



CICTERRÁNEA

- Revista de Comunicación de las Ciencias de la Tierra -



ISSN 2618-2122

Yacimientos de Litio

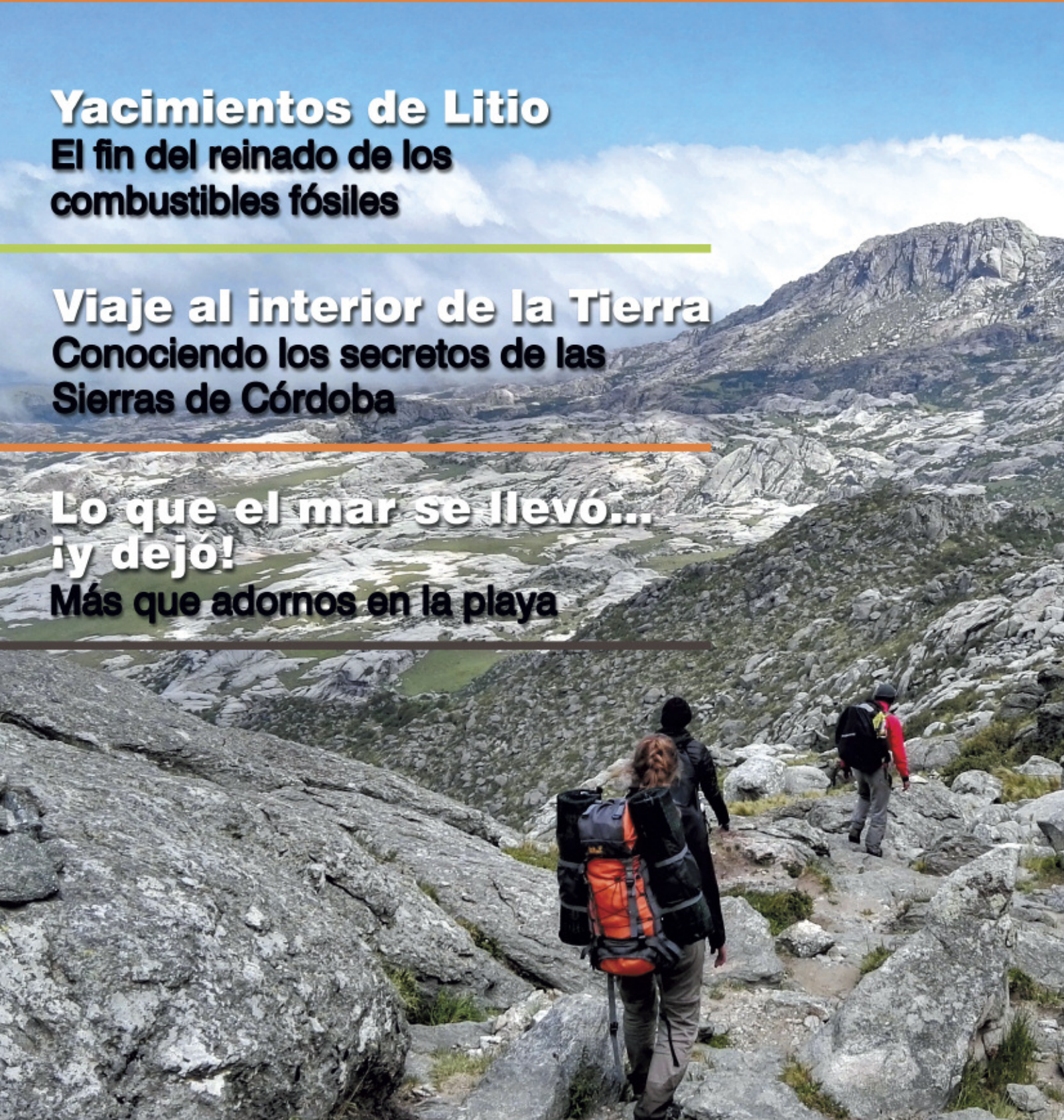
El fin del reinado de los combustibles fósiles

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



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
Mgtr. 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
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
Av. Vélez Sársfield 1611,
X5016GCB Córdoba, Argentina
Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200
www.cicterra.conicet.unc.edu.ar

El 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

An aerial photograph of a vast, flat, arid landscape, likely a salt flat. A narrow, winding channel of bright turquoise water runs through the center of the flat, contrasting sharply with the light-colored, cracked earth. The horizon is low, showing distant mountains under a cloudy, overcast sky. The overall scene is desolate and emphasizes the natural environment where lithium is often extracted.

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.

Hoy 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.

