareas. ¡Sin permiso no hay campo y sin campo no hay muestras que estudiar!

### **Con todo lo que hiciste pareciera que no tuviste tiempo libre, pero ¿qué otras cosas hacías fuera de tu trabajo?**

Mi rutina de ejercicio nunca falta, siempre es bueno moverse un poco luego de tantas horas de oficina. Disfruto mucho de la música. Cantar y tocar la

guitarra siempre es un buen plan. Además, soy muy sociable, me encanta disfrutar momentos con mis amigos, especialmente si son al aire libre. Siempre que puedo vuelvo a mi pueblo para compartir un mate, o ¿por qué no? un asado con mi familia.

### **Por último, de tantas cosas vividas durante esta etapa de tu vida, ¿podés contarnos algunos planes para el futuro?**

Quienes hacemos ciencia, sabemos de la importancia de dar a conocer nuestros resultados a la comunidad científica y a la sociedad. Por lo tanto, mi trabajo no termina en la escritura de una tesis doctoral, planeo en los próximos meses publicar toda la información recolectada en estos 5 años en revistas científicas de alcance internacional para que otros científicos puedan continuar estudiando nuestro Noroeste argentino.

A futuro, me gustaría incursionar en el ámbito privado ya que siempre me llamó la atención la exploración y explotación de recursos naturales, creo que sería todo un desafío.

# LO QUE EL MAR SE LLEVÓ... ¡Y DEJÓ!

Más que adornos en la playa



***¡Qué romántico es escuchar el sonido del mar al acercar el oído a un caracol! Bueno, si bien es un mito lo del sonido, los caracoles y almejas nos pueden contar su relato de cómo fue el ambiente en que vivieron, y cómo los organismos son y fueron sensibles a las variables ambientales. Sus restos guardan información valiosa para reconstruir la historia ambiental. Y cuando también sumamos a sus representantes fósiles, podemos estudiar los cambios ambientales y climáticos a través del tiempo, tanto los acontecidos naturalmente como los ocasionados por el ser humano, y cómo estos han afectado a los seres vivos en el Golfo San Matías.***



**Sol Bayer**

Dra. en Ciencias Biológicas  
Investigadora Asistente del CONICET

Imaginate esta escena: vos, caminando descalzo sobre la arena húmeda con el sol del atardecer iluminando tus pasos, la brisa del mar acariciando tu cara y el sonido relajante del mar acompañándote en tu andar. Cambiás la marcha sólo para esquivar algunas almejas y caracoles esparcidos en tu camino imaginario... Genial, ¿no? Ahora imaginate si fueses un Paleontólogo, ¡¡¡mucho mejor!!! Porque las almejas y caracoles nos pueden contar historias de su pasado. Por ejemplo: cómo vivieron, qué comieron, quién las comió, entre otras historias. Ahora imaginate una playa repleta de almejas, ¡tantas almejas que no distinguís la arena! Y como paleontólogo te agarra un shock de fascinación. Esa playa existe y está en la costa de Patagonia, particularmente en el Golfo San Matías en la provincia de Río Negro (Figura 1). No sólo hay almejas como para hacer dulce sino también hay fósiles de almejas, ¡toneladas! (Figura 2).

Hoy, el Golfo San Matías, y particularmente la localidad de Las Grutas, son conocidos por sus playas extensas y de aguas cálidas, donde se puede veranear y comer frutos de mar deliciosos. Y hablando de frutos de mar, hay una almeja que es la celebridad del lugar, *Amiantis purpurata*, mejor conocida como la almeja púrpura (Figura 3), no solo porque es exquisita sino porque es sumamente abundante. Esta especie de almeja vive en el golfo desde hace 100.000 años. Y sus fósiles los encontramos en los yacimientos que se hallan cerca de la costa, particularmente

en acantilados y barrancas donde pueden encontrarse almejas y caracoles antiguos (Figura 4) que vivieron en un mar diferente al que vemos hoy en día.

## **Pero... ¿qué son las almejas y caracoles?**

Las almejas y caracoles pertenecen a un grupo de animales llamados moluscos, que han logrado adaptarse a ambientes muy diferentes, como los marinos, terrestres y de agua dulce; tanto en zonas muy frías como muy cálidas, y en todos los continentes. Al grupo de los moluscos, además de las almejas y caracoles, pertenecen también los pulpos, calamares, sepias, ostras, mejillones, babosas y los llamados quitones y colmillos de mar, que son menos conocidos. Como los caracoles y almejas tienen un esqueleto externo llamado caparazón o valva, son fácilmente preservables y por eso los podemos encontrar comúnmente en la playa.



**Figura 1.** Localización de la Bahía San Antonio, en el Golfo San Matías, provincia de Río Negro, Patagonia, Argentina.



**Figura 2.** Playa La Conchilla, sector intermareal.



**Figura 3.** Almeja púrpura, *Amiantis purpurata*, fotografía cortesía de Walter Prado.



**Figura 4.** Ejemplo de acumulación de valvas fósiles, cerca de la playa La Conchilla.

## ¿Por qué estudiar almejas y caracoles?

Más allá de los colores hermosos y formas atractivas que tienen sus caparazones, las almejas y caracoles nos aportan información sumamente útil para los biólogos y paleontólogos. Los moluscos forman parte de los primeros eslabones de la cadena alimentaria, ya que muchos de ellos son filtradores (se alimentan de microorganismos del agua) y otros son herbívoros, por lo que son alimento de los moluscos carnívoros y otros animales. Además, los moluscos son una fauna sumamente numerosa y diversa en los mares y, como su exoesqueleto o valva es resistente al paso del tiempo, podemos encontrar muchos ejemplares para estudiar (fósiles y actuales). Otra característica importante es que este grupo de animales es muy antiguo, ya que habita la Tierra desde hace más de 500 millones de años. En Argentina los fósiles de moluscos más antiguos se encuentran en el noroeste. ¡Imaginate un mar antiguo en Jujuy y Salta!

En el Golfo San Matías hay fósiles abundantes de la almeja púrpura junto a otras especies de almejas y caracoles de diferentes épocas. Encontramos fósiles de 2.000 años y 4.000 años y otros de más de 40.000 años y 100.000 mil años de antigüedad. Parece ser que la almeja púrpura siempre fue muy abundante y le gustaban esas aguas, porque actualmente puede encontrarse una innumerable cantidad de sus fósiles. Hoy en día sabemos que esta especie de almeja se alimenta de partículas orgánicas que se encuentran en suspensión, filtrando el agua. Viven enterradas en la arena, y si por alguna razón se desentierran por el movimiento enérgico del agua (tormentas, oleaje, etc.) o por la acción de algún otro animal, se entierran súper rápido. Sin embargo esta especie nunca estuvo sola, y según los cambios ambientales que fueron sucediéndose a lo largo de la historia, gozó de la compañía de diferentes vecinos o acompañantes.

## Fósiles de almejas y caracoles

Algunas partes del cuerpo de las almejas y caracoles, las partes blandas que solemos comer en una paella o ceviche, no se preservan bien. Sin embargo, los caparazones o valvas, al ser duros y de composición resistente al paso del tiempo (carbonato de calcio), quedan bien preservados en forma de fósiles. Es decir, los fósiles son los restos de organismos (en este caso valvas) que vivieron en el pasado o que dejaron alguna señal de vida (Figura 5).



Fósil de *Amiantis purpurata*

**Figura 5.** Valva fósil de *Amiantis purpurata*. Fotografía: Ivana Tapia (CICTERRA).

## ¿Cómo estudiar a los fósiles?

Existen dos disciplinas muy útiles e interesantes para estudiar fósiles: la Paleoecología y la Tafonomía. La Paleoecología nos permite conocer cómo vivían los organismos, qué comían, quién se los comía, dónde vivían, entre otro tipo de información. La Tafonomía, menos conocida, estudia toda la historia transcurrida desde que un organismo, en este caso una

**Cuando estudiamos detalladamente el estado de preservación de las valvas fósiles (rotura, desgaste, signos de depredación, presencia de huéspedes o epibiontes, etc.) junto a otros datos del paisaje, podemos armar una idea de cómo era el ambiente en que vivieron esas almejas**

almeja, murió hasta que queda transformado en roca junto a otros fósiles. Es decir, estudia la formación de los fósiles y cómo se acumulan. De esta manera podemos conocer qué especies vivieron juntas, cómo vivieron, en qué tipo de ambiente lo hacían, cómo murieron, etc.

Cuando estudiamos detalladamente el estado de preserva-

**El estudio detallado de los fósiles y en qué circunstancias quedaron preservados nos permiten conocer los ambientes del pasado, los cambios ambientales que se produjeron y cómo afectaron a los animales que vivieron en aquellos tiempos**

ción de las valvas fósiles (rotura, desgaste, signos de depredación, presencia de huéspedes o epibiontes, etc.) junto a otros datos del paisaje, podemos armar una idea de cómo era el ambiente en que vivieron esas almejas. Y cuando tenemos fósiles de diferentes tiempos de un mismo sitio, podemos reconstruir la historia del lugar. A veces, encontramos que en una misma zona los fósiles de diferentes momentos tienen patrones de preservación característicos de un ambiente determinado, y cuando estos varían estarían señalando un cambio ambiental. Por ejemplo, imaginemos un lugar con fósiles de diferentes momentos. Los fósiles de almejas más antiguos presentan valvas muy rotas y muy desgastadas, no por ser muy viejas sino porque su estado de preservación correspondería a un ambiente de mar abierto afectado por la acción de las olas. En cambio, los fósiles de almejas no tan viejas y que se encuentran en el mismo sitio que las más viejas, presentan una mejor preservación, es decir, valvas solo con los bordes un poco rotos (o cachados) y sin desgaste. Esto indicaría que ese lugar pasó a ser un ambiente más protegido a la acción de las olas, como por ejemplo una bahía. En este último caso se muestra un cambio ambiental (físico), de un entorno con una costa de mar abierto, con mayor oleaje, hacia un ambiente de bahía con una costa más tranquila o con un leve oleaje. Algo parecido a este ejemplo ocurrió en el Golfo San Matías.

El estudio detallado de los fósiles y en qué circunstancias quedaron preservados nos permite conocer los hábitats del pasado, los cambios ambientales que se produjeron y cómo afectaron a los animales que vivieron en aquellos tiempos.

## Un buen ejemplo de cambio ambiental: la historia del Golfo San Matías

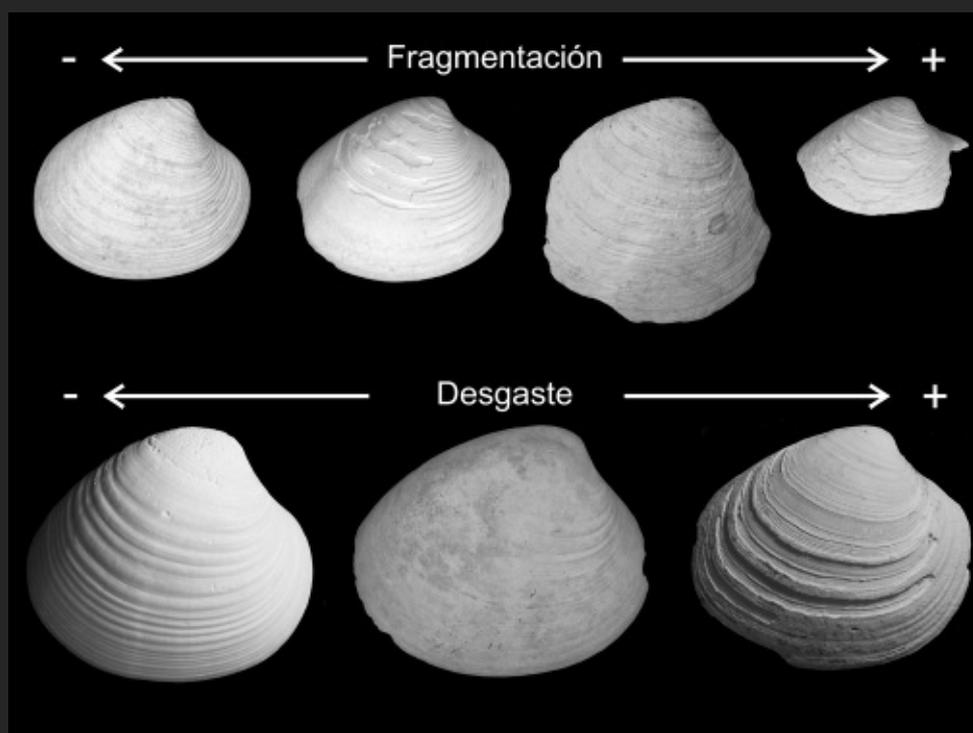
Todos los cambios del nivel mar quedaron representados en forma de cordones, barrancas y acantilados costeros que conservan fosilizada parte de la fauna que vivía en esos mares. Este tipo de depósitos de fósiles puede encontrarse en la costa

## Algunas características de las almejas que estudiamos

**Fragmentación/rotura:** algunas valvas se pueden encontrar rotas, unas más que otras. Esta observación nos dice que el organismo, después de su muerte, fue transportado hasta la playa junto a otros elementos duros como rocas y otras valvas que impactaron y fragmentaron la valva en estudio (Figura 6). Este dato resulta útil para saber qué tipo de sustrato o fondo marino -arenoso o rocoso- había en el entorno en el cual las valvas fueron removidas desde su lugar de muerte hasta depositarse finalmente en la playa. La rotura de una valva quiere decir que en el ambiente había rocas y/o valvas.

