CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy

Volumen 22 número 128 agosto - septiembre 2012

Ejemplar en la Argentina $29

MINERÍA a cielo abierto

Historias de metales

Ciudades efímeras

La biosfera primitiva

ISSN: 0327-1218

Suscríbase al conocimiento

CIENCIAHOY

Si lo apasiona la ciencia
y el descubrimiento...
no puede dejar pasar
esta oportunidad

Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A
(C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330

Suscríbase por internet en el sitio
http://www.cienciahoy.org.ar/suscripcion/index.php
usando la opción Dinero Mail *(solo Argentina)*

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de la revista puede reproducirse, por ningún método, sin autorización escrita de los editores, los que normalmente la concederán con liberalidad, en particular para propósitos sin fines de lucro, con la condición de citar la fuente.

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A
(C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330
Correo electrónico: *pab@retina.ar*
http://www.cienciahoy.org.ar

Editores responsables

Federico Coluccio Leskow
Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Omar Coso
Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias, UBA-Conicet

María Luz Endere
Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Alejandro Gangui
Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

Aníbal Gattone
UNSAM

José X Martini
Asociación Ciencia Hoy

Paulina E Nabel
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

Pablo Enrique Penchaszadeh
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

María Semmartin
Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Susana Villavicencio
Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, UBA

Lo expresado por autores, corresponsales y avisadores no necesariamente refleja el pensamiento del comité editorial, ni significa el respaldo de CIENCIA HOY a opiniones o productos.

Consejo científico

Coordinadora: Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), Jorge Crisci (FCNYM, UNLP), Roberto Fernández Prini (FCEYN, UBA), Stella Maris González Cappa (FMED, UBA), Francis Korn (Instituto y Universidad Di Tella), Juan A Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo Míguez (IEHS, UNCPBA), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), Marcelo Montserrat (Academia Nacional de Ciencias), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Jacques Parraud (UVT, INTA), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP), Eduardo H Rapoport (Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, UNLP)

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

Administración: Adelina Blanco

Representante en Bariloche
Edgardo Ángel Bisogni (Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche);
Av. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400)
San Carlos de Bariloche, Prov. de Río Negro

Representante en Mar del Plata
Raúl Fernández (Facultad de Ciencias de la Salud y Servicio Social, UNMDP)
Saavedra 3969 (7600) Mar del Plata,
Buenos Aires. Tel: (0223)474-7332
Correo electrónico: *raferna@mdp.edu.ar*

Corresponsal en Río de Janeiro
Revista Ciência Hoje
Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27,
CEP 22290-140, Río de Janeiro - RJ - Brasil
Teléfono: (55) 21-295-4846
Fax: (55) 21-541-5342
Correo electrónico: *cienciahoje@cienciahoje.org.br*

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $ 170
EXTRANJERO: 6 números, US$ 40 + envío

Artículos digitalizados: $15

Costo de envío
PAÍSES LIMÍTROFES DE LA ARGENTINA: US$ 33
RESTO DE AMÉRICA: US$ 54
RESTO DEL MUNDO: US$ 60
(American Express - Visa)

Distribución

En Ciudad de Buenos Aires y Gran Buenos Aires:
Rubbo SA
Río Limay 1600 (C1278ABH)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Teléfono: (011) 4303-6283/85

En el resto de la Argentina:
Distribuidora Interplazas SA
Pte. Luis Sáenz Peña 1836
(C1135ABN) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISSN 0327-1218
N° de Registro DNDA: 5025233

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Callao 132, E.P. (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4372-0117
Correo electrónico: *estudiomassolo@fibertel.com.ar*

Impresión
Latingráfica SRL
Rocamora 4161 (C1184ABC)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY
Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: **(a)** divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; **(b)** promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; **(c)** estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; **(d)** editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; **(e)** promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; **(f)** colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

COMISIÓN DIRECTIVA
Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

La revista Ciencia Hoy se publica merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe –ni ha recibido en toda la historia de la revista– remuneración económica. Fundada en 1988.

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Agosto -septiembre 2012
Volumen 22 - Número 128

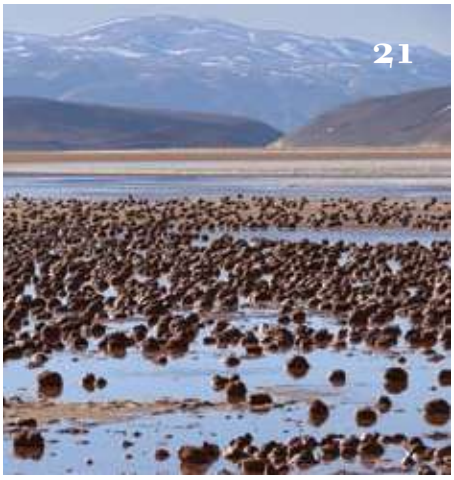
EDITORIAL

4 **UNA ACTIVIDAD CONFLICTIVA: LA MINERÍA**

ARTÍCULO

6 **MINERÍA A CIELO ABIERTO**
Raúl R Fernández

La minería a cielo abierto genera encendidos debates entre sus detractores y sus defensores. Este artículo procura aclarar en qué consiste y en qué circunstancias se decide por aplicar esta modalidad de extracción para explotar yacimientos minerales.



ARTÍCULO

14 **HISTORIAS DE METALES, DE AMOR, DE LOCURA Y DE MUERTE**
Alejandro C Olivieri

Los primeros metales de los que se sirvió la humanidad fueron seis que se encuentran en la naturaleza como elementos, sin formar compuestos con otros elementos. Son ellos cobre, estaño, plata, oro, plomo y mercurio. Ello supuestamente se debe a que en tiempos remotos no se tenían los conocimientos que permitieran extraer el metal de un compuesto. Pero el uso del hierro data de antiguo, y solo aparece naturalmente en la Tierra en forma de óxidos o compuestos. ¿Qué explica que se haya podido usarlo ampliamente hace no menos de dos milenios?

21 **LA BIOSFERA PRIMITIVA, LA TIERRA ACTUAL Y VIDA EXTRATERRESTRE**
Fernando J Gómez

Los esfuerzos por descubrir cómo se habría originado la vida en la Tierra, que partieron de considerar las características del planeta cuando aparecieron los primeros microorganismos hace unos 3500 millones de años, llevaron a advertir semejanzas entre esa Tierra primitiva y planetas como Marte. También dirigieron la atención a ambientes como las lagunas altoandinas del noroeste argentino, en las que se ha encontrado una fauna microbiana capaz de vivir en parecidas condiciones extremas.

EL PASADO EN IMÁGENES

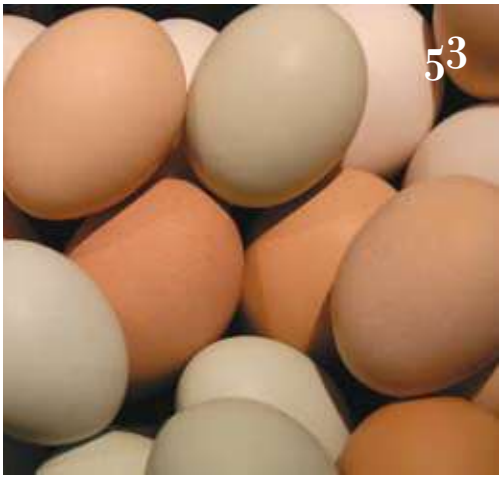
28 **EL CABLECARRIL DE CHILECITO A LA MEJICANA**
Fotografías de Max Cooper

Entre 1903 y 1905, un joven técnico de los ferrocarriles británicos nacido en Montevideo, llamado Max Cooper, trabajó en el montaje de un cablecarril instalado en La Rioja para transportar mineral de una mina en la sierra de Famatina a la terminal ferroviaria de Chilecito. Por interés personal, fotografió las obras. Sus descendientes conservaron unas trescientas imágenes que tomó, de las que esta sección de la revista presenta una selección.

ARTÍCULO

40 **SAN ANTONIO DEL NUEVO MUNDO Y LAS CIUDADES EFÍMERAS CREADAS POR LA MINERÍA DE PLATA EN LOS ANDES COLONIALES**
Raquel Gil Montero

En el sur del altiplano boliviano, no lejos de donde la frontera de ese país se encuentra con las de Chile y la Argentina, se formó a principios del siglo XVII, y decayó cien años después hasta prácticamente desaparecer, el pueblo de San Antonio del Nuevo Mundo, en el que se asentó población llegada de una amplia zona del virreinato del Perú para trabajar en minas de plata. Su caso es un ejemplo de las consecuencias de la minería en la ocupación del territorio y en la vida de las sociedades indígenas.



CIENCIA EN EL AULA

49 **¿QUÉ ES UN SER VIVO?**
Guadalupe Nogués

Desde antiguo, el pensamiento humano se ha preguntado qué es la vida. Una respuesta a esa pregunta ha sido considerarla una cualidad inherente al que la posee; otra es verla como el producto de una compleja organización de los mismos elementos que componen toda la materia. Hoy la ciencia biológica se inclina por una definición operacional a partir de rasgos observados. Intentar construir esa clase de definición en el aula tiene el enorme mérito de abrir para los alumnos una ventana sobre la índole del método científico y permitir proporcionarles, además de contenidos conceptuales de la ciencia, unas primeras competencias científicas.

CIENCIA Y SOCIEDAD

53 **EL HUEVO: UN ABANICO DE APLICACIONES CULINARIAS**
Mariana Koppmann

Para la mirada científica, las recetas de cocina implican ante todo una serie de transformaciones fisicoquímicas. Entenderlas permite eliminar algunas de las causas que hacen fracasar los mejores intentos culinarios, al tiempo que revela la sabiduría —o superstición— que se esconde detrás de creencias populares como la de evitar que las claras se contaminen con yema para que salgan bien los merengues.

ARTÍCULO

56 **EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS**
Guillermo Cabrera Walsh, Juan Briano y Alba Enrique de Briano

El control biológico de plagas consiste en servirse de organismos seleccionados sobre bases científicas para combatir otros organismos considerados plagas y llevar sus poblaciones a niveles compatibles con la agricultura, la salud pública o la recuperación de ambientes naturales. Es una forma de manipulación de los ecosistemas que busca corregir anomalías provocadas por la actividad humana, en especial la urbanización y la producción industrial, agropecuaria y forestal.

Una actividad conflictiva: la minería

Una mina es un agujero en la tierra con un mentiroso encima.

Afirmación atribuida a Mark Twain, que hacia 1860 fracasó como explorador minero en el oeste norteamericano

No escapará a nuestros lectores el hecho de que en los ambientes políticos, los medios de comunicación y la opinión pública en general la minería ha sido últimamente objeto de controversia, cuando no de conflictos que, en casos, excedieron los marcos del disenso civilizado y tomaron carices violentos.

Esta situación parece tener su origen en dos circunstancias. Por un lado, si bien en la Argentina la minería no ocupó históricamente un lugar preponderante entre las actividades económicas –afirmación que no pretende desconocer su importancia en ciertas zonas o localidades del país–, de unos veinte años a esta parte factores como la transformación de los mercados mundiales de ciertas materias primas (o *commodities*), con subas marcadas de los precios, una mayor apertura de la economía –ahora parcialmente revertida– y condiciones más propicias, tanto en el mundo como en el país, para la inversión externa directa, comenzaron a cambiar aquello de que 'la Argentina no es un país minero' y dieron origen a varias grandes explotaciones, como las de Cerro Vanguardia en Santa Cruz, Veladero en San Juan o Bajo de la Alumbrera en Catamarca, lo mismo que a proyectos en avanzada preparación, como El Pachón en San Juan.

La segunda circunstancia es que, también en los últimos años, se fue generando una creciente conciencia ambientalista y una genuina preocupación por el futuro del planeta. Ello llevó a que se generalizara la constitución de asociaciones civiles y vecinos agrupados en torno de la defensa de muy diversos aspectos del ambiente, desde el paisaje y los recursos naturales, la pureza del aire, las aguas y los suelos hasta la biodiversidad y el patrimonio urbanístico y arquitectónico, para mencionar los más frecuentes.

Ambos grupos de factores se han encontrado con frecuencia en situación de conflicto, que una tercera circunstancia por lo común agrava: la pugna que se suele desencadenar entre diversos interesados en recibir la mayor porción posible de los beneficios monetarios de la actividad, incluidos los varios niveles de gobierno (federal, provincial, municipal), habitantes de las zonas y provincias mineras, proveedores de insumos locales o importados, asociaciones profesionales de técnicos y trabajadores, entidades financieras y, en lugar prominente, los inversores.

El tema merece el esfuerzo de reflexión desinteresada que típicamente tendría que poder radicarse en ámbitos académicos. En ese sentido, tanto este editorial como algunos artículos del presente número de Ciencia Hoy quizá contribuyan a esclarecer las ideas y a difundir información objetiva sobre facetas técnicas y conceptuales de la minería, para encontrar posibles caminos de compromiso entre posiciones de partida con no poca tendencia hacia el fundamentalismo y la intolerancia. Solo inteligentes compromisos permitirán armonizar la sustentabilidad económica de la humanidad con la ambiental del planeta.