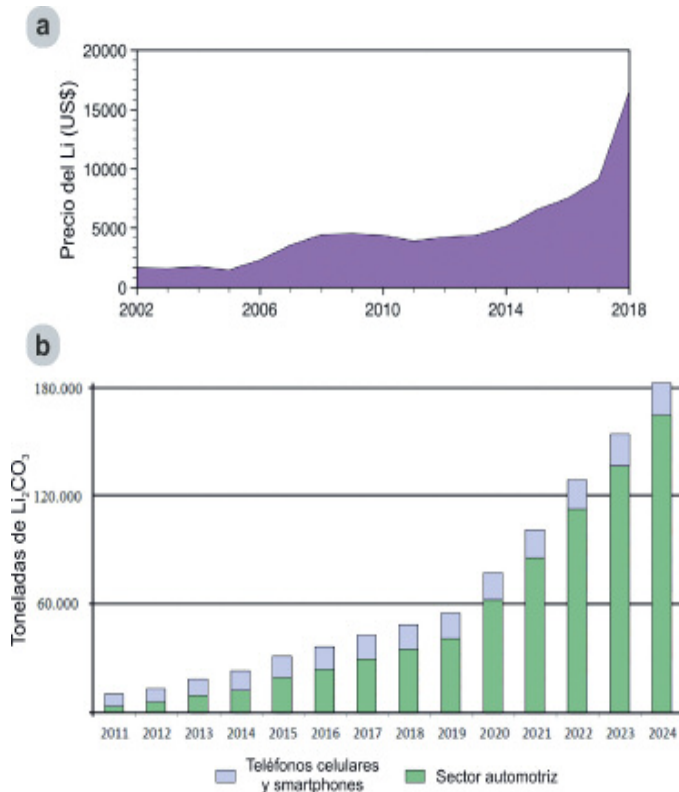


Figura 1. (a) Evolución del precio del litio (en dólares estadounidenses US\$) en el período 2002-2018. **(b)** Evolución de la demanda del litio (toneladas de carbonato de litio) para automóviles y artículos electrónicos en el período 2011-2024. (a partir de datos de Metalary, 2018: <https://www.metalary.com/lithium-price/>)

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



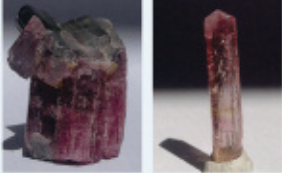


Mineral	Fórmula química	Contenido de Li (%)	
Espodumeno	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	3,7	
Ambligonita	$\text{LiAl}[\text{PO}_4][\text{F},\text{OH}]$	3,4-4,7	
Elbaíta	$\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	1,89	
Petalita	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$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