**Desgaste:** la acción del agua y la arena en suspensión producen el desgaste o erosión de la superficie de las valvas. Muchas veces es tan intenso que los dibujos y esculturas de las valvas quedan borradas completamente (Figura 6). El desgaste nos indica la intensidad de la energía de las olas y las mareas, si un entorno es más tranquilo o más azotado por las olas. Cuanto más desgastada esté la valva, más oleaje tiene el ambiente.

**Epibiontes:** algunas almejas y caracoles tienen “huéspedes” sobre sus valvas, llamados epibiontes, que son organismos que necesitan de otro como sustento. Algunos ejemplos conocidos son los “dientes de perro” y anémonas que utilizan las valvas como piso para asentarse (Figura 7). La presencia de epibiontes nos indica que las almejas después de morir quedaron expuestas sobre la superficie del fondo marino, dando lugar a la colonización de fauna epibionte sobre ellas. Nos indica el tiempo (relativo) transcurrido desde la muerte de la almeja hasta que fue colonizada por epibiontes. A su vez la presencia o ausencia de ciertas especies de epibiontes puede ser indicadora de la turbidez del agua y la calidad y cantidad de alimento en suspensión, ya que muchas de estas especies son filtradoras.



**Figura 6.** Ejemplos de valvas con diferentes grados de fragmentación y desgaste.



**Figura 7.** Ejemplos de restos de organismos epibiontes en una valva de *Amiantis purpurata*. Fotografía: Ivana Tapia (CICTERRA).

patagónica argentina, particularmente en el Golfo San Matías, es un buen ejemplo que sirve para demostrar cómo estas acumulaciones de fósiles pueden ayudarnos a relatar una historia, que iría desde épocas previas a la formación del golfo hasta nuestros días.

Hace 100.000 mil años, durante un período conocido como Pleistoceno (Figura 8), el Golfo San Matías todavía no se había formado. Por ese entonces, las almejas y caracoles que vivían allí lo hacían bajo condiciones ambientales diferentes a las actuales. Esa área era una costa de mar abierto impactado por el oleaje y la fuerza de las mareas. La circulación y salinidad de las aguas eran diferentes (Figura 9). La temperatura de las aguas era más cálida que la actual, lo que permitió el desarrollo de fauna (especialmente de moluscos) de aguas tropicales en la costa norte de Patagonia, que posteriormente se extinguieron durante los momentos más fríos, o glaciaciones.

En ese ambiente, la almeja púrpura, que era muy abundante, vivía enterrada en un fondo arenoso con algunos parches de roca donde vivían otros organismos pegados a éstas. La fauna de almejas y caracoles estaba caracterizada por una abundancia de organismos filtradores, lo que daría cuenta de la buena calidad o buena cantidad de alimento suspendido en el agua.

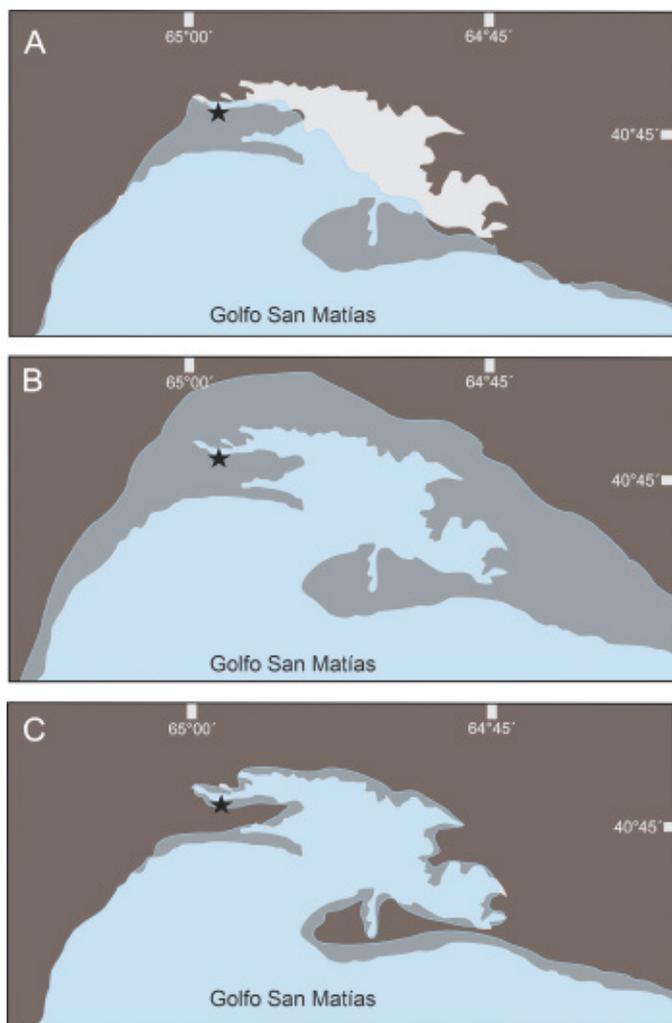
## Durante los últimos 100.000 mil años en Patagonia, ocurrieron momentos muy fríos llamados glaciaciones y momentos más cálidos, acompañados por variaciones del nivel del mar

Un evento notable ocurrido hace 24.000 años atrás fue el Último Máximo Glacial. La saga de “La Era de Hielo” describe muy bien esa época. Durante ese lapso de tiempo, la temperatura media global era 15°C más fría que la actual, y la costa atlántica argentina habría mostrado grandes e importantes cambios, como la gran exposición de la Plataforma Continental Argentina (porción del continente sumergido por el Océano Atlántico) (Figuras 1 y 9) y el avance de hielo, entre otros (ver CICTERRÁNEA 1, “La Tierra cambiante”). Imaginate que si vivieras en esa época en Las Grutas (Figura 1) y quisieras mojar los pies en la orilla, tendrías que caminar más de 200 km hasta llegar al agua.

Repetidos cambios del nivel del mar ocurrieron. La erosión costera, entre otros factores, dieron lugar a cambios en la costa del Mar Argentino. Hace sólo 12.000 mil años atrás, se inundó parte de la Plataforma Continental Argentina que dio



**Figura 8.** Esquema del tiempo enfatizando las épocas Pleistoceno y Holoceno, algunos eventos climáticos y culturales acontecidos. La estrella indica el momento en el que se formó el Golfo San Matías hace 12.000 años. Ma significa millones de años. El sol simboliza un óptimo climático. Figura realizada por Diego F. Muñoz (CICTERRA).



**Figura 9.** Esquema de la posible evolución de la Bahía San Antonio, en el Golfo San Matías, a lo largo del tiempo. A, más de 150.000 años; B, hace 100.000 años; C, 3.000 años atrás. La estrella indica la localidad de San Antonio Oeste.

lugar a que el mar invada el continente y con ello la formación del Golfo San Matías. Si bien este golfo se había formado, la línea de costa era un poco diferente a la actual, ya que por ejemplo todavía no se había formado la Bahía San Antonio (Figuras 1 y 9).

Otro ejemplo de cambio climático importante en la costa argentina ocurrió hace sólo 6.000 años, y se lo conoce como Óptimo Climático del Holoceno (Figura 8). Durante este período la temperatura fue un poco más cálida que la actual (2-3°C más alta) dando lugar a un clima subtropical cálido y húmedo. La costa también era diferente porque el mar estuvo entre 2 a 3 metros por encima del nivel actual, es decir, las playas que conocemos hoy estarían inundadas por el mar y no habría lugar para poner la reposera...

Luego, y hace sólo 4.000 años atrás, la almeja púrpura vivió en un ambiente diferente al del pasado. Con el golfo y la bahía formados, la almeja vivió en un ambiente más protegido a la acción de las olas y mareas, con una circulación de las aguas

diferente, tal vez con más alimento, ya que los moluscos que vivieron con la almeja púrpura eran también filtradores. Otro cambio importante fue que el fondo marino pasó a ser más rocoso, con gran número de especies que prefieren vivir sobre ese tipo de sustrato. Al quedar poco espacio de arena y siendo la almeja púrpura súper abundante con respecto a las otras especies de moluscos, la extensión de arena disponible dio lugar a la competencia por el espacio. En ese escenario, algunas

**Este tipo de estudios, donde utilizamos fósiles y materiales colectados en la playa, aportan información sobre los cambios ambientales, y especialmente climáticos, ya sea acontecidos naturalmente o los ocasionados por el ser humano en nuestro país, y cómo han afectado a los seres vivos**

especies se vieron más afectadas que otras. Esto lo podemos saber porque ciertas especies redujeron su abundancia y otras comenzaron a ser cada vez más prolíficas cuando se vieron beneficiadas. Un ejemplo interesante de esto son los caracoles zapatilla (*Crepidula* spp.; Figura 10), que no se vieron afectados negativamente porque tuvieron y tienen estrategias de vida singulares. Estos moluscos viven de un modo particular, unos sobre otros, como un racimo de caracoles, quedando “empatados” o “ilesos” en la competencia por el espacio. Además, estos caracoles se alimentan de una forma dual, es decir, son filtradores y herbívoros según su estadio de desarrollo y la cantidad y/o calidad de alimento disponible. Es decir, o filtran



**Figura 10.** Foto de caracoles zapatilla encimados, *Crepidula* spp.

## Ojo de paleontólogo:

1. Si alguna vez encontrás una almeja o caracol con un agujerito redondo, estás en presencia de una marca de depredación. Esa perforación es la evidencia de que otro animal, generalmente un caracol se comió a la almeja. Los caracoles carnívoros poseen una lengua especial con dientes llamada rádula, que tiene la peculiaridad de ser como un taladro que perfora no sólo físicamente, sino que también utiliza sustancias químicas que facilitan la perforación de los caparazones de almejas y otros caracoles (Figura 11).

2. Muchas especies de almejas tienen anillos de crecimiento en sus caparazones, como los anillos de crecimiento de los árboles. Si contás la cantidad de anillos que tienen, podés saber hasta qué edad vivió o a qué edad se murió la almeja (Figura 11).



Anillos de crecimiento



Marca de depredación

**Figura 11.** Ejemplos de anillos de crecimiento en una valva de *Amiantis purpurata*, donde se ven la alternancia de colores violeta y rosa (izquierda). Ejemplo de evidencia de depredación en una valva de la almeja "almendra de mar", *Glycymeris longior* (derecha). Fotografía: Ivana Tapia (CICTERRA).

las partículas en suspensión o se alimentan de las partículas del fondo marino.

La fauna que habita las playas actuales se caracteriza por preferir los fondos de arena, aunque la almeja púrpura es la especie dominante. Si bien los caracoles zapatilla al tener dos estrategias de supervivencia pasaron a ser una de las especies más abundantes por sobre las otras, se cree que esto podría ser ocasionado por un efecto antrópico, es decir por la acción del ser humano. Hoy en día, las localidades San Antonio Oeste y Las Grutas vierten sus desechos sobre el golfo ocasionando la eutrofización -aporte de numerosos nutrientes- de las aguas, lo que ha llevado a un aumento en la profusión de organismos herbívoros, como los caracoles zapatilla, entre otros.

Como hemos visto, lo interesante de este golfo es que los fósiles nos cuentan la historia del lugar a lo largo del tiempo,

desde antes que se formara hasta nuestros días. Podemos ver cómo fue variando la costa, cómo eran las playas y el fondo marino, si había fondos más arenosos o más rocosos, y por lo tanto cómo este habría afectado a quiénes vivían allí, si había más oleaje o si era un ambiente más tranquilo. Como las corrientes de agua cambiaron al formarse el golfo, también se modificó el ambiente, y esto dio lugar a que la fauna se tuviera que adaptar a estas variaciones. Ciertas especies no pudieron sobrevivir a los grandes cambios (glaciaciones) y otras lograron hacerlo. Entre estas últimas podemos encontrar algunas que actualmente parecen estar cómodas, como es el caso de la almeja púrpura, mientras que otras especies, como el caracol zapatilla, se vieron beneficiadas con la presencia del ser humano, ya que las aguas actuales del golfo reciben otro tipo de "nutrientes".

Este tipo de estudios, donde utilizamos fósiles y materiales colectados en la playa, son muy importantes porque aportan información sobre los cambios ambientales, y especialmente climáticos, ya sea acontecidos naturalmente o los ocasionados por el ser humano en nuestro país, y cómo han afectado a los seres vivos. Conociendo cómo vivieron y cómo se preservaron los organismos hace miles de años atrás, cuáles sobrevivieron y cuáles se extinguieron en esos períodos, y al poder relacionarlos con ciertos cambios ambientales que ocurren naturalmente, podemos comparar esa información con lo que ocurre en la vida de los mares actuales. También podemos analizar de qué manera nosotros, los seres humanos, aportamos a la historia del lugar como actores del cambio ambiental, ya sea para bien o mal. Con el estudio de los fósiles, podemos comprender que los cambios ambientales y climáticos ocurrieron naturalmente a lo largo de la historia de nuestro planeta. Calentamientos y enfriamientos globales, subidas y bajadas del nivel del mar, y extinciones masivas que se sucedieron repetidas veces en millones de años. Sin embargo, también podemos ver que el ser humano es un factor de influencia importantísimo en la historia de nuestro planeta, acelerando los tiempos naturales de los cambios ambientales a un punto tal que lo tiene

como testigo de los mismos, como ocurre, por ejemplo, con el aumento acelerado de la temperatura que provoca el retroceso de los glaciares y casquetes polares, los incendios incontrolables, la acidificación de las aguas de los mares, tormentas e inundaciones extremas y aridificación, entre otros.