Conviene tener presente que el concepto de minería abarca un amplio abanico de actividades cuyo rasgo común es que excavan la tierra para extraer minerales. Estos incluyen metales –cuyas minas son posiblemente las más notorias y aquellas que con mayor frecuencia dan lugar a conflictos–, pero también compuestos no metálicos que van desde grafito y diamante a sal, amianto, yeso, mica, fosfatos y otros, lo mismo que materiales de construcción como arena, piedras diversas (mármoles, granitos, pizarra y otros) y materia prima para fabricar cemento y cal. También suele verse como minería a la extracción de combustibles como petróleo, gas y hulla (el uranio es a

la vez metal y fuente de energía, aunque no por combustión sino por fisión nuclear).

La mayor parte de la minería moderna se caracteriza por tres atributos: (i) es el origen de productos sin los cuales se derrumbarían en todo el mundo las economías y las sociedades actuales (imagine el lector su vida sin esos productos); (ii) requiere explotaciones de gran escala que, en consecuencia, tienen la capacidad de producir alteraciones sustanciales del medio, y (iii) es una actividad tecnológicamente compleja, cuya operación está más allá de una comprensión inmediata e intuitiva por parte del lego.

Si se intenta analizar los beneficios de la minería para la sociedad para compararlos con los costos que ella le ocasiona, resulta claro que el primero de esos atributos –los productos a que da origen– crea los beneficios, mientras que el segundo –las alteraciones del medio– genera los costos que más alarman, es decir, los que no caen directamente sobre la empresa que explota una mina (como lo hacen los salarios y las compras de bienes corrientes y de capital) sino sobre toda la sociedad bajo la forma de alteraciones ambientales y sus consecuencias. Es una situación desafortunada que los beneficios, por su misma ubicuidad en nuestras vidas, se nos han hecho prácticamente invisibles, mientras que no podemos dejar de advertir situaciones de flagrante visibilidad de los costos ambientales, como la a nuestros ojos descomunal alteración del paisaje que causan las gigantescas excavaciones de ciertas minas a cielo abierto.

El tercer atributo indicado dificulta considerablemente el debate público, que necesita tomar en cuenta de manera simultánea múltiples cuestiones técnicas, organizativas, económicas, sociales y ambientales. De ahí que pueda imperar entre el público un ánimo desfavorable a la minería, bien expresado tal vez por la frase humorística del epígrafe. Y que, también, la minería pudo dar lugar a múltiples mitos que exageran por igual sus beneficios y sus costos, pues están basados en información insuficiente o sesgada, muchas veces difundida por grupos de interés o por medios de comunicación que no hicieron el esfuerzo (o no tienen la capacidad) de informarse con cuidado.

Lo último recalca la importancia de la labor de esclarecimiento que le cabe a la comunidad científica y tecnológica, basada en información obtenida de estudios rigurosos, realizados con las salvaguardas metodológicas que permitan aplicar sus conclusiones a casos reales de la escala relevante. Dejamos fuera de la discusión, por no pertenecer al contexto de lo posible, tanto el rechazo absoluto de toda actividad minera como su incondicional aceptación, independientemente de sus consecuencias ambientales y sociales.

En otras palabras, pensamos que la forma de salir del presente estado indeseable de las cosas en la Argentina es estar en condiciones de presentar al público análisis serios y realistas de los costos y beneficios de la actividad, para que las decisiones tengan a la vez racionalidad técnico-económica y participación democrática, y escapen en todo lo posible de ser dirimidas por los juegos de poder y por la presión de intereses. Porque, finalmente, son los ciudadanos quienes deben decidir (en nuestro sistema constitucional, por sus representantes) qué costos están dispuestos a pagar para obtener qué beneficios. Para ello es necesario que conozcan ambos y puedan expresar sus opiniones, y que los políticos reflejen lo anterior en sus decisiones.

Los mitos mencionados dejarían así de serlo y se podrían apreciar en contexto. ¿Las regiones mineras encierran riquezas fabulosas? Eso se puede cuantificar y comparar con las riquezas que encierran otras actividades, como la agricultura o las industrias más modernas. ¿La minería a cielo abierto consume grandes volúmenes de agua? Se puede establecer si hace un uso más o menos eficiente de ella que otros grandes consumidores (cultivos irrigados, urbanizaciones y hasta canchas de golf). Además, el agua casi nunca desaparece sino que se recicla. ¿La minería crea empleo y estimula la economía regional? No es imposible estimar cuánto y qué tipo de empleo, así como los alcances concretos de ese estímulo. ¿Contamina el aire, el suelo y las aguas con productos nocivos al medio natural y a la salud humana? La contaminación no es un concepto absoluto sino relativo, por lo que se establecen límites de tolerancia. Exijamos datos precisos sobre las magnitudes de la contaminación y sobre los niveles admisibles. Por último, ¿destruye el paisaje natural? Esa destrucción se puede comparar con las causadas, por ejemplo, por la agricultura, la industria o la urbanización, y se puede determinar el costo de la reparación paisajística, pues nada impide decidir que esta debe ser parte de los proyectos, de la misma manera que se puede establecer el costo de las tecnologías menos contaminantes y decidir si es adecuado incorporarlas.

Cada una de estas variables tiene diferente peso en las distintas regiones del país, por las particulares condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas y de disponibilidad de agua, y por la diversidad de sus comunidades de flora y fauna y de las poblaciones humanas. Que la minería sea un motor del desarrollo regional, que cree empleos directos e indirectos, que contribuya con impuestos y regalías a las arcas fiscales y que sea imprescindible para que se generen los bienes y servicios demandados por las sociedades actuales no son suficientes argumentos para hacer caso omiso de aquellos costos ambientales y sociales que la gente no quiera pagar. Pero evitar esos costos no es gratuito: significa renunciar a beneficios o destinar a ellos recursos que se podrían emplear para otra cosa.

En abstracto, la minería no es ni buena ni mala. Es, seguramente, un poco de ambas cosas, y es caso por caso como debemos juzgarla. Las proclamas doctrinarias no ayudan; los análisis de situaciones concretas sí, si se realizan con idoneidad técnica, la mente abierta y un sano escepticismo para con los mitos que nos quieren hacer creer quienes tienen intereses en la materia. CH

Rajo abierto de la mina de oro y plata Cerro Vanguardia (provincia de Santa Cruz). En el piso de la excavación puede verse un túnel de acceso a las labores subterráneas.

Raúl Fernández
Instituto de Recursos Minerales, UNLP

Minería a cielo abierto

Breve historia de la minería

Desde su origen, la humanidad empleó los minerales y las rocas para construir utensilios de caza, de defensa, para cobijo y expresiones artísticas. Desde la Edad de Piedra, con su evolución y comprensión de cómo hacer fuego, fue transitando por el uso del cobre, el bronce (aleación de cobre y estaño), el hierro, hasta los materiales más novedosos de nuestra época.

Inicialmente se utilizaron los materiales que se encontraban accesibles sobre la superficie del terreno; luego se fue modificando la forma de extraer los minerales sobre la base del ingenio y los conocimientos que se iban adquiriendo. Un interesante ejemplo se remonta a la descripción que Plinio el Viejo realizara en su *Naturalis Historia* donde detalla una combinación de métodos a cielo abierto y subterráneos para la obtención de oro en Las Médulas (León, España) utilizados durante los siglos I y II d.C. En el siglo XVI se asienta una nueva etapa de la minería, compendiada por Georgius Agricola en su libro *De Re Metalica* publicado en 1556. En esa obra se expusieron los conceptos referidos a las tareas de exploración, extracción, tratamiento de minerales y metalurgia conocidos en esos tiempos, los que fueron utilizados por centurias. Otro salto importante de la actividad minera se dio a comienzos del siglo XX con el desarrollo de nuevas tecnologías mecánicas y de tratamiento de minerales; esto posibilitó que rocas con relativamente bajos contenidos de cobre, cuyo aprovechamiento era antes impensado, pudieran extraerse. La mina Bingham del sudoeste de los Estados Unidos comenzó a explotar minerales de cobre a cielo abierto en 1906 y poco después, en 1915, los hermanos Guggenheim iniciaron operaciones similares en la mina Chuquicamata del norte de Chile; ambas todavía activas.

Los yacimientos minerales

Un *mineral* es una sustancia sólida, natural, de estructura atómica ordenada y con una composición química determinada. Por su parte las *rocas*, que son los constituyentes esenciales de la corteza terrestre, están formadas por un agregado de una o varias especies minerales.

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué es un yacimiento mineral? ¿Cómo se encuentran y se explotan los minerales? ¿Por qué hay minas subterráneas y otras a cielo abierto? ¿Cuáles son los beneficios y los inconvenientes de cada tipo de explotación? ¿Cuáles son los principales yacimientos argentinos y cómo se explotan?

Como consecuencia de ciertos procesos geológicos particulares que ocurren en la corteza terrestre, se generan pequeños sectores donde alguno de sus componentes, por ejemplo un metal, está más concentrado y bajo la forma de especies minerales distintas que la de los materiales vecinos. En el vocabulario geológico esas concentraciones se denominan *depósitos* o *yacimientos minerales*. En términos generales, los yacimientos pueden considerarse como rocas especiales a partir de las cuales puede obtenerse algún mineral de utilidad para la sociedad. Un emprendimiento minero tiene como objetivo aprovechar los materiales geológicos (rocas y minerales) para obtener un producto que pueda venderse y lograr un beneficio económico. Además de este aspecto económico, la minería actual procura desempeñarse con los mínimos riesgos de perjuicios ambientales y sociales.

Los yacimientos suelen clasificarse de acuerdo con los minerales útiles que lo integran. Los yacimientos metalíferos contienen minerales de los cuales se obtendrán metales, por ejemplo minerales de hierro, de cobre, de cinc, de aluminio o de oro. Los yacimientos no metalíferos son concentraciones de minerales que se utilizarán industrialmente como tales y no para obtener alguno de sus componentes, por ejemplo arcillas para fabricar ladrillos y cerámicos, yeso para producir paneles o boratos para elaborar ácido bórico. Otro tipo de yacimiento es el de las rocas de aplicación; estas no son rocas especiales como las que se mencionó sino rocas comunes que se emplean para obtener materiales de construcción, como mármoles, calizas para elaborar cal y cemento o granito para obtener fragmentos de roca (*piedra partida*) para el hormigón. En todos los casos, los yacimientos serán buscados y explotados mientras exista demanda de esos productos por parte de la sociedad.

La búsqueda o *exploración* de yacimientos apunta a localizar los sitios geológicamente más favorables que permitan su posterior explotación. La exploración se realiza en una serie de etapas sucesivas con estudios cada vez de mayor detalle y su objetivo básico es determinar las especies minerales que componen el yacimiento, establecer su *ley*, que es el contenido de un metal o mineral por unidad de peso (por ejemplo 1% de cobre o 5 gramos de oro por tonelada) y su *tonelaje* (la masa de roca que los contiene).

Con relación a la ley, hay otros términos normalmente empleados en el ámbito minero, particularmente en la minería metalífera. Se denomina *mena* a la roca que contiene el mineral (o minerales) de interés, el cual esta acompañado por otros minerales que no son útiles y que reciben el nombre de *minerales de ganga* (o simplemente *ganga*). La mena es lo que efectivamente se enviará a la planta de tratamiento y por lo tanto también es un concepto económico ya que, para ser considerada como tal, debe tener una ley que, como mínimo, permita recuperar los costos de extracción y tratamiento y obtener un beneficio económico; por lo tanto en el yacimiento puede haber roca que contiene mineral de interés pero debido a que está en muy baja proporción (baja ley) no se la considera mena.

Extracción a *cielo abierto* de calizas y arcillas, mina El Polvorín, Olavarría, provincia de Buenos Aires.

Por otra parte, la roca que aloja un yacimiento y no contiene ningún mineral de interés es denominada *estéril*. Durante la producción, el material de baja ley que se extrae, así como el estéril removido, es acumulado en sitios preestablecidos que reciben el nombre de *escombreras*.

Durante la exploración se realizan, además, estudios de mecánica de rocas para programar el método de extracción, se toman muestras de gran volumen con el fin de efectuar ensayos metalúrgicos para establecer cuál será el tratamiento de separación de minerales y se realizan estudios ambientales muy detallados con el objeto de determinar los impactos: ciertos, probables e improbables, que la operación puede causar sobre el ambiente (físico, biológico y social) y elaborar las acciones para minimizar el riesgo de que se produzcan impactos negativos.