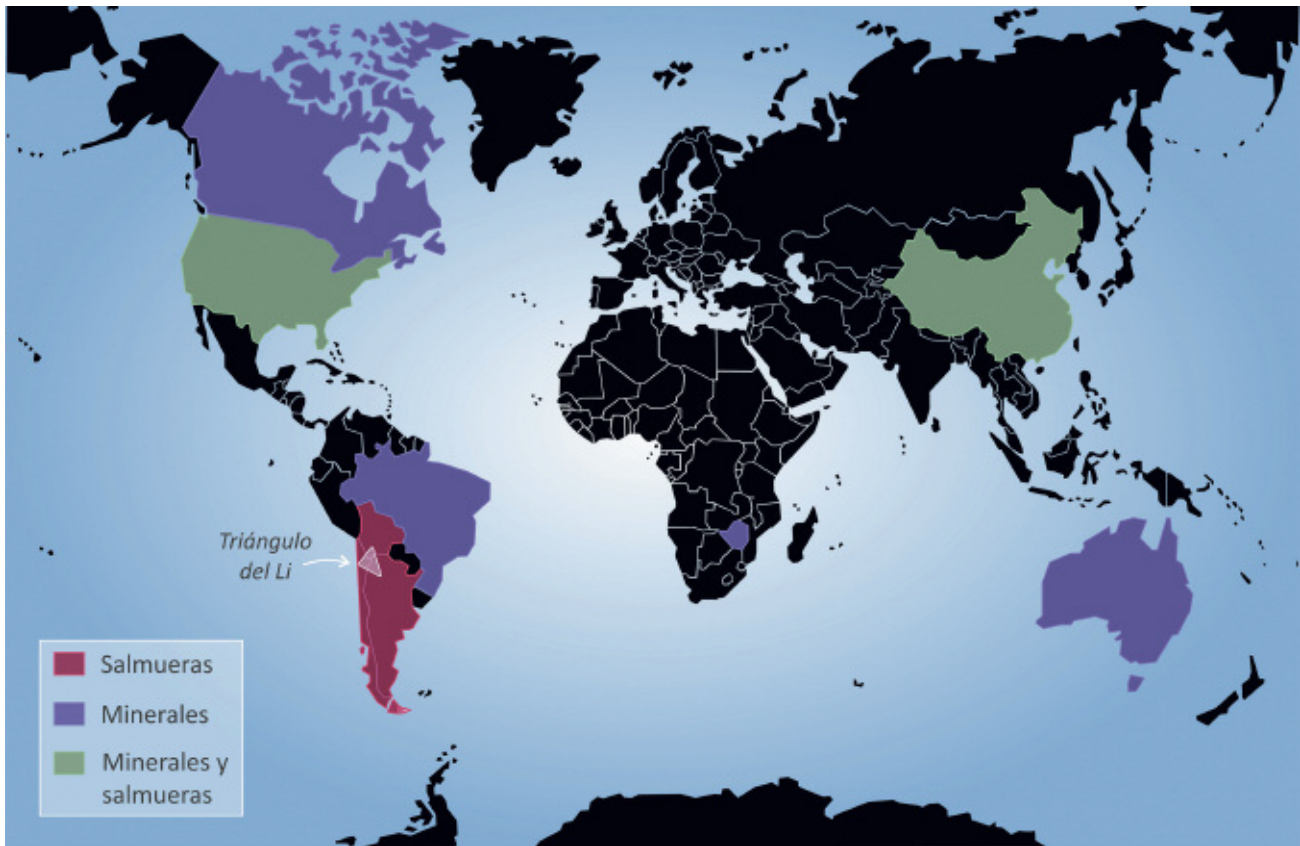


Figura 2. Distribución de los principales yacimientos de litio en explotación en el mundo.

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 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 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

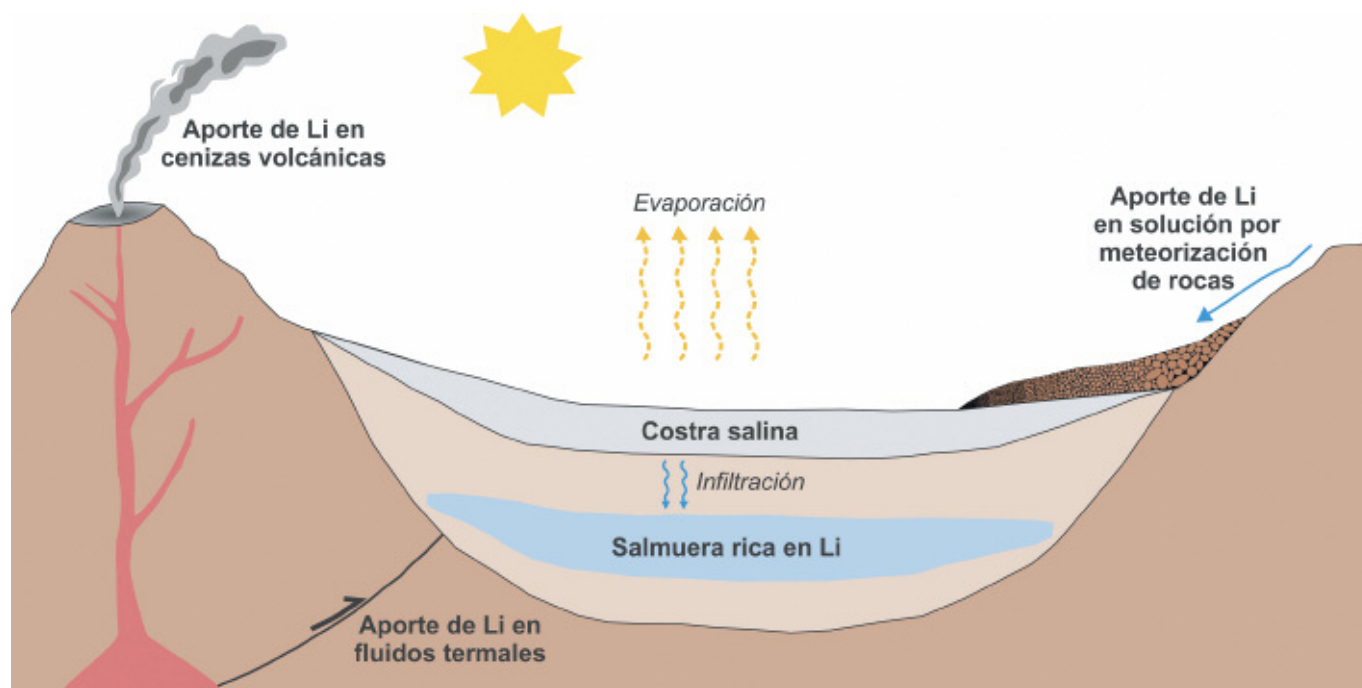


Figura 3. Condiciones necesarias para la formación de salmueras litíferas en ambientes salinos.