De esta manera, tendremos un mejor conocimiento de la historia reciente del clima y del ambiente de nuestro país, colaborando con el Grupo Intergubernamental sobre Cambios Climáticos a nivel global (ONU, Naciones Unidas), lo cual tendrá un gran impacto en la calidad de vida, cultura y desarrollo de las futuras sociedades. Con el conocimiento científico, políticas pertinentes y una sociedad concientizada y comprometida, los efectos extremos del cambio climático acelerado por el humano se pueden atenuar. Pero esto último dependerá fundamentalmente de nuestras decisiones cotidianas y del cambio de estilo de vida hacia uno más responsable con el medio ambiente.

Entonces, cuando veas una “almejita” pensá que es un pecadito de historia natural, que además de poder ser un adorno en una vitrina, es una herramienta fundamental para entender el ambiente en que vivimos.

## G Glosario

**Fósil:** restos, evidencias o señales de actividad de organismos que vivieron en el pasado.

**Valvas:** concha, caparazón o esqueleto externo de almejas y caracoles.

**Pleistoceno:** rango de tiempo que abarca los últimos 2.6 millones de años hasta los 11.000 años antes del presente. En el Golfo San Matías, los sedimentos del Pleistoceno se encuentran como acantilados de aproximadamente 100.000 mil años de antigüedad.

**Holoceno:** rango de tiempo que abarca los últimos 11.000 años. En el Golfo San Matías, los sedimentos del Holoceno se encuentran como micro-acantilados o cordones paralelos a la playa de 4.000 mil años de edad.

**Epibiontes:** organismos que viven sobre la superficie de otro ser vivo.

## RB Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Gordillo y colaboradoras, 2019. De caracoles y almejas. Pequeño manual para docentes y educadores sobre los moluscos de la provincia de Córdoba. <https://drive.google.com/file/d/1V246ecR4bTfLWfSSCnIYTi6G-9Z7deXF/view>  
Grupo Malacología de la UNC <https://grupomalacologia.wixsite.com/grupomalacologia>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

Audio extraído del libro “Diario íntimo de una almeja fueguina” de Sandra Gordillo <https://www.youtube.com/watch?v=wApSjPzLarU>

Documental del Canal Encuentro “Atlántico Sur: Golfo San Matías” <https://www.youtube.com/watch?v=8MCqgxeK6nk>

Documental del Canal Encuentro “Atlántico Sur, buceando en el mar argentino” <https://www.youtube.com/watch?v=3lXtuOizRyw>

Microfotografía de rodrosita proveniente de mina Santa Rita, distrito Capillitas (Provincia de Catamarca). La rodrosita o Rosa del Inca es un carbonato de manganeso considerado como "piedra" ornamental nacional. Imagen tomada con microscopio petrográfico de luz polarizada. Escala: 500  $\mu$ m. **Autor: Pablo Yaciuk.**

# EMBALSES Y AGUAS VERDES

## ¿Qué pasa en Córdoba?

Los embalses cordobeses están en su gran mayoría en estado eutrófico, es decir, tienen un alto contenido de nutrientes en sus aguas y sedimentos. Esta condición es propiciada principalmente por actividades humanas que generan desechos con nutrientes, como ser: efluentes domiciliarios, fertilizantes, heces de ganado y materia orgánica calcinada por incendios. El proceso de eutrofización puede ser controlado y revertido si se toman las medidas de control y restauración a tiempo, lo que implica un manejo integral de toda la cuenca en cuestión.



Toma aérea del embalse San Roque durante un evento de floración de cianobacterias. Autora: Nathalie Pussetto.

## Agua que has de tomar: la razón de los embalses

Los embalses en la provincia de Córdoba están principalmente ubicados en la región de las Sierras Pampeanas, donde las condiciones climáticas son de tipo semiárido, con precipitaciones medias alrededor de los 750 mm/año. Fueron construidos con la finalidad principal de abastecimiento para agua de consumo y el control de crecidas. También tienen otros usos como riego, generación de energía hidroeléctrica, así como múltiples actividades recreativas (deportes acuáticos, pesca, navegación, entre otros).

En particular, el abastecimiento hídrico de la ciudad de Córdoba y alrededores proviene de dos embalses: San Roque y Los Molinos, en los valles de Punilla y Calamuchita, los cuales abastecen un 70 y 30% del agua potable, respectivamente.

Otro embalse muy importante es el de Río Tercero, en el valle de Calamuchita, que suministra agua potable a tres ciudades costeras (Embalse, Villa del Dique y Villa Rumi-pal). Además, desde 1986 se utiliza para el enfriamiento del reactor nuclear ubicado en su costa.

## Eutrofización y malas prácticas: ¿cómo empezó a enrollarse todo?

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) en un sistema acuático, que produce un aumento de la biomasa de algas y plantas acuáticas, y un deterioro de la calidad del agua (por ejemplo, disminuye el oxígeno disuelto y aumenta la turbidez). En este proceso ocurre además acumulación de sedimentos, lo que provoca un aumento de la región litoral y de vegetación en aguas poco profundas. La eutrofización se produce de manera natural en un sistema acuático, en lapsos de tiempo largos (que pueden durar siglos).

Existe una aceleración de la eutrofización debido a actividades humanas vinculadas a la producción de desechos de materia orgánica e inorgánica que aportan nutrientes.

A su vez, la deforestación, promueve la remoción de suelos y el aporte de sedimentos por erosión. Este proceso se denomina eutrofización cultural.

Los nutrientes provienen principalmente de efluentes domiciliarios (detergentes, restos de comida y heces fecales); lavado de suelos (fertilizantes, excrementos de ganado, restos de materia orgánica calcinada por incendios); aguas subterráneas enriquecidas con nutrientes de diversas fuentes; y deposición atmosférica de partículas de nutrientes proveniente de suelos e incendios. Dichos aportes pueden llegar al sistema por descargas puntuales: ríos, arroyos, ca-

***Existe una aceleración de la eutrofización debido a actividades humanas vinculadas a la producción de desechos de materia orgánica e inorgánica que aportan nutrientes. A su vez, la deforestación, promueve la remoción de suelos y el aporte de sedimentos por erosión. Este proceso se denomina eutrofización cultural***

nales artificiales, aguas subterráneas, o por descargas difusas: lavado de suelo y escurrimiento por lluvias, y deposición atmosférica por vientos.

Un sistema acuático se caracteriza por su estado trófico, el cual está determinado por la concentración de nutrientes y la abundancia de algas y/o plantas acuáticas presentes en el mismo. Los índices de estado trófico miden determinados parámetros como el fósforo y la clorofila (indicador de algas o plantas acuáticas). A partir de estos índices los sistemas acuáticos se pueden clasificar en diferentes estados tróficos, resultando en una escala de menor a mayor en lagos ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos.

Los embalses de Córdoba se encuentran en su mayoría

¿Qué tan enfermos están nuestros embalses y cómo lo medimos?

Algunos embalses cordobeses eutrofizados	¿Cuál es su estado trófico actual?	¿A cuántos metros de profundidad logramos ver el Disco Secchi?*	¿Cuánto fósforo hay en comparación a sistemas acuáticos donde no hay floraciones algales?	¿Qué cantidad de algas hay en comparación a sistemas acuáticos donde no hay floraciones algales?
SAN ROQUE	●	 1 metro	11 veces más	30 veces más
LOS MOLINOS	●	 1 metro y medio	6 veces más	15 veces más
RÍO TERCERO	●	 2 metros y medio	4 veces más	10 veces más

Los valores son aproximados y calculados a partir de promedios anuales.

\*El Disco de Secchi es un instrumento que mide la penetración de la luz o transparencia en un cuerpo de agua. La medición de la transparencia se realiza en unidades de longitud (centímetros y/o metros) y corresponde a la profundidad a la que el disco se pierde de vista.

● Hipereutrófico    ● Eutrófico

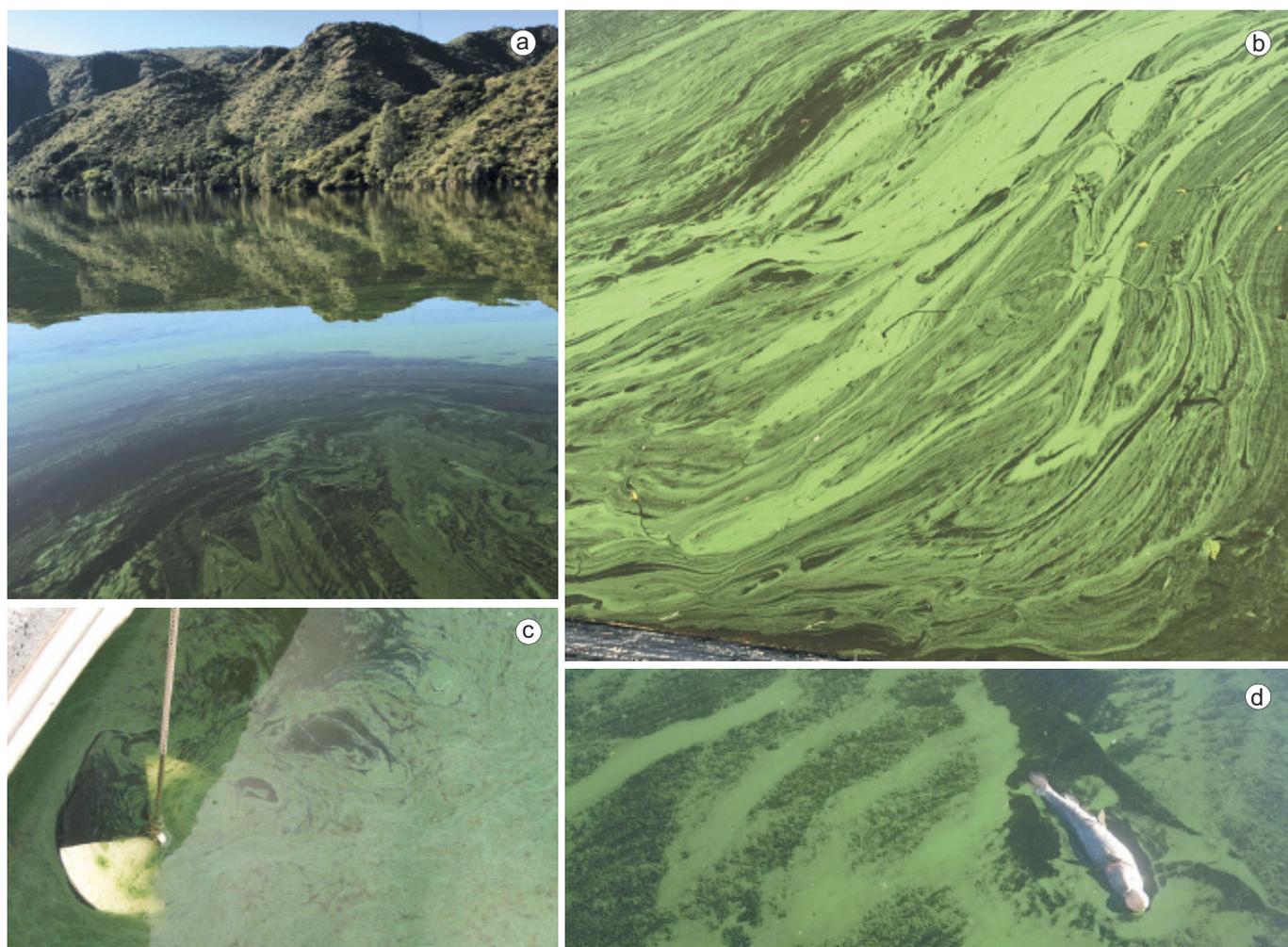
afectados por la eutrofización cultural, la cual se desarrolló de una manera más intensa y sostenida a partir de 1980. En particular, el embalse San Roque se encuentra en un estado hipereutrófico, es decir con una muy alta concentración de nutrientes, debido principalmente al crecimiento de la ciudad costera de Villa Carlos Paz, sumado a la expansión urbana en toda su cuenca (ver foto de portada). El crecimiento demográfico, sumado al cambio de uso del territorio y a un deficiente tratamiento de efluentes (en Villa Carlos Paz sólo aproximadamente el 30% de los efluentes cloacales son tratados), resultan en un aumento exponencial de la carga de fósforo. Estudios realizados por el Instituto Nacional del Agua (INA CIRSA), demostraron que la carga media anual de fósforo al embalse San Roque es de 145 toneladas.año<sup>-1</sup>, y que aproximadamente el 60% de esta carga es producto del aporte desde las regiones costeras. Estos aportes no sólo incluyen descargas difusas sino puntuales, como por ejemplo, canales que reciben efluentes domiciliarios clandestinos. Además, en las últimas décadas existen reportes de un aporte importante de nutrientes por parte de incendios en la cuenca del San Roque.



**Figura 1.** Desarrollando el meollo en el embalse San Roque: los sedimentos y la huella de la eutrofización. Muestreo de sedimentos del fondo del embalse San Roque utilizando un equipo especial para extraer núcleos o testigos sedimentarios. Autora: Nathalie Pussetto.

**La eutrofización en la cuenca del San Roque se intensificó en la década del '80 cuando los indicadores de nutrientes y abundancia de algas comienzan a aumentar de manera progresiva. A partir del siglo XXI este proceso se acelera, lo que se observa en un incremento exponencial de los indicadores estudiados**

Recientemente, el grupo de Geolimnología del Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), ha iniciado estudios de la evolución de la eutrofización y variabilidad hidroclimática en el embalse San Roque, a través del estudio de los registros sedimentarios (Figura 1). Hasta el momento, el análisis de testigos obtenidos del fondo del embalse, permitió reconstruir la historia del proceso de eutrofización y la influencia de otros factores, como el cambio de nivel del embalse, a partir de 1920 hasta la actualidad. Estos estudios revelan que la eutrofización en la cuenca del San Roque se intensificó en la década del '80 cuando los indicadores de nutrientes y abundancia de algas comienzan a aumentar de manera progresiva. A partir del siglo XXI este proceso se acelera, lo que se observa en un incremento exponencial de los indicadores estudiados.