Con el conjunto de la información señalada, junto con análisis económicos y financieros, se planifica con sumo detalle el proyecto minero de extracción y procesamiento que corresponde a la etapa de producción, se establecen las variantes posibles y se define cuál de ellas es económica, tecnológica y ambientalmente factible. Como paso previo a la apertura de la mina y construcción de la planta de tratamiento, tanto el estudio de factibilidad del proyecto como el informe de impacto ambiental deben ser presentados a las autoridades competentes, quienes pueden aprobarlos, desaprobarlos o solicitar mayor información y/o rectificaciones.

Minería a cielo abierto

La extracción de minerales se realiza de acuerdo con el tipo, el tamaño, la forma y la profundidad a la que se halla el yacimiento descubierto y definido durante la exploración. Si la masa de roca que contiene el mineral es grande, por ejemplo de algunas decenas a cientos de millones de toneladas, la operación será de una magnitud mayor a si es solo de algunos miles o cientos de miles de toneladas. Si está en la superficie y llega a algunas centenas de metros en profundidad, la forma más adecuada de extracción será a cielo abierto; mientras que cuando el yacimiento en su totalidad está situado a algunas centenas de metros debajo de la superficie, deberá explotarse por métodos subterráneos.

La minería a cielo abierto se proyecta y desarrolla en forma de bancos o tajadas que se extraen desde la superficie hacia abajo, lo cual permite llegar a la mena en poco tiempo; además de la mena también debe removerse una cierta cantidad de estéril de modo que las paredes de la excavación posean pendientes seguras y no se produzcan derrumbes; por el propio método de extracción, dichas paredes tendrán finalmente la forma de escalones (figura 1). En la minería subterránea es necesaria una etapa prolongada de preparación de la mina, durante la cual se abre una red de túneles (verticales, horizontales e inclinados) normalmente

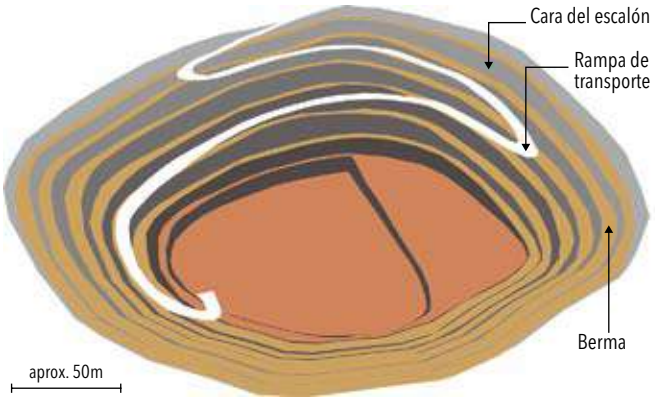


Figura 1. Esquema de una explotación del tipo *pozo abierto* (*open pit* en inglés).

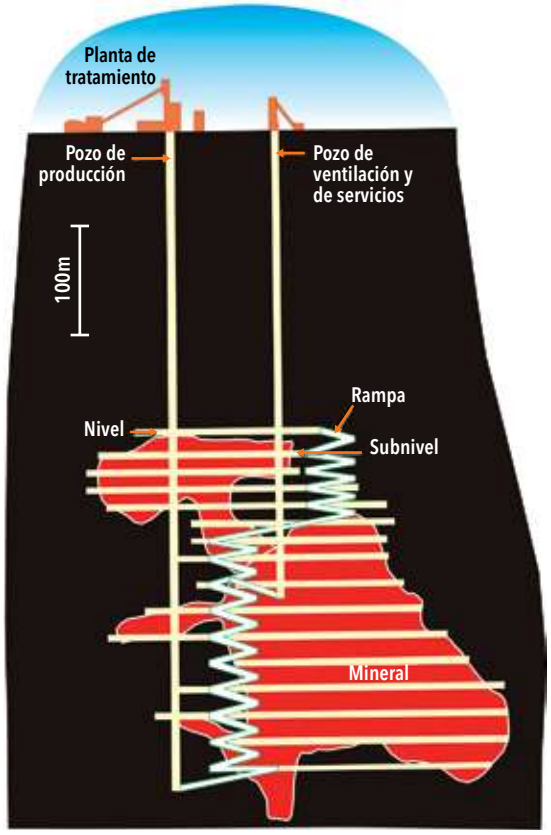


Figura 2. Sección vertical de labores de explotación en una mina subterránea (esquematizado a partir de la mina Meikle, Nevada, Estados Unidos).

en estéril; su objetivo es llegar a los sectores donde está la mena, para poder separarla del macizo rocoso, transportarla y, además, conformar el sistema de ventilación, seguridad y tránsito del personal (figura 2).

Los yacimientos minerales no son homogéneos, entre otras características la distribución de los minerales dentro de ellos es variable y por lo tanto habrá sectores de alta y de baja ley. En algunos casos en su núcleo están las leyes más altas y van disminuyendo hacia la periferia; en otros, las porciones de alta y de baja ley están mezcladas. Ambas situaciones se deben a los fenómenos geológicos que condujeron a la formación del yacimiento. Por

medio de la minería a cielo abierto es posible aprovechar con beneficio económico la totalidad o gran parte de un depósito mineral debido a que normalmente los trabajos de extracción son de bajo costo y esto permite que una alta proporción de la roca que contiene el mineral de interés, tanto de alta como de baja ley, pueda ser considerada mena. Esto no sucede en la minería subterránea donde, debido a la complejidad de las operaciones que deben realizarse para la extracción, su costo es mucho más elevado y por lo tanto solo pueden aprovecharse los sectores de leyes más altas, o sea, los más ricos. Este hecho determina que muchos yacimientos no puedan ser explotados vía subterránea ya que ese condicionamiento hace que resulten muy reducidos y el período de extracción o *vida de la mina* sea tan corto que no puedan amortizarse las inversiones de preparación y adquisición de equipos y maquinarias.

Un factor importante que define si es posible una extracción a cielo abierto y hasta qué profundidad puede desarrollarse, es el llamado *relación estéril-mena*. Esta relación define cuántas toneladas de estéril pueden removerse para obtener una tonelada de mena sin que el gasto supere el valor del producto comercial, deducidos los costos que tiene su obtención. Si bien depende del tipo de roca, cuanto más profunda es la excavación sus paredes deberán tener menor pendiente para evitar derrumbes y por lo tanto habrá mayor remoción de estéril, y por esta causa se llegará a una profundidad en que la mina no podrá explotarse a cielo abierto y deberá definirse si es posible extraer la mena de alta ley por medios subterráneos. En la figura 3 puede verse esquemáticamente la relación entre estéril y mena para la minería metalífera en la parte superior y para la extracción de caliza en la parte inferior.

Desde luego, la minería a cielo abierto producirá un mayor impacto visual o paisajístico que la subterránea. Las excavaciones y los cortes de laderas que produce la minería a cielo abierto, si bien pueden ser recompuestos parcialmente, es prácticamente imposible que puedan reconstruirse conforme al paisaje original.

Aunque depende de la forma y el procedimiento de excavación a cielo abierto, en general el estéril debe ser trasladado fuera del hueco y depositado en las escombreras, creando así montículos con forma de meseta que alteran la topografía original. La minería subterránea remueve menores cantidades de estéril y en algunos de sus métodos, por ejemplo el llamado *corte y relleno*, el estéril vuelve a introducirse en los huecos subterráneos para ir elevando el piso y proseguir con la extracción del mineral que está más arriba; por esta razón las escombreras externas son más pequeñas.

Una de las causas que ha llevado a que la minería a cielo abierto sea cada vez más empleada, si otras condiciones también lo permiten, es el resguardo de la salud y la seguridad de los trabajadores. En minería subterránea se trabaja en lugares estrechos, bastante cerrados, con luz artificial, ventilación forzada y, en muchos casos, muy húmedos; si bien se ha avanzado notablemente sobre este tema, los riesgos son mayores que en el trabajo al aire libre. Las estadísticas de registros de accidentes y de enfermedades laborales lo confirman.

Para los yacimientos metalíferos, independientemente del método extractivo –a cielo abierto o subterráneo–, la mena debe ser tratada para separar el mineral, que va a constituir el producto comercial, de los minerales de ganga. Esto va a producir residuos. En la Argentina se utiliza para ellos el término *colas*, que serán acumulados en

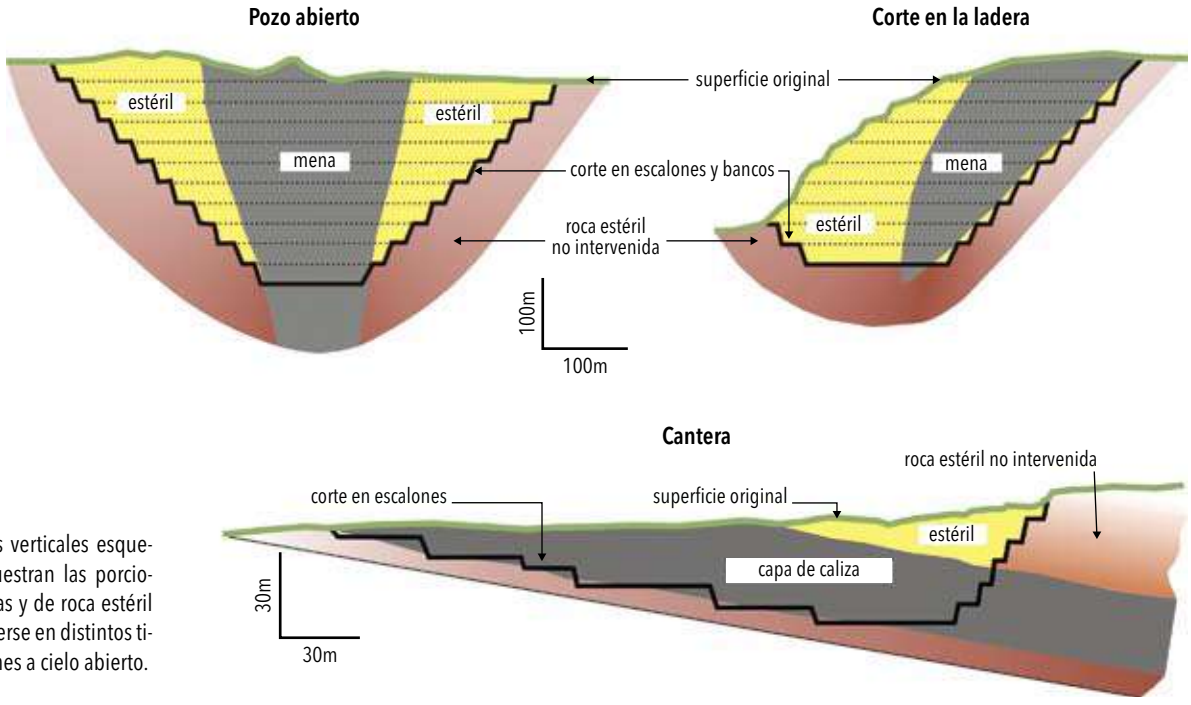


Figura 3. Cortes verticales esquemáticos que muestran las porciones mineralizadas y de roca estéril que deben extraerse en distintos tipos de operaciones a cielo abierto.

Extracción a cielo abierto de *piedra partida*. La roca se tritura en la cantera y se envía por una cinta transportadora al sitio de clasificación por tamaños. Cantera Villa Mónica, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires.

el *depósito de colas*, que normalmente se limitan con una contención denominada *dique de colas*. Estos residuos están compuestos por los minerales de ganga, más el agua y los productos químicos empleados en el proceso. Una vez decantada la porción sólida, el agua junto a los productos químicos es bombeada nuevamente a la planta de tratamiento y se reutiliza.