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-

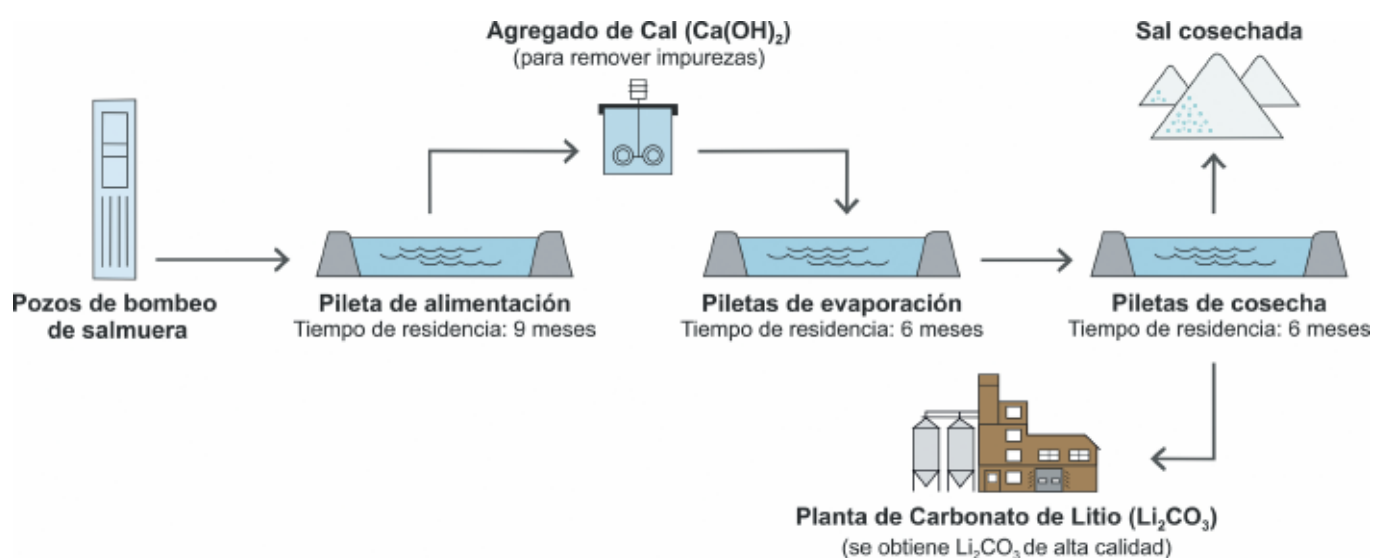


Figura 4. Esquema de extracción de litio desde las salmueras litíferas de la Puna.

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.

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?

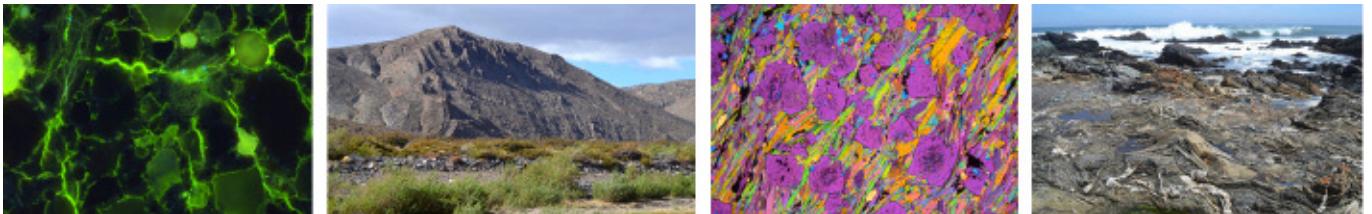
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas vinculados con las Ciencias de la Tierra en general, incluyendo Geología Endógena y Exógena, Geoquímica, Geofísica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión, comunicación pública de 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

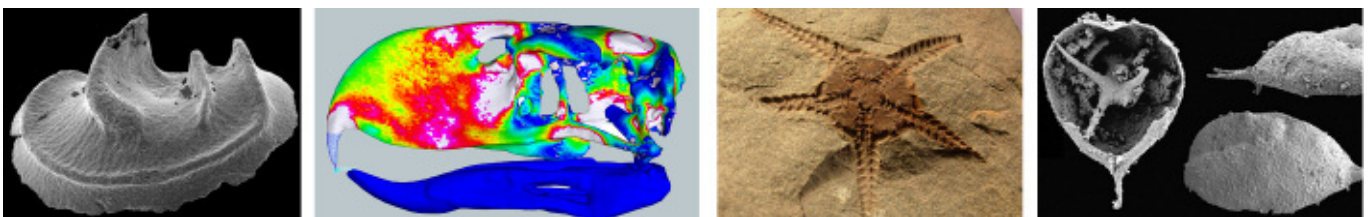
Dinámica de la litósfera – astenósfera



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.