**Figura 2.** Fotografías en embalse San Roque durante eventos de floración de cianobacterias: (a) Entre sierras: floración de cianobacterias en una bahía del embalse, (b) Pintando el agua: detalle de la nata verdosa formada por colonias de cianobacterias en la superficie del agua, (c) Transparencia cero: disco de Secchi sumergido en medio de colonias de cianobacterias, (d) Adiós a los peces: evento de mortandad de peces debido a la escasez de oxígeno en el agua. Autores: (a y b) Eduardo Piovano, (c) Silvana Halac, (d) María Inés Rodríguez.

## El meollo de la cuestión: floraciones que no dan flores

El enriquecimiento en nutrientes de los sistemas acuáticos tiene consecuencias muy importantes que afectan al funcionamiento del sistema y a la calidad del agua, lo que repercute en su utilización, valor estético, ecológico y económico. La principal consecuencia de la eutrofización es el aumento exponencial de poblaciones de algas o floraciones algales (Figura 2 a y b). Las cianobacterias son uno de los principales grupos de algas que producen floraciones en sistemas eutrofizados donde se combinan condiciones de aguas calmas y temperaturas superficiales elevadas. La producción de floraciones tiene como consecuencia una disminución de la transparencia del agua (Figura 2 c), y además algunas especies de cianobacterias pueden producir toxinas perjudiciales para la salud humana. Además, se produce un aumento de la materia orgánica en los sedimentos, lo que incrementa la descomposición producida por bacterias y favorece las condiciones de baja o nula concentración de oxígeno (hipoxia o anoxia) en la zona profunda del embalse (hipolimnion). Este fenómeno puede producir la muerte masiva de peces (Figura 2 d).

Además, los sedimentos constituyen un reservorio de nutrientes, ya que el nitrógeno y el fósforo pueden unirse con otros elementos (por ejemplo hierro) y permanecer en los sedimentos períodos largos. Ante condiciones determinadas (por ejemplo baja concentración de oxígeno), los elementos unidos en el sedimento son liberados a la columna de agua. Es decir, los sedimentos representan una fuente interna de nutrientes y esto agudiza el proceso de eutrofización de los sistemas acuáticos.

## Desenrollando el meollo: fósforo y nitrógeno en la mira

Dentro de las medidas de manejo y restauración de sistemas eutrofizados existen muchas opciones y experiencias a lo largo del mundo que han dado diferentes resultados.

En general, la reducción del ingreso de fósforo por un mejor tratamiento de efluentes y la disminución del uso de

detergentes con fosfatos ha sido una de las medidas más comunes en lagos y embalses eutrofizados. Sin embargo, estas experiencias han demostrado que es necesario un control conjunto de los aportes de fósforo y nitrógeno. Si sólo se reduce el fósforo, podría disminuir el crecimiento de algas en el embalse pero, como consecuencia, el aporte de nitrógeno aguas abajo del embalse podría incrementarse. Es decir, la reducción de sólo un nutriente, podría desplazar el problema de eutrofización hacia otras zonas de la cuenca.

***En general, la reducción del ingreso de fósforo por un mejor tratamiento de efluentes y la disminución del uso de detergentes con fosfatos ha sido una de las medidas más comunes en lagos y embalses eutrofizados. Sin embargo, estas experiencias han demostrado que es necesario un control conjunto de los aportes de fósforo y nitrógeno***

Otras técnicas de restauración de lagos y embalses consideran la disminución de la carga interna de nutrientes y la aceleración de la recuperación del sistema. Para que estas medidas tengan efectos positivos y a largo plazo, deben realizarse después de eliminar las descargas de efluentes cloacales sin tratar a la cuenca. Entre las técnicas más usadas se encuentran: (1) técnicas físicas, como el dragado de sedimentos ricos en nutrientes, que puede disminuir una gran proporción del fósforo y (2) técnicas químicas, que mejoran las condiciones para la unión del fósforo a otros elementos en los sedimentos. Por otro lado, existen técnicas que no se enfocan en la disminución de nutrientes, sino en el cambio de las condiciones que afectan de manera directa al crecimiento de las algas. La mezcla artificial o desestratificación de la columna de agua está enfocada específicamente

mente en las cianobacterias, que es el grupo de algas que resulta favorecido en aguas calmas. En general, la mezcla artificial causa un incremento del contenido de oxígeno en la columna de agua y una homogeneización de la temperatura. Se espera que las cianobacterias disminuyan su concentración, y sean reemplazadas por otros grupos de algas mejor adaptadas a la turbulencia y no perjudiciales para la salud humana.

evitar que otros embalses y ríos de nuestra provincia lleguen a condiciones de eutrofización como las descritas, desde donde la restauración es mucho más difícil. Es necesario que tanto los ciudadanos como los gobernantes hagamos plena conciencia de esta problemática, para proponer y concretar los cambios fundamentales en el manejo de nuestras cuencas.

## Otras formas: buenas prácticas en el uso de nuestro territorio

El ordenamiento territorial, el buen uso y tratamiento del agua y de los residuos, son pasos fundamentales para

### Silvana Halac

Dra. en Ciencias Biológicas,  
Investigadora Adjunta del CONICET,  
Docente de la Escuela de Biología,  
FCFyN, Universidad Nacional de Córdoba



## Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Escobar, J., Restrepo, J. C., & Martínez, J. I. (2005). La paleolimnología como herramienta para el estudio y manejo de embalses. *Gestión y Ambiente*, 8(2), 51-59.

Mengo, L., Lami, A., Guerra, L., Masuzzi, S., Piovano, E. L., & Halac, S. R. (2019). Paleolimnología del embalse San Roque. Relación entre la eutrofización y la variabilidad hidroclimática. En *V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)*

Muchiut, J., Ponce, G., Dagatti, M., Prystupczuk, F., Reyes, R. G., Rodríguez, A., ... & Ruiz, M. (2019). Monitoreo y modelado hidroambiental en embalses de la provincia de Córdoba: Caso San Roque. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 6(1), 39.

## Glosario

**Estado trófico:** Condición de un sistema acuático determinada por la concentración de nutrientes y abundancia de algas.

**Eutrofización:** Proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por la adición de nutrientes al sistema.

**Floración algal:** crecimiento exponencial de algas, generalmente de una sola especie, que encuentra ventajas competitivas sobre otras, y se desarrolla hasta alcanzar densidades muy altas. Una floración puede o no ser visible a simple vista.

**Hipolimnion:** capa de agua profunda de lago o embalse que se encuentra separada de la capa de agua más superficial (epilimnion) por un cambio brusco de la temperatura. En general de menor temperatura y más calma que el epilimnion.

**Índices tróficos:** ecuaciones que se aplican a diversas variables tróficas (por ej., fósforo, clorofila) a partir de las cuales se pueden estimar el estado trófico de un sistema lacustre.

## Enlaces relacionados

<https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/como-estan-hoy-los-principales-embalses-de-cordoba>

¿Qué encontramos en el fondo de un embalse? Programa Átomos, Canal U, UNC,

[https://www.youtube.com/watch?v=-iPzmpjC0\\_Q](https://www.youtube.com/watch?v=-iPzmpjC0_Q)

Aguas Adentro: agua y contaminación. Canal Encuentro. <https://www.youtube.com/watch?v=Uao5hyi8gRO&t=1026s>

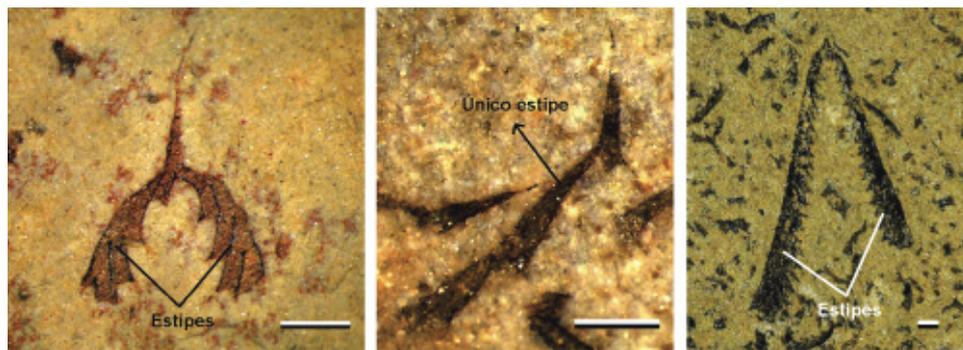
# Jóvenes científicos

**Nexxys C. Herrera**

**Sánchez** es una joven Ingeniera Geóloga, egresada de la Universidad de Los Andes (Mérida, Venezuela). En la actualidad, es estudiante del Doctorado en Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la Universidad Nacional de Córdoba con una beca doctoral del CONICET.



Su proyecto de investigación es llevado a cabo bajo la dirección de la Dra. Blanca Toro y consiste principalmente en analizar la distribución espacio-temporal de los graptolitos durante la época comprendida entre 485-465 millones de años en la Cuenca Andina Central. Los fósiles de estos animales pueden encontrarse en depósitos ubicados en las provincias de Salta y Jujuy en el Noroeste de Argentina, y en las regiones de Tarija y Chaupi Uno en el Sur de Bolivia



## GRAPTOLITOS: REPORTEROS DEL PASADO

**Los graptolitos no son algo que veamos todos los días, ¿nos contarías qué son y dónde los podemos encontrar?**

Los graptolitos son un grupo de animales invertebrados, coloniales y marinos cuyo nombre hace referencia al aspecto más habitual que presentan sus fósiles (del griego graptós= escrito, y lithos= piedra). Habitaron los mares de la Tierra durante el Paleozoico inferior (entre unos 550 y 400 millones de años) y lo continúan haciendo en la actualidad. Son reconocidos principalmente por su registro fósil y pueden ser bentónicos (viven en contacto directo con el sedimento del fondo en cualquier cuerpo de agua) o planctónicos (suspendidos/flotando en la columna de agua, son capaces de moverse y nadar). Presentan variada morfología (algunas se pueden ver en la fotografía de arriba. Escala gráfica= 1mm.), y a grandes rasgos consisten en un esqueleto colonial o tubario, formado por una o más ramas o estipes cuyo número varía dependiendo del modo de vida de la colonia (bentónico o planctónico) y su tendencia evolutiva. Los habitantes de la colonia (zooides) se componen de tejidos blandos y resultan prácticamente desconocidos en el registro fósil. Es por esto que la anatomía de los zooides se basa en el conocimiento de unos pocos miembros actuales.

Los fósiles de graptolitos se conservan por lo general como moldes mineralizados o como películas carbonosas aplastadas principalmente en rocas sedimentarias del Paleozoico inferior que afloran por ejemplo, en el Noroeste y la Precordillera de Argentina. Se asemejan a trazos gráficos

por su habitual contraste de color con respecto a la matriz; mientras que, ejemplares bentónicos actuales del género *Rhabdopleura* se pueden encontrar en el fondo marino, en lugares como el Atlántico Sur, Chile, Reino Unido y Noruega, entre otros.

**¿Por qué es importante estudiarlos?**

Cómo dije anteriormente, los graptolitos pueden ser bentónicos o planctónicos. Estos últimos formaron parte de la fauna que habitaba los océanos hace 485-400 millones de años. Su hábito planctónico permitió que tuvieran una distribución amplia, haciendo que sus fósiles sean encontrados en muchas partes del mundo. Además, tuvieron una rápida evolución. Es por esto que los graptolitos constituyen herramientas importantes para conocer la edad de las rocas que los contienen, permitiendo establecer y correlacionar límites entre los diferentes estratos. Además, sirven como instrumentos para examinar potenciales rocas fuentes en la exploración de hidrocarburos.

**Y normalmente en un día de trabajo ¿qué actividades, herramientas, metodologías realizás o usás para estudiarlos?**

Mis días de trabajo tienen actividades muy variadas. En los últimos tres años he realizado dos campañas de exploración y recolección de muestras al Noroeste de Argentina (Puna y Cordillera Oriental, Provincia de Jujuy) con mi directora y algunos compañeros del CICTERRA. Esta etapa involucra actividades de divulgación en las escuelas de las comunidades cercanas en las que les contamos a las niñas,



niños y adolescentes un poco sobre lo que hacemos (El CICTERRA va a las escuelas, CICTERRÁNEA Vol. 2, p. 45). Por otro lado, también hago trabajo de laboratorio donde reviso muestras que ya estaban depositadas en el Lab-Paleo del CICTERRA o colecciones nuevas. Esto incluye hacer dibujos en cámara clara (cámara especial que permite “calcar” las imágenes) y tomar fotografías, determinar las medidas de cada una de las partes del graptolito, e identificar y describir a qué grupo pertenece cada uno. Todas estas actividades están acompañadas de cursos de posgrado relacionados a mi tema de investigación, lectura de documentos científicos, participación de reuniones científicas, entre otras.

### **¿Cómo y en qué momento surgió tu interés por la Paleontología y por esta temática en particular?**

Mi interés por las Ciencias de la Tierra comenzó en el secundario debido a las materias que cursaba. Luego de eso, decidí estudiar Ingeniería Geológica involucrándome con un grupo de trabajo en el área de estratigrafía y paleontología. Es por eso que tiempo después de re-

cibirme, en el 2016, me presenté a una beca doctoral del CONICET con mi actual directora, en el área de paleontología/bioestratigrafía para estudiar graptolitos provenientes de la Cuenca Andina Central (Nor-oeste de Argentina y Sur de Bolivia). Me parece muy interesante que podamos entender la historia evolutiva de estos organismos al mismo tiempo que nos ayudan a tener una idea del momento geológico en que se depositaron las rocas que los contienen. De verdad disfruto todas las etapas que involucran el estudio de estos fósiles, el trabajo de campo, laboratorio y toda la información que se puede obtener a partir de ellos.