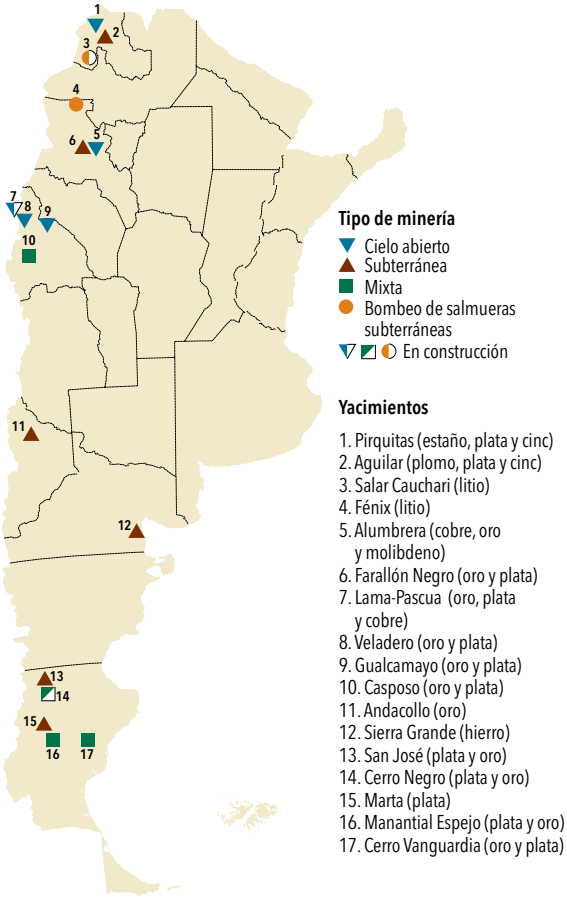
En ocasiones, particularmente en la minería metalífera, se asocia erróneamente el método de extracción con determinadas técnicas de tratamiento de minerales. Tanto en el método a cielo abierto como en el subterráneo, la mena debe ser separada del macizo rocoso mediante explosivos, al igual que el estéril cuando corresponde, luego extraída de la mina y transportada al sitio de trituración y molienda y de allí a la planta de tratamiento. El proceso de separación se define con ensayos previos en planta piloto y es muy específico para cada yacimiento en particular, ya que depende de la especie mineral que se trate (suele haber más de una), de su tamaño y de las relaciones con los minerales de ganga. Para ello hay métodos físicos como los magnéticos, los gravimétricos o los que aprovechan la propiedad de algunos minerales de rechazar el agua y pegarse a burbujas de aire, método que se conoce como *flotación*, donde además de agua se utilizan ciertos productos que incrementan dicha propiedad. Otros métodos son los químicos, denominados de lixiviación, por los que el mineral se disuelve y luego los metales son recuperados de esa solución; entre ellos está la *cianuración*.

Un ejemplo de los diferentes métodos de extracción y tratamiento mencionados ocurre en el centro-este de la provincia de Catamarca. Allí se encuentra el yacimiento Bajo de la Alumbrera, la mina a cielo abierto más grande de la Argentina, que produce: a) oro por métodos gravimétricos que luego se funde para obtener el lingote denominado 'bullion'; b) concentrado de cobre, que incluye alrededor de 25 gramos de oro por tonelada, por el método de flotación, y c) concentrado de molibdeno, también por flotación. A solo unos 7 kilómetros de la Alumbrera se encuentra la mina Farallón Negro, que es explotada por la empresa estatal Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio (YMAD); es una mina pequeña que realiza minería subterránea y obtiene oro y plata por cianuración.

Minería a cielo abierto en la Argentina

Se inicia a fines del siglo XIX cuando se abren canteras de 'piedra' de la zona de Tandil que, aunque no fueron de gran tamaño, sirvieron para tapizar de adoquines muchas calles de las ciudades de Buenos Aires y La Plata. Algunos años después, también en el centro de la provincia de Buenos Aires, comienza la extracción de calizas para la elaboración de cal y luego de cemento, a la que más tarde se sumó la explotación de arcillas y de *piedra partida*. Esas explotaciones, muchas de ellas todavía en actividad, hicieron que la

provincia de Buenos Aires fuera el principal productor minero nacional por varios decenios. También cabe destacar las explotaciones en la localidad de Malagueño, vecina a la ciudad de Córdoba, donde desde las últimas décadas del siglo XIX se extrae mármol para elaborar cal y cemento. En 1966, en el límite entre Salta y Catamarca, comenzó la explotación del yacimiento de boratos del Salar del Hombre Muerto (mina Tincalayu), que continúa en producción y es el principal contribuyente para que la Argentina sea el tercer productor mundial de boratos y derivados (aproximadamente el 11%). En 1976 empezó la explotación de uranio en el yacimiento Sierra Pintada (Mendoza) que produjo hasta mediados de la década del 90. En 1996 ingresó en el escenario la mina Cerro Vanguardia (provincia de Santa Cruz) con extracción de oro a 'rajo abierto' con pozos alargados en sentido horizontal, que desde 2010 combina con métodos subterráneos en las porciones profundas de las vetas. En 1997 en la provincia de Catamarca se inició la explotación de cobre y oro en el yacimiento Bajo de la Alumbrera, que actualmente es el mayor productor de cobre del país y que corresponde a alrededor del 1% del total



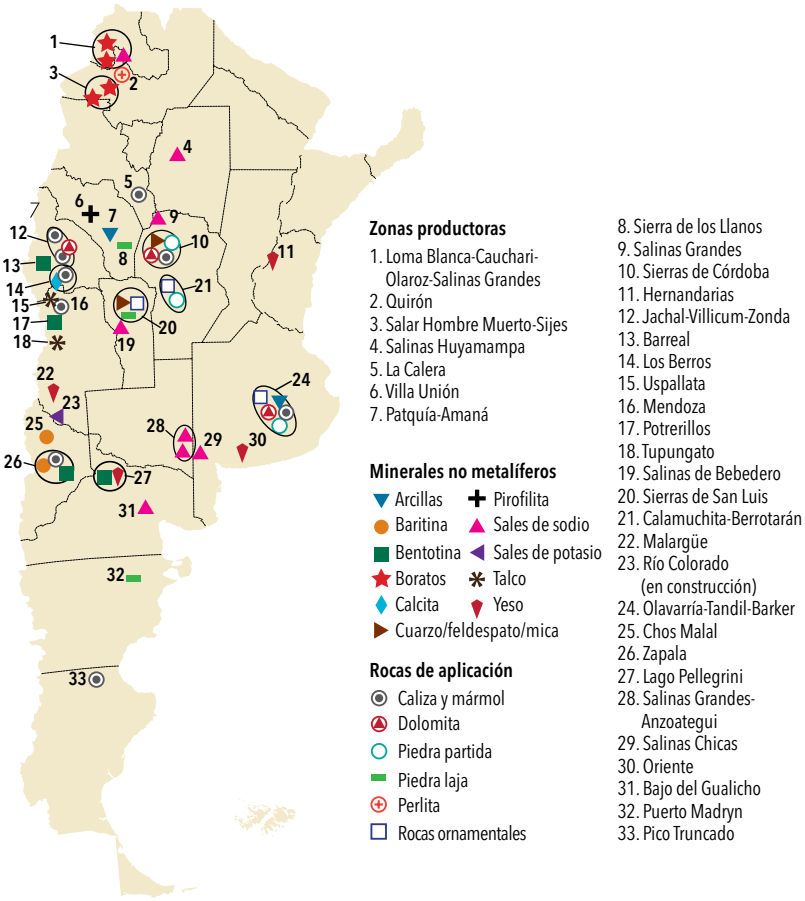


Figura 4a. Localización de las principales minas de minerales metalíferos en la Argentina (en producción o se proyecta su inicio en 2013). En Lama-Pascua aproximadamente el 80% del mineral a extraer está en territorio chileno.

Figura 4b. Localización de los principales centros productores de minerales no metalíferos y rocas de aplicación en la Argentina. Los minerales no metalíferos se explotan en forma subterránea o a cielo abierto de acuerdo con el tipo de yacimiento. Las rocas de aplicación se explotan a cielo abierto.

Pozo abierto de Bajo de la Alumbrera (cobre, oro y molibdeno) en la provincia de Catamarca (2004).

mundial. En lo que va del siglo XXI y asentadas principalmente en la provincia de San Juan, otras minas a cielo abierto se incorporaron a la etapa de producción, además de las subterráneas y mixtas. En la figura 4 puede verse la distribución de las principales minas activas en el país y el método de extracción que emplean.

La opción de la minería a cielo abierto

La minería a cielo abierto no es privativa de ningún mineral en especial sino que se aplica en yacimientos de la composición más variada. Tampoco es una nueva manera de extraer minerales ni en la Argentina ni en otros países. Excluyendo a los hidrocarburos, los materiales geológicos que ocupan los mayores volúmenes de producción mundial, como los minerales de aluminio, de hierro, de cobre, yeso, arcillas, las calizas y diversas rocas para obtener 'piedra partida' –con muy contadas excepciones en el caso del hierro–, son explotados a cielo abierto.

De acuerdo con las características de un yacimiento, esa puede ser la única forma en que un recurso mineral sea aprovechado en su totalidad y no solo sus partes más ricas. Esta opción genera mayor número de empleos y un tiempo más prolongado de ocupación laboral, de aportes tributarios y de integración local y regional, aunque también ocasiona una mayor alteración de los terrenos. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ANNELS AE, 1991, *Mineral deposit evaluation. A practical approach*, Chapman & Hall, Londres.

BUSTILLO REVUELTA M y LÓPEZ GIMENO C, 1997, *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*, Entorno Gráfico, Madrid.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, 1989, *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*, Madrid.

LAVANDAIO E, 2008, *Conozcamos más sobre minería*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico y Minero Argentino, Buenos Aires.

LOTTERMOSER BG, 2007, *Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts*, Springer Berlin Heidelberg, Nueva York.

Raúl R Fernández

Doctor en ciencias naturales orientación geología, Universidad Nacional de La Plata.

Profesor titular, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

Investigador independiente, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

Subdirector del Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

rfernand@inremi.unlp.edu.ar

Recipiente ceremonial de bronce. Dinastía Zhang, China, (1600-1046 antes de nuestra era). Foto *www.yunphoto.net*

Alejandro C Olivieri
Instituto de Química de Rosario, UNR-Conicet

Historias de metales, de amor, de locura y de muerte

Gold is for the mistress –silver for the maid–
Copper for the craftsman cunning at his trade.
'Good!' said the Baron, sitting in his hall,
'But Iron –Cold Iron– is master of them all.'

Rudyard Kipling, *Cold Iron*

Me permitirá el lector la libertad de haber parafraseado en el título los *Cuentos de amor, de locura y de muerte*, publicados por Horacio Quiroga en 1917. Es que desde la antigüedad los metales quedaron asociados con importantes acontecimientos históricos y cumplieron funciones destacadas en muchos aspectos de la vida cotidiana y de la cultura. La tecnología del hierro cambió el arte de la guerra; el oro y la plata dominaron la conquista española de América y la economía europea del siglo XVI, además de ocupar un lugar prominente en las liturgias de muchas religiones, en la joyería y en otros objetos de admiración; el plomo enfermó a la humanidad desde que le encontró uso práctico, y el líquido mercurio la deslumbró.

Los metales son elementos químicos que se caracterizan por su alta densidad, y por ser buenos conductores del calor y la electricidad. A temperaturas normales son sólidos, excepto el mercurio.

Hierro: el séptimo que no debió ser

Desde tiempos inmemoriales la humanidad conoció siete metales: hierro, cobre, estaño, plata, oro, plomo y mercurio. ¿Por qué esos siete y no otros? La explicación –suponemos– está en que son los únicos que nuestros ancestros encontraron en la corteza terrestre como elementos. Los restantes (con alguna excepción que comentaremos) solo están presentes en forma de compuestos, es decir, combinados con otros elementos en sales u óxidos, de los que en épocas remotas hubiera sido sumamente difícil extraerlos, porque no se tenían los co-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las propiedades químicas de los metales explican sus propiedades y comportamiento, y ayudan a entender las funciones que cumplieron a lo largo de la historia.

nocimientos que se adquirieron con el tiempo, ni las técnicas derivadas de ellos. La química nos puede ayudar a comprender las razones de la anterior suposición.

La existencia en la naturaleza de un metal en su forma elemental está estrechamente relacionada con una propiedad llamada *potencial de reducción*, definida por el físico y químico alemán Walther Nernst (1864-1941), premio Nobel de química en 1920. El potencial de reducción mide la tendencia de una especie metálica a captar electrones. Si esta tendencia es débil, el elemento metálico no aparecerá en forma metálica elemental y solo tenderá a existir formando sales con otros elementos u óxidos con el oxígeno, y también en forma de solución iónica, es decir, una mezcla homogénea formada por agua e iones disueltos en ella (por ejemplo, si mezclamos sal común o cloruro de sodio con agua, obtendremos una solución iónica en la que los iones cloruro y sodio están disueltos homogéneamente en el agua). Por el contrario, si su tendencia a captar electrones es fuerte, la forma preferida del metal será la elemental.

En este contexto, el concepto de tendencia no es absoluto sino relativo a otras sustancias o especies que pudiese haber en el medio, y con las que un elemento pudiera entrar en reacción. Por la comparación de tendencias relativas se pueden realizar predicciones acerca de la existencia de ese elemento en determinada forma química. Para el caso que estamos comentando, debemos considerar si en el medio hay agua, cuyas propiedades relevantes con relación a la química de los metales son dos: (1) su capacidad de reaccionar con diferentes especies metálicas por oxidación o reducción, es decir, de entrar en reacciones que liberen respectivamente oxígeno o hidrógeno elementales, y (2) su pH, que es una medida de la concentración de iones hidrógeno, de la que depende fuertemente el potencial de reducción de los metales.