### **El interés por estos fósiles te hizo viajar desde lejos... ¿cómo fue venir a vivir a Argentina?**

Estaba muy contenta por venir a Argentina y continuar mi formación académica en el tema de mi interés. ¡Fue un cambio muy grande! Nuevo país, nueva cultura, clima con cuatro estaciones, me costaba muchísimo entender lo que decían los cordobeses (risas). A pesar de todo, la adaptación fue rápida. Argentina

tiene lugares hermosos, comida muy rica y ha sido un lugar de muchísimo aprendizaje.

### **Dejando un poco de lado lo académico... ¿qué otras actividades te gusta hacer en tus tiempos libres?**

En mi tiempo libre me gusta mucho hacer actividades al aire libre con amigas y amigos. Ir al parque, al Paseo de los Artesanos, caminar por las Sierras de Córdoba y un chapuzón en el río, son mis actividades favoritas. En invierno, el frío no me deja salir mucho de mi casa y me quedo disfrutando de una película o comidas entre amigos.

### **Y para concluir, seguro tendrás muchos proyectos para el futuro, ¿nos contarás cuáles serían algunos de tus planes?**

Por ahora, mi plan es continuar con el desarrollo de mi tesis doctoral en el CICTERRA. Más adelante, me gustaría presentarme a una beca posdoctoral para seguir trabajando en el ámbito científico. ¡Quedan muchos aspectos relacionados a este grupo fósil por estudiar en Argentina!



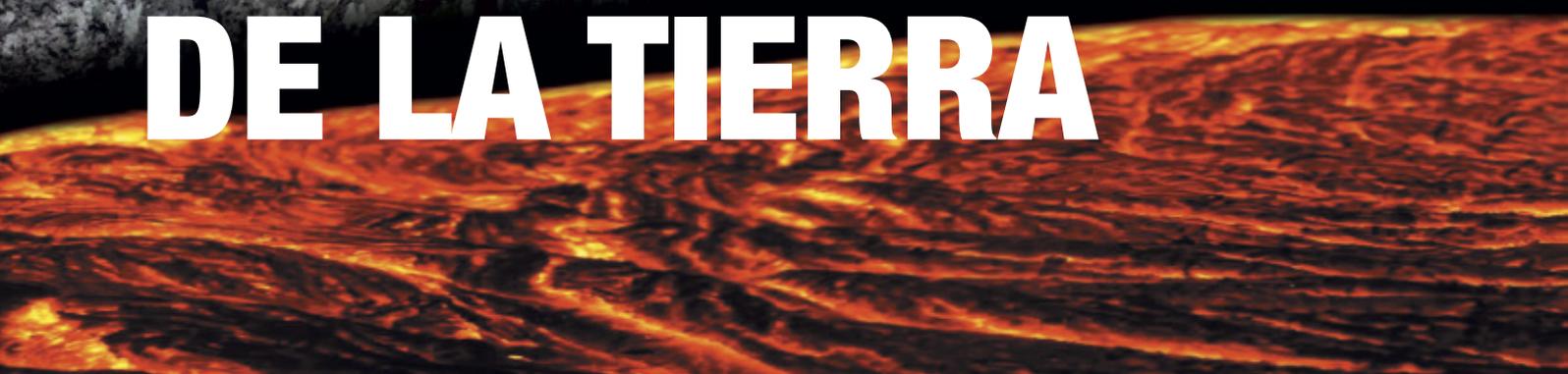
**Carlos D. Ramacciotti**  
Dr. en Geología  
Becario Posdoctoral FONCyT  
Docente de la Escuela de  
Geología, FCEFyN, Universi-  
dad Nacional de Córdoba



**Matías M. Morales**  
**Cámara**  
Dr. en Geología  
Becario Posdoctoral de  
CONICET



# VIAJE AL INTERIOR DE LA TIERRA





Imagina adentrarte en las entrañas de la Tierra a una profundidad de 25.000 metros. Allí, la temperatura alcanzaría los 800°C y las presiones serían tan elevadas que podrían deformar una roca como si fuera una plastilina. Este viaje que emprenderemos juntos no solo nos llevará al interior terrestre, sino que además será un viaje en el tiempo, 540 millones de años al pasado. En aquel tiempo remoto y a esa profundidad se han formado la mayoría de las rocas sobre las que tantas veces tomamos sol a la orilla de un río cordobés.

# Conociendo los secretos de las Sierras de Córdoba

Fotomontaje: Los granitos del batolito de Achala en Los Gigantes (Cerro La Cruz) como resultado de los procesos profundos del interior de la corteza terrestre. Foto: Gonzalo García (John)

Las rocas de las Sierras de Córdoba esconden un magnífico registro geológico que precede a la existencia de los dinosaurios en la Tierra. Aunque no parezca, las rocas pueden “hablar” y somos los geólogos los encargados de “escuchar” la apasionante historia que tienen para contarnos. Esta historia abarca cientos de millones de años y comprende eventos de formación de montañas similares a los Andes, fusión de rocas y generación de magmas, erupciones volcánicas y terremotos.

Explorar de forma directa las capas más profundas de la Tierra para estudiarlas no es una tarea sencilla. Hasta ahora no hemos sido capaces de avanzar más allá de los 12 kilómetros de profundidad, distancia alcanzada por una perforación en la península de Kola (Rusia). Sin embargo, esto representa apenas el 0,2% de la distancia al centro de la Tierra, que alcanza aproximadamente los 6.370 kilómetros, distancia equivalente a un viaje desde Córdoba a Ushuaia ida y vuelta. Nuestro viaje imaginario nos llevará al doble de la

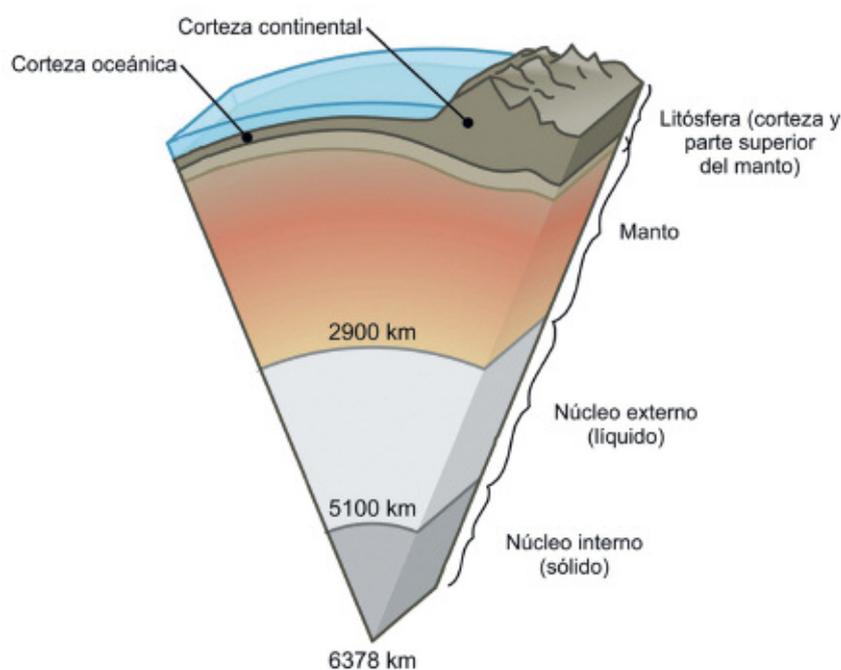
profundidad alcanzada por la perforación rusa, para lo cual necesitaremos una nave capaz de atravesar kilómetros de rocas tal como ocurre en la película *The Core* (El Núcleo). En ella sus protagonistas deben adentrarse en las entrañas del planeta para reactivar la rotación del núcleo terrestre y así evitar la extinción de toda forma de vida. Solo que, además, nuestra nave deberá tener la tecnología del DeLorean DMC-12 de la película *Back to the future* (Volver al Futuro) ya que este viaje al interior terrestre no lo realizaremos hoy, sino que deberemos transportarnos cientos de millones de años al pasado.

## ¿Qué hay debajo del suelo que pisamos?

Antes de comenzar nuestro viaje debemos conocer nuestra hoja de ruta, es decir, tener una idea que cómo es la Tierra en su interior. Nuestro planeta se encuentra formado por

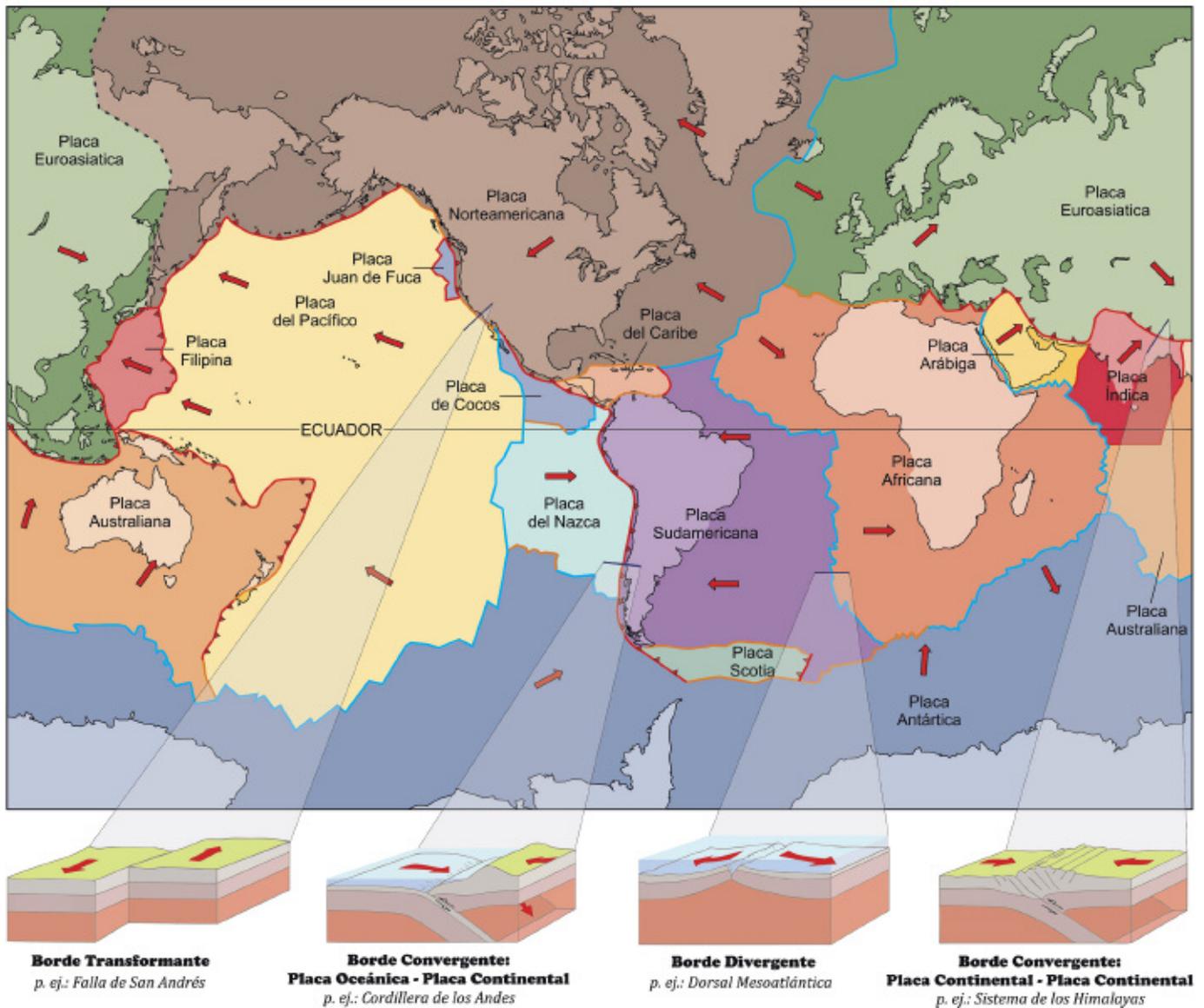
3 capas concéntricas, como las de una cebolla, de composiciones diferentes: corteza, manto y núcleo (Figura 1). La corteza es la capa más externa y delgada cuyo espesor varía entre 3 kilómetros en los océanos y 70 kilómetros en algunas cordilleras montañosas como los Andes o el Himalaya. Esta capa será el destino de nuestro viaje. El manto es una capa de roca sólida, que se encuentra inmediatamente por debajo de la corteza y se extiende hasta una profundidad aproximada de 2.900 kilómetros. Finalmente se encuentra el núcleo, una esfera rica en hierro con un radio de 3.486 kilómetros.

La zona más externa del manto, junto con la corteza forman una capa rígida que se denomina litósfera (Figura 1), que significa esfera de roca, la cual se encuentra dividida en pedazos o placas. Dichas placas se denominan placas tectónicas y se ensamblan como un rompecabezas para cubrir toda la superficie terrestre (Figura 2). Tal



**Figura 1**

Capas internas de la Tierra.  
Modificada de Wikimedia (ver link en Referencias).



**Nuestro planeta se encuentra formado por 3 capas concéntricas, como las de una cebolla, de composiciones diferentes: corteza, manto y núcleo**

como un niño inquieto, estas placas se están moviendo constantemente e interactuando entre sí. Cuando dos placas se ponen en contacto puede ocurrir que una se “sumerja” bajo la otra (fenómeno llamado subducción; por ejemplo, la placa de Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana, dando lugar

a la formación de la cordillera de los Andes). Otra posibilidad es que las placas se deslicen lateralmente una respecto de la otra (por ejemplo, la famosa falla de San Andrés en el oeste de Estados Unidos). También pueden moverse en direcciones opuestas, separándose y generando nueva corteza (por ejemplo, la dorsal centro-Atlántica) (Figura 2). Dichas interacciones entre las placas son las responsables de los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, formación de montañas y cordilleras submarinas (ver Cicterránea 1: ¿Se mueven los continentes?).

Los movimientos de las placas tectónicas a lo largo del

**Figura 3**

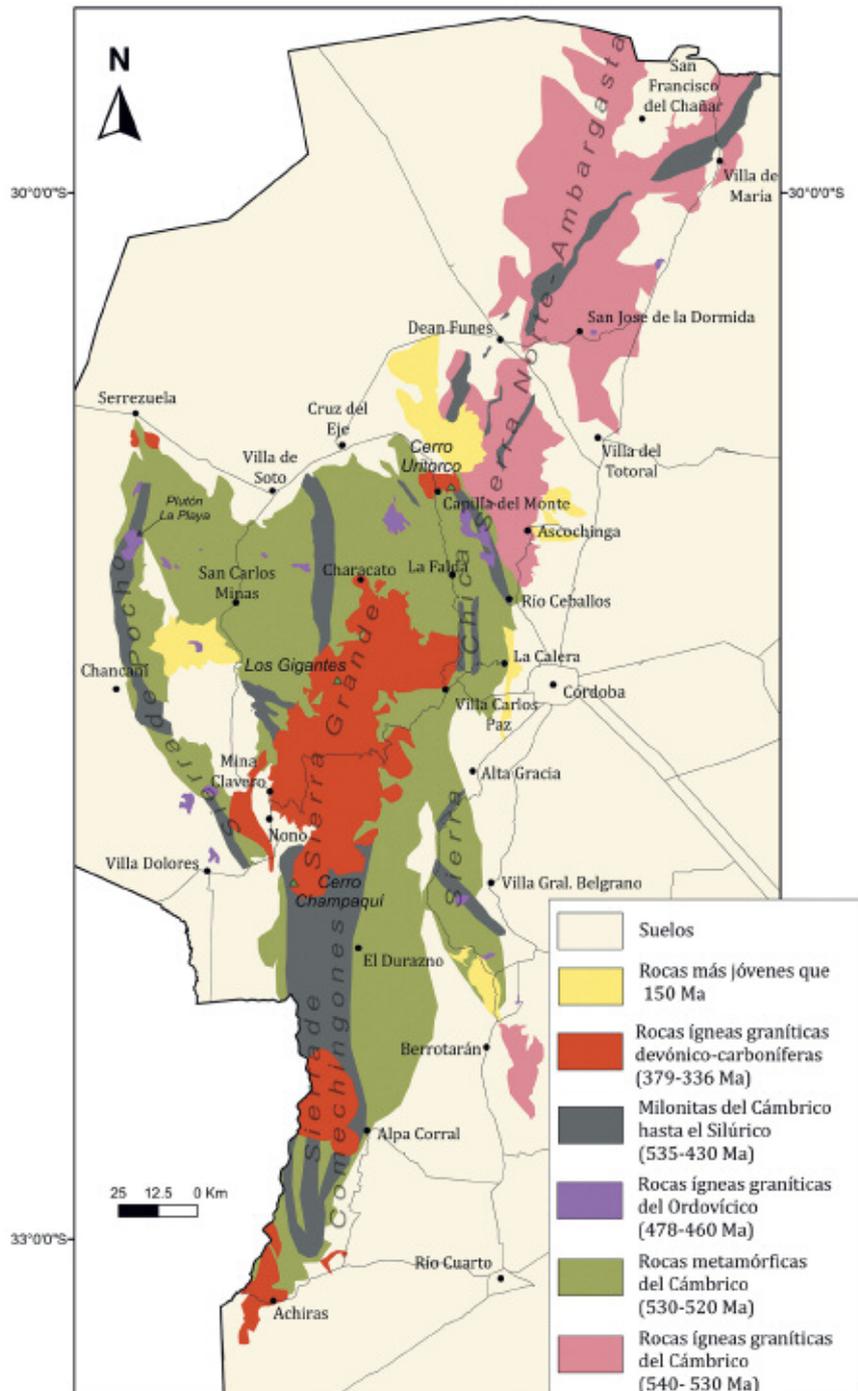
Mapa geológico simplificado de las Sierras de Córdoba

tiempo geológico explican porqué la configuración actual de continentes y océanos no siempre fue de la forma en que la conocemos hoy, sino que por el contrario ha ido cambiando, formando y desmembrando continentes muchas veces. El estudio de estos cambios en la superficie terrestre a lo largo del tiempo se denomina Paleogeografía.

## Las cordobesas más viejas

Aproximadamente el 90% de las rocas de las Sierras de Córdoba se formaron entre los 540 y 330 millones de años (Figura 4). Comencemos nuestro viaje en el tiempo yéndonos 540 millones de años al pasado. Nos encontramos en el período Cámbrico y la geografía es muy diferente a la que conocemos. No existe América, Europa, Asia, África, Oceanía ni Antártida, sino que la mayor parte de las masas continentales se encuentran agrupadas formando un supercontinente llamado Gondwana (Figura 5). Por debajo de dicho supercontinente se sumerge una placa oceánica de manera similar a lo que ocurre actualmente en el margen oeste de Sudamérica. Se desarrolla una cadena montañosa parecida a los Andes, se produce la fusión de rocas en profundidad, y se desencadenan erupciones volcánicas y terremotos.

A unos 10.000 metros de profundidad de esta cadena montañosa se encuentran cavidades gigantes rellenas de magma, llamadas cámaras magmáticas, las cuales “alimentan” a los volcanes. Dichos magmas acaban solidificándose (cris-



**Aproximadamente el 90% de las rocas de las Sierras de Córdoba se formaron entre los 540 y 330 millones de años**

talizando), en profundidad, a una temperatura aproximada de 700°C dando como resultado la formación de rocas ígneas graníticas. Estas rocas podemos observarlas hoy, debido al levantamiento de las Sierras de Córdoba (formadas al mismo tiempo que se levantaban los Andes) y a la erosión, en las

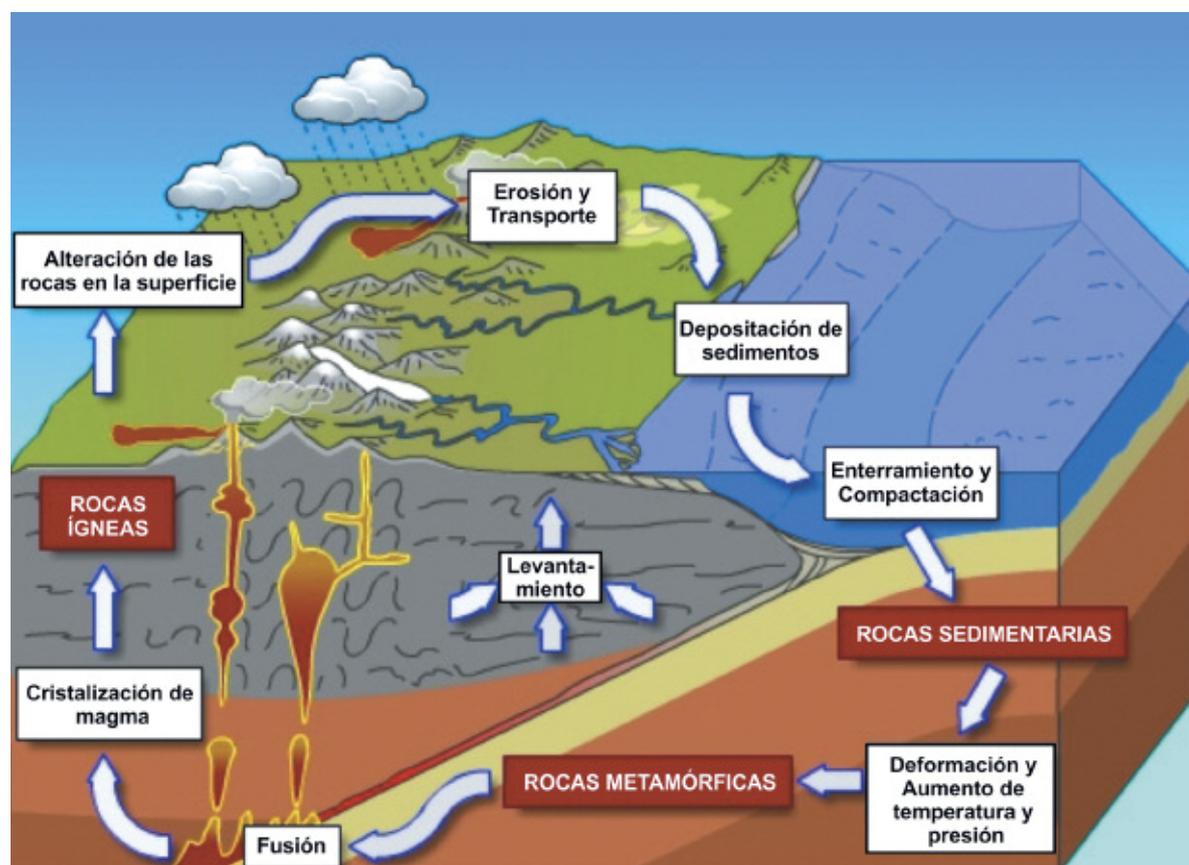
## ¿Qué es una roca?

Una roca es un material sólido de origen natural formado por un conjunto de minerales, aunque ocasionalmente puede estar constituida de un solo mineral. En la naturaleza pueden hallarse tres tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias. Las rocas ígneas son aquellas que se forman por la cristalización (solidificación) de un magma. Las rocas metamórficas se originan por la modificación de otras preexistentes en el interior de la Tierra (pero todavía en estado sólido) mediante calor, presión y/o fluidos químicamente activos. Las rocas sedimentarias pueden generarse por la destrucción de rocas previas en la superficie terrestre, formando sedimentos que se transportan, se depositan y luego son enterrados y compactados (rocas sedimentarias detríticas); o también pueden originarse por procesos químicos o biológicos. Así como existe el ciclo del agua, existe el ciclo de las rocas (Figura 3), en el que un tipo de roca se transforma en otro mediante cambios físico-químicos. De esta manera, cuando hablamos de la **edad de una roca**, hacemos referencia al momento en el cual ocurrió la última transformación.

localidades de Ascochinga, Dean Funes, Villa del Totoral o Villa de Ojo de Agua, entre otras (Figura 4).

Continuando nuestro viaje en el tiempo a bordo del DeLorean DMC-12, avanzamos unos 20 millones de años hacia el presente. En ese momento se produce, debido al constante movimiento de las placas tectónicas, la colisión de un gran bloque continental contra el margen de Gondwana.

Este evento ocurrido hace 520 millones de años provoca un engrosamiento de la corteza terrestre, enterrando rocas a 25 kilómetros de profundidad, donde la temperatura alcanza cerca de 800°C. Por ejemplo, el Himalaya, actual cordillera más alta del mundo, es el resultado de una colisión continental similar, en otro período geológico, entre las placas Euroasiática y la de la India (Figura 2).



Ciclo de las rocas.  
Modificado de London Geological Society Education Committee (ver link en Referencias).

**Figura 4**

A profundidades de 25 kilómetros la presión alcanza los 7 kilobares, presión equivalente a la que sufriría un buzo a 70.000 metros bajo el mar, aunque el récord mundial sea de solo 332 metros y los mares terrestres solo alcancen los 11.000 metros de profundidad. En estas condiciones se produce el “nacimiento” de las que constituyen el tipo más abundante de roca de las Sierras de Córdoba, las rocas metamórficas. Estas rocas son el resultado de la transformación de rocas sedimentarias más antiguas (de aproximadamente 620 millones de años), debido a los cambios físicos que se producen al ser enterradas en la corteza.