El químico (y pianista) Marcel Pourbaix (1904-1998), que dedicó su vida a estudiar la corrosión metálica desde el momento en que escribió su tesis doctoral en la Universidad Libre de Bruselas, ilustró esta dependencia en célebres diagramas, en los que el eje vertical indica el potencial de reducción y el eje horizontal el pH. En un diagrama típico, una línea llena representa un equilibrio entre especies con diferente estado de oxidación (más

METEORITOS METÁLICOS

Los meteoritos metálicos están compuestos principalmente por hierro, aunque contienen también algo de níquel. Se cree que son restos de asteroides que se destruyeron por impactos con otros cuerpos del Sistema Solar. Solo representan alrededor de un 6% de todas las caídas de meteoritos en la Tierra: las restantes corresponden a cuerpos de tipo rocoso. No obstante, debido a su gran densidad y tamaño, la masa total de meteoritos metálicos supera las 500 toneladas y asciende a casi el 90% de la masa de material meteorítico caído en nuestro planeta.

Existen indicios de empleo de metal de origen extraterrestre que datan de unos 4000 años antes de nuestra era. El hierro meteorítico puede distinguirse por su composición química, en particular debido a la presencia de vestigios de elementos raros como germanio, galio e iridio. Los sumerios y los hititas lo llamaban 'fuego del cielo', y los egipcios 'metal del cielo'. Cuando Hernán Cortés preguntó a los aztecas por la procedencia del hierro de sus cuchillos, ellos miraron al cielo, en alusión, se puede suponer, a un origen meteorítico. También objetos del siglo VIII antes de nuestra era encontrados en Sinkiang, en el extremo noroeste de China, contienen hierro de origen meteorítico.

Figura 1. Diagrama de Pourbaix para el cobre: la zona blanca corresponde al cobre en su estado oxidado (ión cúprico en medio ácido, óxido cúprico en medio alcalino), mientras que la zona ocre corresponde al cobre en su estado reducido o metálico elemental.

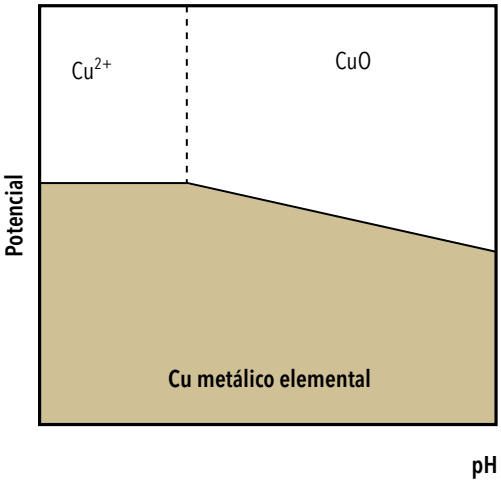
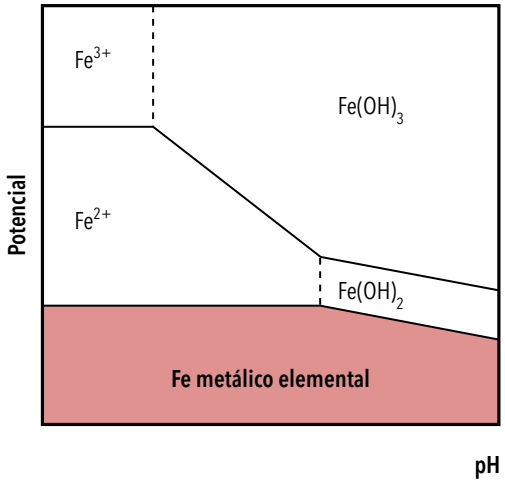


Figura 2. Diagrama de Pourbaix para el hierro: la zona blanca corresponde al hierro en sus estados oxidados (iones férrico y ferroso en medio ácido, hidróxidos férrico y ferroso en medio alcalino), mientras que la zona rosada corresponde al hierro en su estado reducido o metálico elemental.



o menos oxidadas): en la zona del diagrama que queda por encima de esa línea, será estable la especie más oxidada, mientras que en la zona por debajo de la línea será estable la especie menos oxidada. Habitualmente se agregan también líneas verticales para separar especies de un mismo estado de oxidación que se encuentran en equilibrio respecto del pH (por ejemplo, un ión metálico libre y su hidróxido).

La figura 1 es un diagrama de Pourbaix para el elemento cobre. En la parte superior o zona de alto potencial de reducción, en la que aparecen las especies oxidadas, se ubican los iones cúpricos en estado de oxidación (Cu^{2+}). La parte inferior del diagrama, o zona de bajo potencial de reducción, en la que aparecen las especies reducidas, encontramos al cobre metálico elemental. En la parte con valores bajos de pH (pH ácido), la forma preferida del cobre es el ión cúprico disuelto en agua; en la correspondiente a los valores altos (pH alcalino), lo es el óxido cúprico sólido (CuO).

La figura 2 muestra el diagrama de Pourbaix del hierro, con la zona superior ocupada por sus especies iónicas, tanto en sus formas iónicas disueltas (Fe^{2+} y Fe^{3+}) como sus hidróxidos sólidos [$Fe(OH)_2$ y $Fe(OH)_3$], y la zona inferior dominada por el hierro elemental. Diagramas similares pueden construirse para todos los metales.

Dos asuntos cruciales en análisis son los valores de potencial de reducción y pH *permitidos* en un planeta como la Tierra. Dada la omnipresencia de agua en él, es razonable suponer que esos límites están impuestos por las propiedades químicas de esta. Así, el límite superior del potencial de reducción corresponde a la transformación de oxígeno elemental en oxígeno constituyente del agua. Este límite está indicado en la figura 3 por una línea recta inclinada. Una especie con potencial de reducción más alto que los valores determinados por esta recta oxidaría el agua a oxígeno, de modo que la recta en cuestión constituye el límite máximo de potencial que ninguna especie puede superar.

Del mismo modo, si el potencial de reducción de una especie fuera más bajo que la línea recta correspondiente a la reducción del agua a hidrógeno indicada en esa figura, se liberaría hidrógeno del agua y la especie no sería estable. La segunda recta marca entonces el límite inferior del potencial de reducción en la Tierra.

En cuanto a los valores extremos de pH, el más ácido concebible en la naturaleza está dado por el equilibrio entre el hierro férrico disuelto y su hidróxido, el que podríamos estimar en alrededor de 4, mientras que el más alcalino estaría fijado por el equilibrio entre iones carbonato e hidrógeno carbonato, con un valor cercano a 8. Esos límites están indicados con dos rectas verticales en la misma figura 3. Concluimos, por lo tanto, que las combinaciones de potencial y pH posibles en la Tierra caen dentro del *paralelogramo de la estabilidad*, la superficie de color verde de dicha figura.

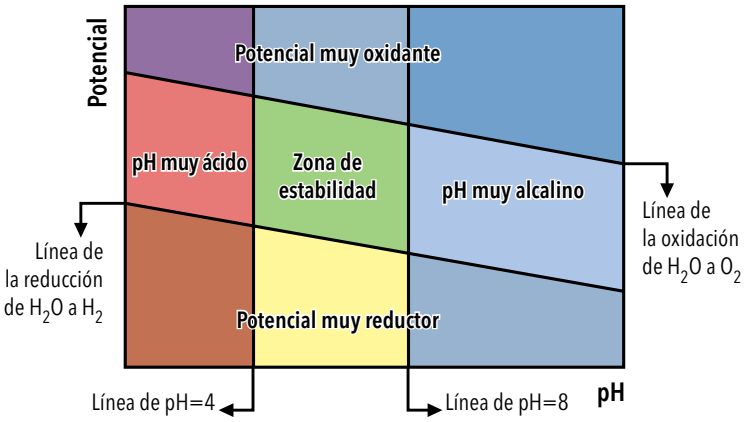


Figura 3. Diagrama de Pourbaix en el que se indican las líneas de oxidación y reducción del agua, que marcan los límites inferior y superior del potencial de reducción y del pH posibles en la corteza terrestre. Esas líneas encierran en su centro el paralelogramo de estabilidad, de color verde.

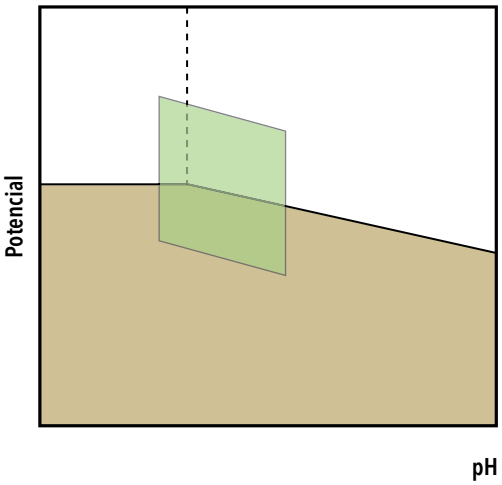


Figura 4. Diagrama de Pourbaix para el cobre con indicación del paralelogramo de estabilidad.

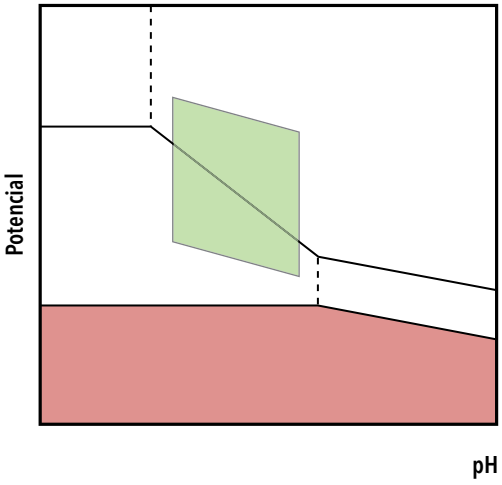


Figura 5. Diagrama de Pourbaix para el hierro con indicación del paralelogramo de estabilidad.

Si superponemos ese paralelogramo de la estabilidad con el diagrama de Pourbaix del cobre, obtenemos la figura 4, de la que se puede concluir que el último debería existir en forma elemental, ya que parte de dicho paralelogramo se superpone con el área que corresponde al cobre elemental. Sin embargo, si hacemos esa misma superposición con el diagrama del hierro, como mostramos en la figura 5, llegamos a la paradójica conclusión contraria: que no podría haber hierro metálico elemental en la Tierra, pues el área que le corresponde en su diagrama de Pourbaix cae fuera del paralelogramo de la estabilidad. Este tipo de razonamiento puede extenderse a los restantes metales conocidos de antiguo, con el resultado de que seis de los siete –todos excepto el hierro– deberían existir como elementos en la corteza terrestre, como de hecho existen, mientras que los restantes metales, desconocidos para los antiguos, no deberían hacerlo.

En honor a la exactitud, aclaremos que algunos metales relativamente raros también existen en forma elemental en la Tierra (y caen dentro del paralelogramo de estabilidad), pero no fueron conocidos por los antiguos. El platino, por ejemplo, fue descubierto en 1735 en Colombia por el naturalista y marino español Antonio de Ulloa (1716-1795). Su nombre deriva de su confusión inicial con la plata.

¿Cómo se conoció entonces el hierro hace no menos de dos milenios? La explicación más probable es que nuestros ancestros dieron con hierro metálico elemental de origen extraterrestre, llegado por meteoritos, y luego descubrieron que también lo podían obtener a partir de ciertos minerales o compuestos. Lo último no era una empresa sencilla, pues se requería hacer reaccionar a alta temperatura dichos minerales con carbón. Los químicos representamos la sencilla transformación que tiene lugar en ese caso por:

$$2FeO + C = CO_2 + 2Fe$$

La ecuación indica que óxido de hierro y carbón producen dióxido de carbono más hierro elemental. Dominar la técnica de hacerlo dio origen a la metalurgia del hierro, que cambió la historia de la humanidad y ocupó una posición eminente en muchas sociedades tradicionales, como lo sugieren desde la difusión del apellido Herrero (Smith, Schmitt), hasta la existencia de expresiones como *el que a hierro mata a hierro muere*, *tener una salud de hierro*, *gobernar con mano de hierro*, entre otras, o el adjetivo *férreo*, sinónimo de *tenaz*.

Un hito importante en esta historia es el descubrimiento de cómo producir acero, una aleación de hierro y carbón de la que muy pronto se descubrieron sus excelentes propiedades para fabricar espadas. Un ejército con armas de acero podía vencer fácilmente a otro dotado de escudos y casos de bronce.

Si analizamos la sucesión de las fechas aproximadas de inicio en Europa, el Cercano Oriente y el norte de África del uso generalizado de materiales que marcaron cambios significativos en la historia (tabla), advertiremos que el orden de esas fechas está relacionado con la dificultad de obtener los materiales. La piedra es el más abundante y fácil de conseguir. El cobre se encuentra naturalmente presente en la corteza terrestre. Los siguientes materiales, en cambio, requieren recurrir a técnicas más o menos complejas para poder disponer de ellos. Dado que la metalurgia del bronce era menos trabajosa que la del hierro, el bronce ocupa un sitio intermedio entre el cobre y el hierro. Pero esta sucesión no siempre acaeció de esa manera: en el África sudsahariana, por ejemplo, la metalurgia del hierro se difundió sin que se hubiera pasado por las del cobre y bronce.

El hierro es mal conductor de calor comparado con el bronce, hecho que permitió manipular vidrio semisólido a altas temperaturas mediante barras de hierro. No es de extrañar entonces que la industria del vidrio solo haya aparecido en Egipto y Fenicia después de la metalurgia del hierro.

La siguiente tabla muestra las fechas aproximadas (en años antes de nuestra era) de inicio en Europa, el Cercano Oriente y el norte de África del uso generalizado de materiales que marcaron cambios significativos en la historia:

Material	Fecha aproximada de inicio de su uso
Piedra	10.000
Cobre	6.000
Bronce	3.000
Hierro	1.000
Acero	350
Vidrio	100

LA METALURGIA DEL BRONCE

Los dos componentes metálicos de esta aleación, el cobre y el estaño, existen en su forma nativa en la corteza terrestre. El cobre es considerablemente más abundante que el estaño; este, en cambio, si bien existe naturalmente en forma de pequeños granos metálicos, se obtenía principalmente a partir de su óxido. En tiempos prehistóricos, la aleación se fabricaba en un horno a partir de sendos minerales de cobre y estaño, con carbón vegetal. El carbono del último transformaba los minerales en cobre y estaño metálicos, que luego se fundían y aleaban. La fabricación del bronce estuvo siempre vinculada con el comercio de minerales de estaño, y algunos arqueólogos sospechan que el uso del hierro se inició a raíz de alguna interrupción en el comercio de aquellos minerales.

Plomo: un dulce veneno

El plomo, uno de los siete metales conocidos por los antiguos y coherente con los diagramas de Pourbaix, resultaba de poca utilidad práctica: es demasiado maleable para fabricar espadas o cuchillos, y demasiado blando para escudos y cascos. En Roma, sin embargo, se le dio el uso de recubrir el interior de recipientes en que se calentaba vino, lo que daba a la bebida un apreciado sabor dulzón. Químicamente, la explicación de ese sabor es simple: el plomo reacciona con el ácido acético del vino y forma acetato de plomo, que es dulce. Los químicos escribiríamos la reacción del modo siguiente:

$$Pb + 2CH_3COOH = Pb^{2+} + 2CH_3COO^{-} + H_2$$

Es decir, plomo elemental más ácido acético producen iones de plomo más acetato de plomo más hidrógeno. El acetato de plomo se conocía como *azúcar de Saturno*, porque el plomo se asociaba con dicho planeta.

Cada uno de los siete metales conocidos, lo mismo que los días de la semana, se asociaban con un astro. Al Sol y la Luna, tal vez por su tamaño aparente y brillo, correspondían el oro y la plata. El hierro fue identificado con Marte, el cobre con Venus y el estaño con Júpiter. Mercurio, el planeta más rápido en su movimiento nocturno aparente, dio su nombre a un metal líquido y movedizo, y a Saturno, el planeta de movimiento más lento, correspondía el denso plomo.

El problema planteado por el plomo es su toxicidad para el organismo humano: produce una enfermedad llamada, precisamente, saturnismo, que afecta el sistema nervioso y en casos graves puede ocasionar hasta la muerte. Se supone que el uso indicado de plomo en jarros para vino, más su empleo en caños o para forrar acueductos, pudo diseminar esa enfermedad entre los romanos, y que el metal habría sido la primera sustancia en originar lo que hoy llamaríamos una dolencia de origen ambiental. La humanidad empezó a sufrirla hace miles de años, pero solo en tiempos recientes obtuvo una comprensión de ella.

Cobre, plata y oro: una ilusión dorada

Entre los años 200 y 700 de nuestra era, antes de que existiera el imperio inca y ocho siglos antes de la conquista española, floreció en el centro y norte del Perú la cultura *moche* o *mochica*. Entre los objetos que produjo (además de la conocida cerámica con motivos eróticos) se cuentan máscaras funerarias y otros objetos dorados (figura 6). Cuando fueron llevados a España y algunos fundidos, se encontró que estaban constituidos sobre todo por cobre, con solo pequeñas proporciones de plata y oro. Tenían, sin embargo, una fina película de oro en su superficie. No hay certeza sobre cómo los indígenas lograron que se formara o depositara esa película, pero la química moderna permite aventurar una explicación.

Figura 6. Oro moche. Ornamento de oro y turquesas de una tumba en Sipán. Aproximadamente 12cm de diámetro. Museo Nacional de Arqueología y Etnografía Hans Heinrich Brüning, Lambayeque, Perú.

Es común en el norte del Perú encontrar una aleación de aproximadamente 90% de cobre, 5% de plata y 5% de oro, llamada *tumbaga*. También podían los moches procurarse salitre, un mineral rico en iones nitrato, y alumbre, rico en iones férricos. Si frotamos un objeto de tumbaga con una pasta húmeda de salitre y alumbre, estaremos sometiendo su superficie a una mezcla de iones nitrato e hidrógeno, este último aparecido como producto de la reacción del agua con el ión férrico. Esa mezcla es equivalente a una solución de ácido nítrico, que puede disolver cobre y plata, pero no oro. Por ello, es posible que los moches hayan logrado el dorado de sus máscaras por el procedimiento de empobrecer o remover el cobre y la plata de la superficie de objetos de tumbaga frotándolos con dicha pasta húmeda de salitre y alumbre.

Mercurio: un regalo especial

Aunque el mercurio existe naturalmente en la tierra, tal como lo predice su diagrama de Pourbaix, era un metal exótico, poco conocido en el mundo antiguo. Un pasaje bíblico sobre el sueño de Nabucodonosor (Daniel 27:2:1-49), por ejemplo, nombra cinco de los siete metales antiguos al describir el gigante con el que soñó el rey: tenía cabeza de oro, pecho y brazos de plata, vientre y muslos de bronce, piernas de hierro y pies de barro (de ahí la conocida expresión). Cinco metales porque al

Figura 7. Restos restaurados de Medina Azahara, la ciudad capital que construyó en la primera mitad del siglo X el califa Abderramán III al pie de la Sierra Morena, en las afueras de Córdoba, donde se presume que estaba el estanque de mercurio que describe el texto.

Figura 8. Fuente de mercurio encargada por el gobierno de la República Española a Alexander Calder para el pabellón de ese país en la Exposición Internacional de París de 1937. La obra conmemora el asedio de Almadén por las tropas nacionales durante la Guerra Civil. Las antiguas minas de mercurio de esa localidad fueron esenciales para la temprana minería de plata del Alto Perú, hasta el descubrimiento de yacimientos en Huancavelica a mediados del siglo XVI. La fuente está hoy en la Fundación Joan Miró, en Barcelona, encerrada en vidrio por razones de sanidad ambiental.

mencionarse el bronce quedaron dos aludidos: cobre y estaño. El plomo no aparece, tal vez por ser considerado un metal inferior, poco útil para fabricar objetos prácticos, aunque figura en otros pasajes de las Escrituras. El mercurio tampoco, y está ausente de todos los textos bíblicos.

En el Medioevo era conocido en el mundo árabe. Abderramán III, califa omeya de Córdoba en la primera mitad del siglo X, durante la dominación árabe de España, disponía de un estanque lleno de mercurio en su palacio de Medina Azahara (ciudad que llevaba el nombre de su esposa favorita, Zahara, figura 7). En una descripción de la época, recogida en el artículo sobre el tema citado entre las lecturas sugeridas, se lee: *Sus muros y su techo eran de oro y cristal, sus tejas eran de oro y plata. En el centro tenía un estanque lleno de mercurio y a cada lado del salón ocho puertas, formadas por arcos de marfil y ébano sobre columnas de cristal coloreado. Los rayos del sol, al entrar por esas puertas, se reflejaban en el techo y las paredes, y producían una luz resplandeciente y cegadora. Cuando Abderramán quería asustar a los presentes o recibía la visita de algún embajador, hacía un gesto a sus esclavos y estos removían ese mercurio, con lo que el salón se llenaba de sobrecogedores fulgores semejantes al resplandor del rayo, creando en los que allí se hallaban la impresión de que giraba en el aire mientras el mercurio seguía en movimiento. Ningún otro soberano, ni entre los infieles ni en el islam, había construido antes nada parecido*. Ese regalo especial del Califa a su mujer debió haber constituido una visión extraordinaria. Diez siglos después, el arte contemporáneo revivió su idea (figura 8). CH

LECTURAS SUGERIDAS

ASIMOV I, 2008, *Breve historia de la química*, Alianza, Madrid.

LE COUTEUR P & BURRESON J, 2004, *Napoleon's buttons: how 17 molecules changed history*, Tarcher, Nueva York.

MOLINA L, 2004, 'Sobre el estanque de mercurio de Medina Azahara', *Al-Qantara*, XXV, 2:329-333, accesible (junio de 2012) en *http://al-qantara.revistas.csic.es/index.php/al-qantara/article/view/136/114*.

NRIAGU JO, 1983. 'Saturnine gout among Roman aristocrats. Did lead poisoning contribute to the fall of the empire?', *New England Journal of Medicine*, 308: 660-663.

REDDY A & BRAUN CL, 2010, 'Lead and the Romans', *Journal of Chemical Education*, 87: 1052-1055.

SHIMADA I & MERKEL J, 1991, 'Copper alloy metallurgy in ancient Peru', *Scientific American*, 265: 80-86.

Alejandro C Olivieri

Doctor en química, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, FCBYF, UNR.
olivieri@iquir-conicet.gov.ar

Fernando J Gómez
Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra,
Universidad Nacional de Córdoba-Conicet

La biosfera primitiva, la tierra actual y vida extraterrestre

Geobiología y astrobiología

Las complejas interacciones, desde el distante pasado geológico a la actualidad, entre la *geosfera*, que incluye la Tierra sólida, la *atmósfera* y la *hidrosfera* –o los océanos–, y la *biosfera* –o los seres vivos– constituyen el objeto de estudio de una disciplina relativamente reciente en la Argentina: la *geobiología*.

Los procesos físicos y químicos del mundo natural, controlados por la dinámica interna y externa de la Tierra, fueron el marco en que se originó y evolucionó la vida, la cual, a su vez, modificó su entorno. El estudio de esos procesos e interacciones es fundamental para comprender el funcionamiento de nuestro planeta como un sistema, en las diferentes escalas del espacio y del tiempo. La geología aporta a ese estudio la perspectiva del tiempo distante.

Un ejemplo de enormes consecuencias de estas interacciones fue la aparición de la *fotosíntesis oxigénica*, por la que, hace unos 2500 millones de años, organismos primitivos convirtieron dióxido de carbono (CO_2) atmosférico en materia orgánica, mediante la energía de la luz solar y con liberación de oxígeno, como lo hacen hoy plantas, algas y muchas bacterias. Ello produjo la oxigenación de una atmósfera que originalmente era *anóxica* (es decir, carecía de oxígeno), y cambió para siempre la química de la superficie terrestre. A partir de allí, acontecieron modificaciones como la aparición de organismos multicelulares y, en virtud de la evolución natural, de formas de vida más complejas, incluido el ser humano.

Comprender las condiciones físico-químicas en que se originó la vida, los ambientes extremos en que esta puede desarrollarse y la impronta que deja su presencia en la Tierra proporciona las bases para la búsqueda de vida más allá de nuestro planeta, que constituye el objeto de estudio de la *astrobiología*, disciplina igualmente reciente.

Un recurso para entender los procesos de coevolución de la geosfera y la biosfera es estudiar ambientes terrestres actuales cuyas condiciones sean, por lo me-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cuando hace 3500 millones de años aparecieron los primeros organismos en la Tierra, ciertos ambientes de nuestro planeta tenían semejanzas con el medio de las lagunas altoandinas del noroeste argentino y, posiblemente, con el de planetas como Marte.

nos en algunos aspectos, semejantes a las que existieron durante la historia temprana de nuestro planeta, y que además podrían existir o haber existido en otras regiones del sistema solar, por ejemplo, en Marte.

La historia temprana de la Tierra

El sistema solar se formó hace unos 4600 millones de años a partir de una nebulosa o nube de gas y polvo. Esto significa que la edad de la Tierra es aproximadamente un tercio de la del universo, originado en el *Big Bang*, que los modelos cosmológicos más aceptados fijan en algo menos de 14.000 millones de años. El polvo cósmico de esa nebulosa constituyó primero pequeños cuerpos sólidos llamados *planetesimales*, que por acción de la fuerza de gravedad se fueron sucesivamente aglomerando y consolidando en masas mayores que eran objeto de frecuentes colisiones. La Luna habría sido producto de una de dichas colisiones, entre nuestro planeta en formación y un cuerpo del tamaño de Marte. Ese también fue el origen, se cree, de la inclinación del eje de rotación de la Tierra. Como otra consecuencia de las mencionadas colisiones, y de un intenso vulcanismo, buena parte de la superficie de aquella primitiva Tierra estaba cubierta por un océano de roca fundida, mientas que su atmósfera, producto de la actividad volcánica, casi no contenía oxígeno.