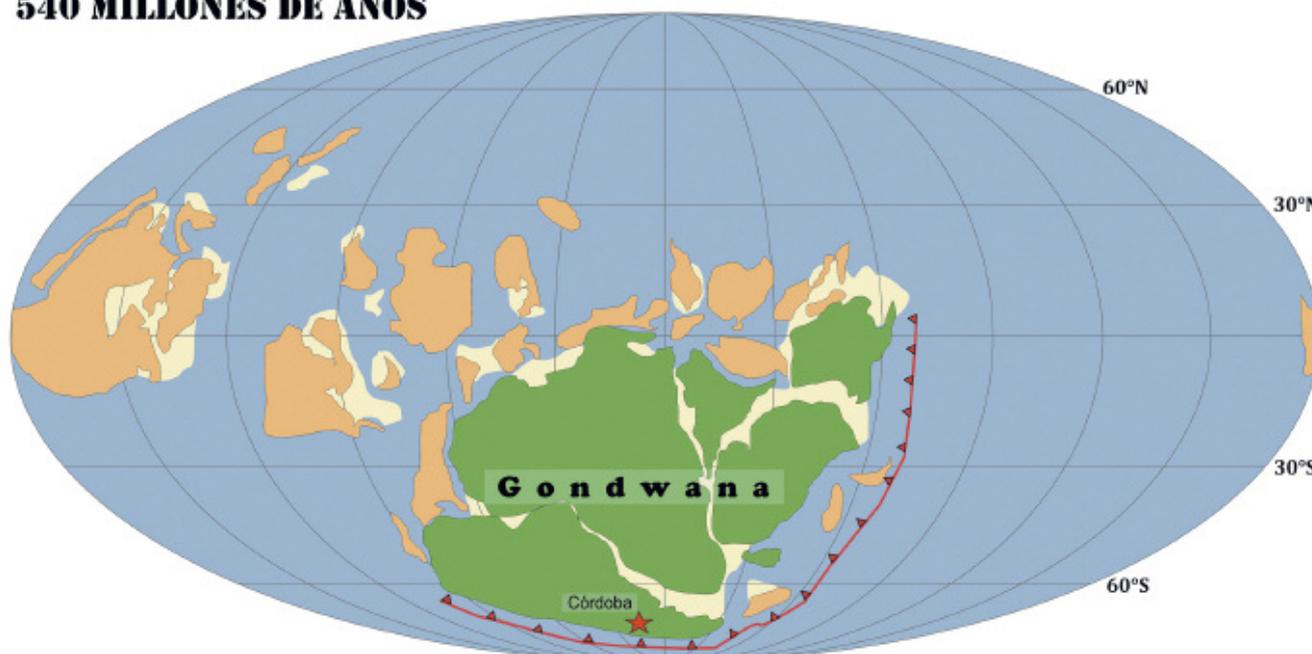
Las rocas metamórficas de Córdoba pueden tener aspectos muy variables de acuerdo a su composición química y estructura, adquiriendo diferentes nombres como mármol, migmatita o gneis, entre otros. Los gneises y migmatitas son los más abundantes en nuestras sierras y podemos observarlos en muchos de los hermosos ríos en los que tantas veces nos

hemos refrescado (Figura 6a). Las migmatitas son rocas que han alcanzado tanta temperatura que han comenzado a “derretirse” (fundirse), dándole un aspecto muy atractivo, hecho que ha llevado a que sean muy comercializadas para revestimientos de edificios o en mesadas domésticas (Figura 6b). El mármol por su lado adquiere una importancia particular dado que es utilizado en la elaboración de cales y cementos para la construcción, además de utilizarse como piedra de construcción (por ejemplo, el Arco de Córdoba o La Cañada), o como mesadas domésticas, entre otros usos (ver Cicterránea 1: Mármoles. Rocas con mucha historia).

## Derritiendo piedras

Siguiendo el viaje a tiempos remotos en nuestra región, luego de la colisión continental del Cámbrico, hace aproximadamente 490 millones de años comenzó un nuevo proceso

### 540 MILLONES DE AÑOS

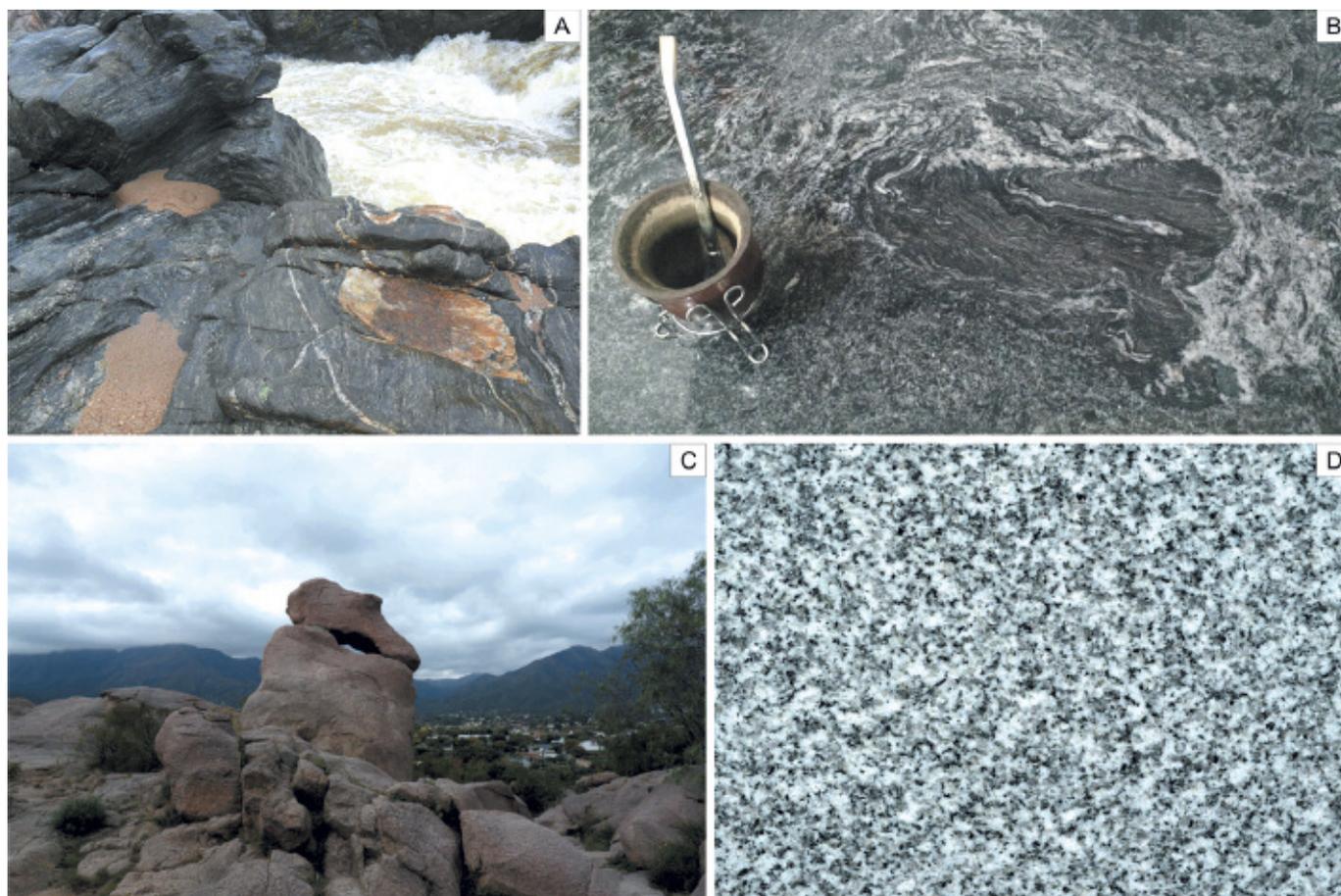


**Figura 5**

Reconstrucción de la paleogeografía para el período Cámbrico. La línea roja marca el antiguo margen de subducción. Modificado de Torsvik y Cocks, 2013.

a) Migmatitas de 520 millones de años a la orilla del río San Antonio, cerca de la localidad de Cuesta Blanca. b) Mesada de migmatita comercialmente llamada “Negro Boreal” o mal llamada “granito Rumi Huasi” dado que no es un granito. c) Geoforma “El Zapato” formada por el granito de Capilla del Monte de 336 millones de años (ver link en Referencias). d) Mesada de granito de 478 millones de años extraída del Plutón La Playa, comercialmente llamado granito Gris Mara (ver link en Referencias).

**Figura 6**



de subducción de placa oceánica por debajo del continente. Este proceso continúa hasta la actualidad y da como último resultado el levantamiento de la cordillera de los Andes. Entre los 480 y 460 millones de años antes del presente (período Ordovícico), se formaron algunos pequeños cuerpos ígneos graníticos (Figura 4), aunque es en el Devónico-Carbonífero (380-330 millones de años) cuando se produce la fusión de volúmenes enormes de roca en la corteza, que junto a magmas provenientes del manto, dan lugar a la formación de gigantescas cámaras magmáticas.

Las rocas que se “derriten” son justamente aquellas que hemos descrito anteriormente: las rocas ígneas cámbricas y ordovícicas, y las rocas metamórficas de 520 millones de años de edad, mostrando otro ejemplo del ciclo de las rocas

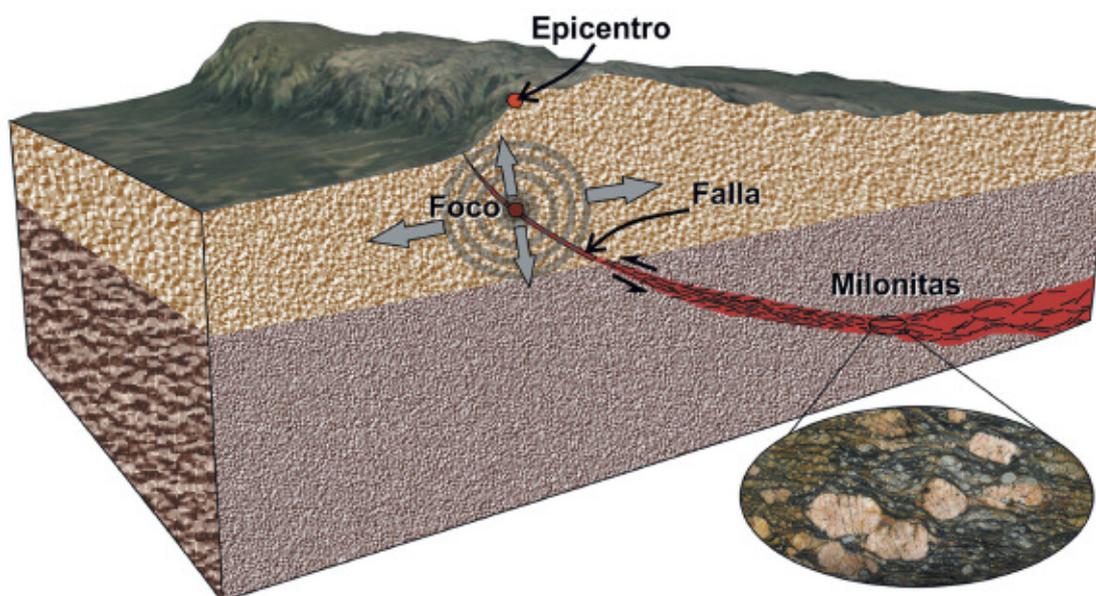
**Muchos de nosotros tenemos en nuestras cocinas una mesada hecha con un trozo de estas cámaras magmáticas, siendo el más conocido el granito gris mara de 478 millones de años, el cual se extrae del Plutón de La Playa**

(Figura 3), en las que un tipo de roca se transforma en otro. Las temperaturas requeridas para fundir estas rocas rondan los 800-900°C y se consiguen a una profundidad aproximada de 20-25 kilómetros.

Una vez que las rocas se han fundido, se transforman en

**Figura 7**

Diagrama mostrando el origen de los terremotos y la formación de las rocas miloníticas. Fotografía tomada de Wikimedia (ver link en Referencias).



un magma capaz de moverse dentro de la corteza. Este magma asciende hasta los 10 kilómetros de profundidad, en donde se inmoviliza, se enfría y termina solidificándose (cristalizando). En Córdoba el registro más imponente de estas cámaras magmáticas es el llamado Batolito de Achala, de aproximadamente 100 kilómetros de largo por 30 kilómetros de ancho. Esta enorme cámara magmática se encuentra representada por los granitos expuestos desde el Cerro Champaquí al sur, pasando por Los Gigantes, hasta la hermosa localidad de Characato al norte (Figura 4). El Cerro Uritorco, en la ciudad de Capilla del Monte, también está formado por granitos de este evento geológico, al igual que la famosa geoforma de “El Zapato” (Figura 6c).

Muchos de nosotros tenemos en nuestras cocinas una mesada hecha con un trozo de estas cámaras magmáticas, siendo el más conocido el granito Gris Mara de 478 millones de años, el cual se extrae del Plutón de La Playa (Figura 4 y 6d).

## Terremotos profundos

Llegando ya al final de nuestro viaje, puede que hayas notado en el mapa de las Sierras de Córdoba (Figura 4) que abundan unas rocas que no hemos mencionado aún, las denominadas milonitas. No las hemos tratado hasta ahora debido a que ellas se han desarrollado en varios períodos geológicos.

Cuando se somete una gran masa de roca a esfuerzos (de compresión o tensión, por ejemplo, la misma se puede romper por un plano, provocando que un bloque se deslice respecto del otro. Esto da como resultado un terremoto en la superficie terrestre (Figura 7). El plano que separa ambos bloques se denomina falla y se transforma, en profundidad, en una zona o faja debido a un cambio en el comportamiento mecánico de las rocas por el aumento de la temperatura y la presión. En dichas zonas o fajas es donde se forman las milonitas. Estas zonas de deformación pueden afectar a cualquier tipo de roca (granito, migmatita, etc) y por ende pueden tener aspectos muy variables.

**La próxima vez que vayas al río, a subir un cerro, o simplemente a dar un paseo por nuestras hermosas sierras podrás recordar este viaje e imaginar que estás caminando por una cámara magmática, o por las raíces de una gran cordillera montañosa a profundidades de 25 kilómetros y temperaturas de 800°C**

Las milonitas de las Sierras de Córdoba pueden tener edades que van desde los 535 (Cámbrico) a los 430 millones de años (Silúrico) debido a que el margen de Gondwana ha sido el lugar de múltiples eventos de deformación a lo largo del tiempo geológico. Podemos observar muy buenos ejemplos de milonitas en el pintoresco camino de Los Túneles, que atraviesa la Sierra de Pocho, entre las localidades de Tanninga

## G Glosario

**Granito o roca granítica:** roca ígnea plutónica (enfriada y cristalizada en profundidad) compuesta fundamentalmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y micas.