Con el tiempo, las colisiones cósmicas cesaron, la superficie terrestre se enfrió y solidificó, y los materiales fundidos de su interior se separaron según sus densidades relativas. Así se formó la conocida estructura de nuestro planeta, con tres grandes capas llamadas *núcleo*, *manto* y *corteza*, que indican los textos de geología. Con la disminución de la temperatura se crearon condiciones que permitieron la presencia de agua líquida y la formación de los océanos. La magnitud de estos lleva a suponer que el agua no pudo provenir solo del interior de la Tierra sino, en gran medida, del impacto de meteoritos y cometas, en los que llegó como hielo. Este fue un paso crítico, pues el agua es necesaria para la vida en la forma que la conocemos, al punto que su presencia en forma líquida se toma como un indicio de la posibilidad de que la vida haya aparecido en otros planetas.

Los geólogos suelen denominar a la primera etapa de la historia física de la Tierra, que abarca casi unos 4000 millones de años, es decir, cerca del 85% del tiempo de su existencia, con nombres como Precámbrico, y dividirla en tres eones: el Hadeano (entre 4600 y 3850 millones de años atrás), el Arqueano o Arqueozoico (entre 3850 y 2500 millones de años atrás) y el Proterozoico (entre 2500 y 542 millones de años atrás). Después del Precámbrico se escalonan los períodos más conocidos: el Paleozoico (entre 542 y 250 millones de años atrás), el Mesozoico (entre 250 y 65 millones de años atrás) y el Cenozoico (entre 65 millones de años atrás y el presente).

A diferencia de la atmósfera actual, rica en oxígeno, la del Arqueano estaba formada por gases como CO_2 y metano (CH_4), cuyo efecto invernadero mantuvo la temperatura ambiental dentro de límites que permitían la permanencia de agua en estado líquido. Como en ese entonces el Sol habría tenido un 70% de su brillo actual, de no haber existido esos gases en la atmósfera, el agua se habría mantenido congelada. En ese contexto comenzó la fotosíntesis oxigénica, la cual alteró radicalmente la composición de la atmósfera y los océanos, y produjo un cambio en los ecosistemas que constituyó un paso crítico en la aparición de organismos multicelulares.

Hoy el interior fundido del planeta se conecta con su parte sólida externa y con la atmósfera y los océanos por el movimiento de las grandes placas relativamente rígidas que forman ese exterior sólido. Esa dinámica terrestre se llama *tectónica de placas* y consiste en el desplazamiento relativo de enormes sectores de corteza, de unos 100km de espesor, que se embisten, se hunden, se deforman y se separan unas de otras. Ello produce una circulación de gran escala de materia y energía entre el interior y el exterior del planeta, por el que la biosfera obtiene nutrientes y energía. Las evidencias sugieren que la tectónica de placas se inició en tiempos tempranos de la Tierra y habría desempeñado un papel central en el desarrollo y la persistencia de la vida.

El origen de la vida

Si bien hay mucha controversia acerca de la aparición de la vida en la Tierra, en especial sobre cómo, dónde y cuándo se habría originado, la ciencia ha llegado a cierto consenso sobre dos cuestiones fundamentales:

- Dadas las similitudes entre los seres vivos, cuya bioquímica se basa en el carbono, usa solo veinte aminoácidos y opera mediante una cadena de pasos que conducen del ADN a las proteínas pasando por el ARN, se supone que todos los organismos provienen de un ancestro común.
- El origen de la vida se habría producido por un proceso continuo y de complejidad creciente, compatible con las leyes de la física y la química, que avanzó desde la geoquímica a una química prebiótica y a la bioquímica de los primeros organismos.

La reflexión científica sobre el origen de la vida sugiere una pregunta fundamental: ¿se trata de un fenómeno exclusivo de la Tierra o es universal, como consecuencia inevitable de las leyes de la termodinámica? Las fuentes de energía y los compuestos químicos necesarios para construir las partes esenciales de las biomoléculas están en todo el universo. Un ejemplo son los numerosos ami-

noácidos encontrados en el meteorito Murchison, caído en la localidad de ese nombre en Australia. Asimismo es común la llamada síntesis de Fischer-Tropsch, un proceso que convierte una mezcla de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno catalizado por ciertos elementos metálicos en hidrocarburos líquidos, es decir, produce una síntesis abiótica de compuestos orgánicos, frecuente en la naturaleza en sistemas hidrotermales.

La siguiente pregunta es cómo sucedió que esos compuestos se concentraran y ensamblaran para formar monómeros primero y luego polímeros más complejos, hasta llegar a las macromoléculas fundamentales para la vida. Una línea de investigación se plantea si el paso inicial pudo haber sido la aparición de un mecanismo de replicación y transferencia de información, similar al actual ADN-ARN; otra línea analiza la posibilidad de que ese primer paso haya sido un primer organismo que, mediante un metabolismo primitivo, explotó las fuentes de energía disponibles, y luego desarrolló un sistema de replicación y transferencia de información.

También se han formulado diferentes hipótesis acerca de dónde ocurrieron esos pasos iniciales, que van desde los sistemas hidrotermales submarinos a ciertas superficies minerales, y desde la tibia sopa primigenia de Darwin a los famosos experimentos realizados en 1952 por Stanley Miller y Harold Urey en la Universidad de Chicago. Estos simularon en laboratorio las hipotéticas condiciones químicas de la Tierra primitiva y obtuvieron aminoácidos de la interacción de componentes inorgánicos más una fuente de energía. Pero ni ellos ni sus seguidores lograron avanzar mucho más allá de ese punto. Tampoco se ha descartado del todo un posible origen extraterrestre de la vida, es decir, que meteoritos o cometas puedan haber traído a la Tierra microorganismos o moléculas esenciales para ella.

El momento en que apareció la vida en la Tierra está también abierto a discusión. Evidencias geoquímicas halladas en rocas de Groenlandia sugieren que ello habría sucedido hace unos 3800 millones de años, pero hay controversia sobre el posible origen biológico y la edad de esas rocas. Otras encontradas en Pilbara, Australia, de unos 3500 millones de años de antigüedad, proporcionan evidencias más firmes. Sugieren que en ese momento habría existido una biosfera microbiana relativamente compleja.

De unos 3500 millones de años atrás son los estromatolitos más antiguos conocidos. Estos son estructuras laminadas que se forman por la interacción de comunidades de microbios que fijan y atrapan sedimentos y precipitan minerales (figura 1). Fueron extremadamente abundantes en los mares del Precámbrico y luego disminuyeron, por cambios en la composición química de los océanos y posiblemente por la aparición de organismos multicelulares que se alimentaban de los microbios que contenían. En el actual territorio argentino hay un am-

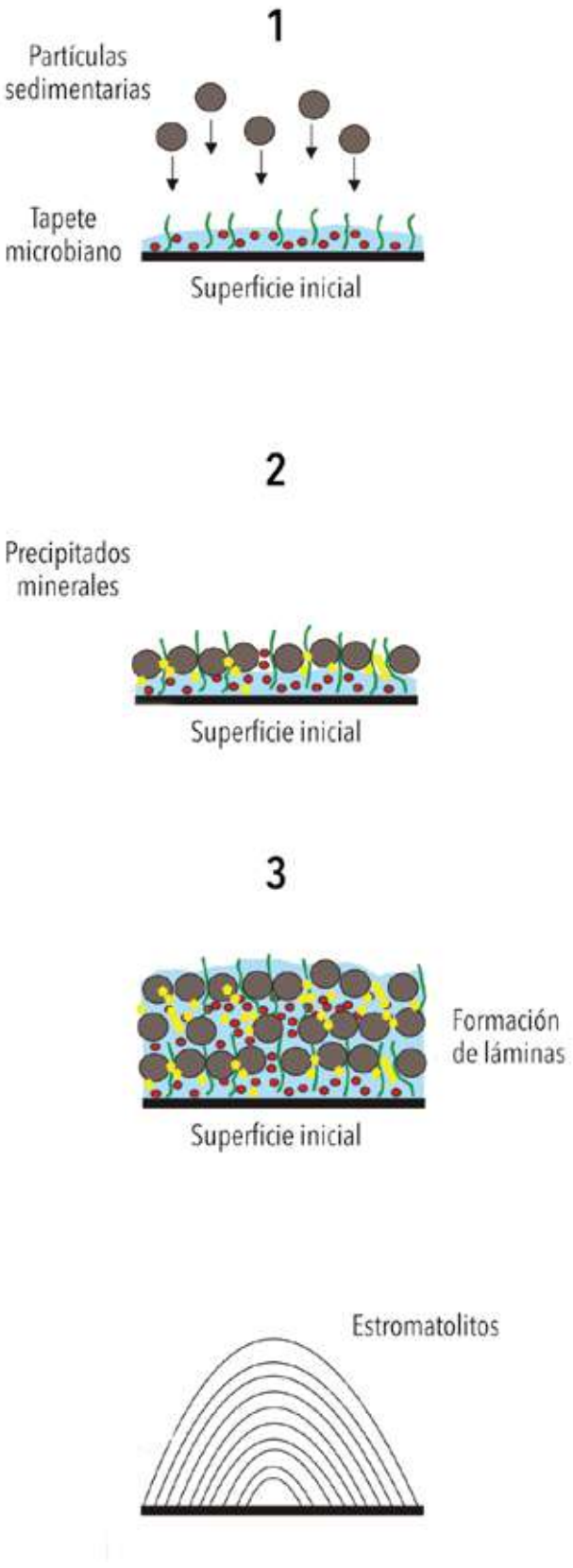


Figura 1. La formación de los estromatolitos. 1. Sobre una superficie se establece una película o tapete de microorganismos. 2. Estos atrapan y fijan sedimentos y, debido a su actividad metabólica, inducen la precipitación de minerales, generalmente carbonatos. 3. La repetición del proceso genera una estructura laminada. 4. El conjunto (dibujado en distinta escala) se puede conservar como fósil en el registro geológico.

plio registro de estromatolitos fósiles en rocas calcáreas, por ejemplo en las sierras Bayas de la provincia de Buenos Aires, en la precordillera de San Juan (figura 2) y en Salta, entre muchos otros lugares. La puna de Jujuy, Salta y Catamarca está entre los pocos lugares del mundo en que se han encontrado estromatolitos activos y en formación (ver María Eugenia Farías, 'Microorganismos que viven en condiciones extremas en lagunas altoandinas', Ciencia Hoy, 126, pp. 30-37).

De central importancia en esta discusión es que no hay una definición satisfactoria de lo que llamamos vida. ¿Cómo buscar algo que no está definido con precisión? Esto es particularmente relevante para encontrar evidencias de vida primitiva, sea en nuestro planeta o en otros. Para esa búsqueda, la cuestión es dónde poner el límite entre geoquímica y bioquímica. Una definición que goza de razonable aceptación para este propósito es la propuesta en 1994 por un comité especial de la NASA: la vida es *un sistema químico autosustentable capaz de evolución en sentido darwiniano*. Es cierto que es una definición sesgada hacia el único ejemplo de vida que conocemos, la terrestre.

La impronta de la vida en la Tierra primitiva

Una de las dificultades del estudio de la biosfera primitiva, extensible a la búsqueda de vida en otros planetas, es que en el Arqueano los seres vivos eran microbios, sin partes duras que se fosilizaran y, por lo tanto, con escaso potencial de dejar rastros en el registro geológico. Además, de haber existido algún rastro, lo más probable es que haya sufrido alteraciones posteriores por cambios químicos, de presión o de temperatura en las rocas o los sedimentos, con lo que resulta aun más improbable que se hubiese preservado. A pesar de esas dificultades, los científicos han recurrido a diferentes técnicas para escrutar la arcaica biosfera microbiana, entre otras:

- El estudio de fósiles de microbios y sus posibles contrapartes modernos, y de estructuras como los estromatolitos.
- El estudio de compuestos orgánicos relativamente resistentes a la degradación química que pueden preservarse en rocas y sedimentos. Como fueron formados por grupos específicos de microorganismos, aportan información sobre procesos metabólicos de esos microbios y sobre la geoquímica ambiental.
- El estudio de ciertos minerales, como carbonatos, óxidos y otros, así como de algunos isótopos de elementos esenciales para la vida (calcio, azufre, hierro, etcétera), ocasionales productos del metabolismo microbiano, que pueden ser reconocidos en los sedimentos y actúan como señales de los organismos que los originaron (figura 3).