**Magma:** material completa o parcialmente fundido compuesto de una fracción líquida, una sólida (cristales) y una gaseosa, capaz de moverse en el interior de la corteza terrestre.

**Migmatita:** roca metamórfica con algunas características de roca ígnea debido a que se encuentra parcialmente fundida.

**Batolito:** gran masa de rocas ígneas que se forma cuando el magma se emplaza en profundidad, cristaliza y posteriormente queda expuesto como consecuencia de la erosión. Generalmente es la suma de muchos plutones.

**Plutón:** estructura que se produce como consecuencia del emplazamiento y cristalización del magma bajo la superficie terrestre.

y Chancaní, o sobre el camino al cerro Los linderos pasando El Durazno, en la Sierra Grande (Figura 4). Estas rocas adquieren un aspecto de “ojos” muy particular, lo que las hace atractivas y es por esto que se utilizan mucho como roca de ornamentación (Figura 7).

De esta manera concluye nuestro viaje hacia el interior terrestre y en el tiempo geológico por las Sierras de Córdoba. La próxima vez que vayas al río, a subir un cerro, o simplemente a dar un paseo por nuestras hermosas sierras podrás recordar este viaje e imaginar que estás caminando por una cámara magmática, o por las raíces de una gran cordillera montañosa a profundidades de 25 kilómetros y temperaturas de 800°C. Esto último hará parecer poco los 38°C del verano cordobés.

## L Lecturas sugeridas

Baldo, E.G., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Casquet, C., Verdecchia, S.O. y Murra, J. 2014. Geocronología de las Sierras de Córdoba: revisión y comentarios. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Editores Roberto Martino y Alina Gueschi: 845–870.

<https://www.infobae.com/salud/ciencia/2017/06/27/el-mar-de-cordoba-y-otras-sorprendentes-historias-de-la-geologia-argentina/>

Dirección de Geología de la Provincia de Córdoba, 2016. Rocas ornamentales de la Provincia de Córdoba.

Tarback, E.J. y Lutgens, F.K., 2013. Ciencias de la Tierra (10Ed). Una introducción a la geología física. Ed. Pearson, 880 p.

## Referencias de figuras

**Figura 1:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Earth\\_cutaway\\_schematic-en.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Earth_cutaway_schematic-en.svg)

**Figura 2:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica\\_de\\_placas](https://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas)

**Figura 4:** <https://www.geolsoc.org.uk/ks3/gsl/education/resources/rockcycle.html>

**Figura 6:** [c\) https://otroimanparalanevera.wordpress.com/2016/06/15/sierra-de-cordoba](https://otroimanparalanevera.wordpress.com/2016/06/15/sierra-de-cordoba). [d\) http://www.canteras-del-mundo.com/productodetalles/gris-mara/](http://www.canteras-del-mundo.com/productodetalles/gris-mara/)

**Figura 7:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Augen\\_mylonite.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Augen_mylonite.jpg)



Micrografía de *Rivularia halophila*, cianobacteria capaz de tolerar y bioacumular el Arsénico. Aislada de la Laguna Negra, Catamarca, Argentina. La imagen fue tomada con un microscopio de epifluorescencia. Escala: 20  $\mu$ m. **Autora: Eliana M. Soto Rueda.**



## FICHA GEOLÓGICA

### MINERALES: GRUPO DEL GRANATE

FOTO: Fernando Colombo



**Composición y sistema de cristalización:** los granates cristalizan en el sistema cúbico. Son silicatos (nesosilicatos) que tienen una fórmula general  $X_3Y_2(SiO_4)_3$ . Lo más frecuente es que el sitio X esté ocupado por los cationes divalentes calcio ( $Ca^{2+}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), manganeso ( $Mn^{2+}$ ) y/o hierro ( $Fe^{2+}$ ), mientras que el sitio Y aloja a los cationes trivalentes aluminio ( $Al^{3+}$ ), hierro ( $Fe^{3+}$ ) y/o cromo ( $Cr^{3+}$ ). Las especies más frecuentes dentro de este grupo son la spessartina ( $Mn^{2+}Al^{3+}$ ), almandino ( $Fe^{2+}Al^{3+}$ ), piropro ( $Mg^{2+}Al^{3+}$ ), uvarovita ( $Ca^{2+}Cr^{3+}$ ), andradita ( $Ca^{2+}Fe^{3+}$ ) y grosularia ( $Ca^{2+}Al^{3+}$ ).

**Algunas propiedades físicas:** generalmente presentan diversos tonos de rojo, aunque también se conocen granates anaranjados, amarillos, verdes, púrpuras, marrones, negros, rosados e incluso casi incoloros. Excepcionalmente pueden presentar color azul. Algunos granates pueden mostrar cambios marcados de color cuando son iluminados con luz artificial o solar. El granate tiene una dureza de 6,5 a 7,5 en la escala de Mohs, carece de exfoliación y posee fractura irregular.

**Importancia geológica:** el granate es un mineral muy útil para interpretar la génesis de varias rocas ígneas y determinar las condiciones de presión y temperatura a las que fueron sometidas ciertas rocas metamórficas.

**Yacimientos en Córdoba:** están distribuidos en diferentes rocas. Se encuentran presentes en rocas metamórficas (gneises y migmatitas) de las Sierras Chicas, Grandes y de Pocho. También se encuentran en skarns (zona de La Falda-Valle Hermoso y San Marcos Sierra, por ejemplo). Aparecen además en pegmatitas, y raramente en granitos (Characato). Por su elevada resistencia se concentran en arenas derivadas de estas rocas.

**Usos comerciales:** principalmente en joyería como piedra semipreciosa. Además se usa como abrasivo, dado que es más duro y tenaz que el cuarzo.

**¿Dónde encontrarla?:** es un mineral que se encuentra en muchas colecciones. En Córdoba Capital se exhibe en el Museo Provincial de Ciencias Naturales "Dr. Arturo Umberto Illia" y en el Museo de Mineralogía y Geología "Dr. A. Stelzner" de la FCEFyN, UNC.

## FICHA PALEONTOLÓGICA

### MAMÍFERO: MEGATERIO

DIBUJO: H. Santiago Druetta



**Género:** *Megatherium*, en griego, "gran bestia"

**Características particulares:** eran perezosos terrestres (mamíferos) que llegaron a medir 6 m de altura cuando se alzaban sobre sus patas traseras; la cabeza era relativamente pequeña, las patas delanteras algo más largas y robustas que las traseras, y tenían grandes garras. Presentaban huesos más robustos que los de un elefante y un cuerpo muy voluminoso. Carecían de dientes y colmillos, salvo por 4 molares con forma prismática, a cada lado de ambos maxilares, que eran de crecimiento continuo y no tenían esmalte. Con ellos trituraban ramas, hojas, frutos y flores, pero también utilizaban las uñas para escarbar la tierra en busca de raíces y tubérculos. Su enorme cuerpo estaba cubierto de un espeso pelaje cuyo color variaba según la edad y el sexo. Por lo que se deduce de su tamaño y hábitos solitarios, no era arborícola y se alimentaba manteniéndose sobre sus patas traseras, aunque solía llevar un andar cuadrúpedo apoyándose en los nudillos. A pesar de su apariencia pasiva, era sumamente agresivo, reaccionando ante cualquier especie que le molestara. Las crías al nacer pesaban aproximadamente 20 kilogramos, y eran alimentados con leche materna.

**Status:** habitaron en América del Sur desde comienzos del Plioceno hasta el Holoceno (2.5 millones de años - 8000 años antes del presente).

**Distribución geográfica:** Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Brasil, Paraguay y Uruguay.

**Hábitat y modo de vida:** habitaban ambientes de bosques y praderas de las áreas levemente boscosas de América del Sur, donde era una especie endémica. *Megatherium* estaba adaptado a hábitats de clima templado, árido o semiárido. Este gran perezoso terrestre pudo haber vivido en grupos, pero también pudo haber vivido de manera solitaria en cavernas.

**Observaciones:** el primer espécimen fósil de megaterio fue descubierto en 1788 por Fray Manuel Torres, sobre la ribera del río Luján en Argentina, en lo que hoy es la Provincia de Buenos Aires. El fósil fue enviado al Museo Nacional de Ciencias Naturales en Madrid al año siguiente y seguidamente estudiado por Cuvier, quien le asignó el nombre científico de *Megatherium americanum*.

**Lugares de repositorio:** Museo Provincial de Ciencias Naturales Dr. Arturo Umberto Illia (Córdoba), Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN-CONICET), Museo de La Plata (Argentina).



# ECOLADRILLOS

## Cuidando el planeta desde casa

Por Gisela Morán

### ¿Serías capaz de imaginarte un mundo sin plástico?

Resulta difícil, dado que este material ha hecho nuestra vida más fácil, limpia y ordenada. Hay plástico prácticamente en cada lugar que miramos: envases de todo tipo, ropa, autos, muebles, útiles escolares, etc. Y es que el plástico tiene sobrados atributos: propiedades aislantes (térmica y eléctrica), resistencia a la corrosión y una muy importante, y que le da su nombre: se puede moldear. Esto ha generado que sea el material favorito para usarse prácticamente en todo lo necesario para la vida moderna.

Sin embargo, la naturaleza no puede asimilarlo con facilidad, y al ser un material fabricado para ser duradero, su vida útil es muy larga (puede llegar a los 500 años).

De todo el plástico generado desde 1950, se ha reciclado y/o incinerado solo un 20% y en la actualidad, se estima que cada año llegan al mar 8 millones de toneladas de plásticos. Si este ritmo continúa, se calcula que para el año 2050 habrá más plásticos que peces en el mar.

### Entonces, ¿qué podemos hacer para aportar nuestro granito de arena?

Mientras reclamamos a los grandes líderes mundiales por políticas de acción contra la problemática ambiental, hay pequeños cambios que podemos incluir en nuestra vida diaria. Acciones como limitar el nivel de consumo de productos que no necesitamos, intentar elegir aquellos con menor cantidad de envoltorios plásticos y aumentar el uso de bolsas reutilizables al hacer las compras, son bienvenidas a la hora de reducir nuestro impacto en el ambiente. Sin embargo, a aquellos plásticos que lleguen irremediamente a nuestras manos, ya les podemos dar un destino: los **Ecoladrillos**. Consiste en botellas plásticas rellenas con cualquier tipo de plásticos y papel aluminio. Se pueden armar en casa, sin ningún costo ni esfuerzo, para luego ser convertidos en un material de construcción ecológico, de bajo costo y alta calidad. En la actualidad existen muchas personas utilizándolos, solo es cuestión de hacer una búsqueda rápida en las redes sociales y nos podemos encontrar con numerosos proyectos: casas ecológicas, casitas para perros callejeros, fabricación de muebles, centros comunitarios, etc.

### ¿Cómo construirlos?

- Lavar, secar la botella y guardar la tapa.
- Introducir en la botella solo residuos no reciclables y no peligrosos. Éstos deben estar secos y limpios. Es aconsejable utilizar un palo, o vara para compactar bien el material, de manera tal que el Ecoladrillo quede bien duro y permita la entrada de más residuos plásticos.
- Una vez llena y con el material bien compactado, tapar la botella. Para asegurarse que esté bien hecho, se puede apretar y si la botella se deforma, es señal que se pueden in-

corporar más residuos.

### ¿Qué pueden contener los ecoladrillos?

Cualquier envoltorio plástico (de galletas, arroz, fideos, etc), sachets, sobres de jugo, blisters de medicamentos, máquinas de afeitar sin cuchillas, cepillos de dientes viejos.

### ¿Qué NO pueden contener los ecoladrillos?

Residuos orgánicos y pilas.

**Y ahora, ¡manos a la obra!**

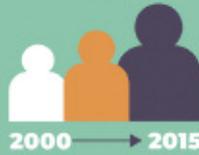


Foto: Gisela Morán

# OBJETIVOS para un mundo MEJOR



En el año 2000, líderes de 189 países se reunieron en asamblea de las Naciones Unidas, donde se aprobó la **Declaración del Milenio** en la que se establecía cómo tenía que ser el mundo del siglo XXI: más pacífico, próspero y justo



Para conseguirlo, se propusieron los **8 Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)**, que debían ser alcanzados en 2015, los cuales abordaban los grandes retos de la humanidad



Dentro de cada uno se establecieron indicadores y parámetros cuantificables para medir los logros conseguidos

## Y, ¿Se consiguieron los 8 ODM?

En todos los objetivos se ha avanzado, pero ninguno se ha conseguido plenamente.

1. ERRADICAR LA POBREZA EXTREMA Y EL HAMBRE

2. LOGRAR LA ENSEÑANZA PRIMARIA UNIVERSAL

3. PROMOVER LA IGUALDAD DE GÉNERO

4. REDUCIR LA MORTALIDAD DE NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS



5. MEJORAR LA SALUD MATERNA

6. COMBATIR EL VIH, PALUDISMO Y OTRAS ENFERMEDADES

7. GARANTIZAR LA SOSTENIBILIDAD DEL MEDIO AMBIENTE

8. FOMENTAR UNA ALIANZA MUNDIAL PARA EL DESARROLLO

Este hecho es el punto de partida para fijar los nuevos...

## OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los 17 ODS retoman las lecciones aprendidas con los ODM integrando todas las dimensiones del desarrollo sostenible: la **económica, la ambiental y la social**



## ¿QUÉ NOS FALTA?



Que la ciudadanía los conozca, se apropie de ellos y exija a sus gobiernos que se integren como prioridad en sus políticas



Este número de Cicterránea fue financiado por:



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

---

### Instituciones receptoras



MUSEO DE MINERALOGÍA Y GEOLOGÍA "Dr. A. STELZNER"  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