Para poder asegurar que determinado atributo es de origen biótico y, por lo tanto, evidencia cierta de vida, se debe descartar la posibilidad de que pueda haber resultado de procesos abióticos. En los estromatolitos precámbricos, a diferencia de los recientes, la acreción de láminas se produjo principalmente por precipitación de minerales, generalmente carbonatos, que rara vez conservan evidencias directas de actividad biológica y suelen presentar una gran diversidad de formas. Para complicar el panorama, es posible que por procesos abióticos se hayan formado estructuras laminadas con todas las características morfológicas de los estromatolitos. Ello lleva a pensar que, por lo menos, algunos estromatolitos del Precámbrico pueden haber sido el resultado de precipitación química, con una participación marginal o nula de procesos biológicos, lo que pone en dudas su valor

Figura 2. Estromatolito fósil con forma de domo fotografiado por el autor en la precordillera de San Juan. Data de hace aproximadamente 500 millones de años. El bandeado irregular se debe a cambios de textura y a la presencia de dos minerales: *calcita*, un carbonato de calcio de color oscuro en la foto, y *dolomita*, un carbonato de calcio y magnesio que se ve claro. Mide unos 25cm de ancho en la base.

como evidencias de que entonces había vida. La morfología por sí sola no es un buen indicador de la presencia de esta, sobre todo cuando las evidencias primarias resultaron alteradas por cambios ambientales posteriores. Por esta razón, el estudio de análogos modernos constituye una herramienta poderosa, ya que los procesos de formación pueden estudiarse en forma directa y pueden descartarse procesos secundarios de alteración.

Estromatolitos y búsqueda de vida en otros planetas

Las evidencias morfológicas, sedimentarias, mineralógicas y geoquímicas indican que Marte tuvo una persistente presencia de agua sobre su superficie, particularmente durante su historia temprana, equivalente a cuando apareció la vida en la Tierra. Hay depósitos de, por ejemplo, carbonatos y sulfatos que se formaron por evaporación de agua que contenía esos compuestos en solución. Asimismo hay depósitos silíceos, posiblemente asociados con sistemas hidrotermales, que habrían precipitado al disminuir la temperatura de aguas sobresaturadas de sílice, como sucede hoy en la Tierra.

La importancia de lo anterior para la astrobiología se comprende si se tiene en cuenta que, además de ser el agua un ingrediente esencial de la vida, la presencia de

Figura 3. Cara pulida del corte transversal de un estromatolito fósil recogido en las orillas de la laguna Negra, en la puna de Catamarca. Muestra una estructura laminada concéntrica bastante irregular de carbonatos microbianos, común en los estromatolitos de ese lugar. En segundo plano se advierten pequeños estromatolitos columnares (con forma de columna). El color blancuzco de la calcita cambia en determinados lugares por las impurezas contenidas en el carbonato de calcio. Así, los rojizos indican la presencia de hierro. El ancho es de unos 15cm.

Figura 4. Laguna Negra, en la puna de Catamarca, cercana al paso de San Francisco que lleva a Chile. En primer plano, estromatolitos y precipitados minerales dejados al descubierto por el agua. Se aprecia que algunos apoyan en sedimentos rojizos, formados por carbonatos.

compuestos disueltos en ella implica la disponibilidad de nutrientes, y amplía el rango de temperaturas en que el agua se mantiene en estado líquido, algo particularmente valioso en la gélida superficie de Marte.

Además, no faltó en Marte la energía electromagnética provista por la luz solar, ni la energía química liberada por reacciones de elementos y sustancias inorgánicas. También es cierto que en Marte, debido a la presencia de agua con compuestos disueltos e intensa evaporación y precipitación, se pudieron formar estructuras morfológicamente similares a estromatolitos. De esto se desprende que es necesario tener cuidado en considerarlos de origen exclusivamente biótico.

La Tierra arqueana, Marte y los lagos de altura de la puna

Las lagunas de la puna –como la laguna Negra en Catamarca (figura 4), situada no lejos de la frontera con Chile, al oeste de la ruta que conduce al paso de San Francisco y sobre el camino hacia el pie del monte Pissis– se formaron luego de la última glaciación, y desde entonces sufrieron intensa evaporación debido a la extrema aridez, las altas temperaturas diurnas y la gran

Figura 5. El autor en la costa de la laguna Negra, en Catamarca. Con la ayuda de una piqueta de geólogo, recoge muestras para analizar en laboratorio y las guarda en una bolsa de plástico.

Figura 6. Integrantes del grupo que investiga las condiciones de la laguna Negra en plena labor de campo. Las manchas blancas en primer plano y al fondo son de cloruro de sodio o sal de mesa, que estaba disuelta en agua que resultó evaporada por acción del sol. Además del autor, integran ese grupo Linda C Kah, de la Universidad de Tennessee e integrante del equipo de la NASA que se ocupa de la sonda *Curiosity*, recientemente enviada a Marte; Julie Bartley, del Gustavus Adolphus College, en Minnesota; Ricardo Astini, investigador del Conicet y profesor de la Universidad Nacional de Córdoba, y Martín Argota, estudiante de geología de esa universidad y ayudante en las tareas de campo. Los estudios iniciales fueron financiados con aportes de un programa de pasantías en biología planetaria de la NASA, la American Chemical Society, el Conicet y el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONCYT).

altura sobre el nivel del mar (4500m). Las condiciones ambientales y geológicas de su región tienen marcadas similitudes con las hipotéticas características de ciertos ambientes de la Tierra primitiva y con otras de Marte, lo que convierte a esas lagunas en convenientes laboratorios naturales para la geobiología y la astrobiología. Entre esas condiciones se cuentan:

- Un sustrato rocoso volcánico que sugiere una evolución semejante en cuanto a los procesos de alteración de rocas y sus productos.
- Alta radiación ultravioleta, extremos de temperatura y salinidad, poca lluvia y escasa humedad, baja tensión de oxígeno y ozono en la atmósfera.
- Predominio de vida microbiana asociada con estromatolitos formados por acreción de láminas por precipitación mineral, como los del Precámbrico.
- Aguas saturadas en carbonatos, con pH neutro a ácido y niveles de sulfatos comparables a los océanos del Arqueano.

Una de las particularidades de la laguna Negra es la presencia de comunidades microbianas adaptadas a condiciones extremas, o *extremófilas*, particularmente la hipersalinidad y la intensa radiación ultravioleta. Viven en una zona en que se mezcla agua del lago con otra surgente de acuíferos subterráneos, lo que genera ambientes más favorables, que causan menor estrés salino y crean mejor flujo de nutrientes, entre otras características. En esa zona, también, se producen interacciones químicas que provocan la precipitación de carbonatos y facilitan la mineralización de los tapetes microbianos que son parte de los estromatolitos.

Consideraciones finales

Los procesos geológicos y los biológicos están estrechamente vinculados y se influyen mutuamente de diversas maneras, tanto sutiles como extremas. Sus interacciones ocurren en escalas espaciales que van desde la microscópica hasta la global, y en escalas temporales que se extienden desde fracciones de segundo a miles de millones de años. La biosfera irrumpió tempranamente en la historia de nuestro planeta y, aunque nuestra comprensión de cómo, cuándo y dónde tuvo lugar avanzó enormemente, los detalles de su aparición están aún poco claros. Pero sabemos que produjo cambios drásticos en la realidad de la Tierra y que, a su vez, estuvo sometida a los vaivenes causados por un interior terrestre térmicamente activo y un exterior dominado por los efectos del Sol, y por los procesos atmosféricos y oceánicos.

La complejidad de las interacciones geológicas y biológicas hace evidente que la línea divisoria entre geología y biología es un resultado artificial de nuestro afán por categorizar las cosas para poder comprenderlas, porque, como escribió Carl Sagan, *comprender es una alegría*. La geobiología ocupa una zona gris donde ambas áreas del conocimiento se interrelacionan y constituye, ella misma, una poderosa herramienta para lograr esa comprensión. La astrobiología, por su lado, pone en un contexto cósmico el fenómeno de la vida y algunas de las preguntas fundamentales que le están asociadas. Intentar comprender el origen de la vida y explorar la posibilidad de que esta exista en otros planetas posiblemente sea uno de los desafíos más grandes planteados a la ciencia. Los potenciales beneficios de responder a tan significativa pregunta justifican sin duda los esfuerzos de intentarlo. El estudio de ambientes modernos análogos, como la laguna Negra en la puna catamarqueña, puede darnos algunas pistas fundamentales para saber dónde y cómo enfocar nuestra mirada. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BADA JL, 2004, 'How life began on Earth. A status report', *Earth and Planetary Science Letters*, 226, pp. 1-15.

CATLING DC & CLAIRE MW, 2005, 'How Earth evolved to an oxic state. A status report', *Earth and Planetary Science Letters*, 273, pp. 1-20.

EHRLICH HL & NEWMAN DK, 2008, *Geomicrobiology*, CRC Press, Boca Ratón-Londres-Nueva York.

GÓMEZ FJ, 2007, 'La Tierra primitiva y su transformación en un planeta habitable: evidencias del registro geológico', *http://www.mincyt.cba.gov.ar/site/cordobensis09/ediciones.htm*.

GROTZINGER J *et al.*, 2007, *Understanding Earth*, WH Freeman Co, Nueva York.

HAZEN RM, 2007, *Genesis. The scientific quest for life's origin*, Joseph Henry Press, Washington DC.

KNOLL AH, 2003, *Life on a young planet. The first two billion years of evolution of Earth*, Princeton University Press.

KONHAUSER K, 2007, *Introduction to Geomicrobiology*, Blackwell Publishing, Oxford.

SÁNCHEZ TM, 2007, *La historia de la vida en pocas palabras*, Editorial Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Fernando J Gómez

Doctor en ciencias geológicas, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Investigador asistente del Conicet.

fgomez@cicterra-conicet.gov.ar

El cablecarril de Chilecito a La Mejicana
Fotografías de Max Cooper

La sierra de Famatina, en la provincia de La Rioja, tiene una historia minera que se remonta a las sociedades prehispánicas y, durante los tiempos coloniales, a los jesuitas y a mineros independientes como el mejicano Félix Amarello, que actuó hacia 1780. Por este, la mina más célebre de la región, ubicada a 4600m sobre el nivel de mar y a unos 35km al noroeste de Chilecito, que él habría descubierto, se llama *La Mejicana*.

En la segunda mitad del siglo XIX empresarios y gobierno procuraron ampliar la escala artesanal de explotación minera practicada hasta entonces. Para facilitar el transporte de mineral desde los yacimientos hasta el ferrocarril, llegado a Chilecito en 1898, el gobierno nacional dispuso en 1901 (por la ley 4028, de noviembre de ese año) construir un cablecarril que salvara esa distancia y los 3500m de desnivel entre los extremos del trayecto.

El dispositivo fue puesto formalmente en servicio a fines de marzo de 1907, aunque ya operaba de manera parcial desde 1904. Fue prefabricado en Alemania por la firma Adolf Bleichert & Co., de Leipzig, y montado en el terreno mediante el trabajo de unas 1600 personas, asistidas por unos 90 asnos y 600 mulas, aquellos para transportar cargas pequeñas, como alimentos, y estas para los materiales de construcción. El recorrido del cable estaba dividido en ocho tramos de longitudes variables (oscilaban entre 2 y 9km), la mayoría de los cuales salvaban aproximadamente el mismo desnivel. En los extremos de cada uno había estaciones, nueve en total, y en cada una, motores de vapor alimentados con leña proporcionaban energía que ayudaba a desplazar las vagonetas de carga.

Estructuralmente, el cablecarril consistía en dos cables fijos paralelos, de 3,2cm de diámetro, formados por ha-

1. Transporte desde el fin del séptimo tramo de la obra, a 3900m de altitud, del eje del motor de la estación final del octavo tramo, el penúltimo, a 4400m de altitud.

ces retorcidos de hilos de acero. Los sostenían 262 torres armadas con perfiles de acero laminado distribuidas con separaciones variables a lo largo de la ruta. Esas separaciones y, sobre todo, la aún más variable altura de las torres estaban determinadas por la topografía. Sobre el doble cable fijo o *cable portante* se deslizaban apoyadas en ruedas acanaladas las vagonetas, que se movían simultáneamente tanto en sentido ascendente, unas, como otras en sentido descendente (de ahí los dos cables paralelos).

Las vagonetas estaban diseñadas para transportar mineral a granel, del que cada una tenía la capacidad de cargar alrededor de 0,3m³, con un peso de aproximadamente media tonelada. En total circulaban unas 450 vagonetas a una velocidad de 2,5m por segundo (9km/hora), separadas entre ellas por un centenar de metros. Había vagonetas para llevar agua, víveres, materiales y equipos diversos, leña y pasajeros. Una vagoneta recorría la línea con una persona a bordo que engrasaba los mecanismos.

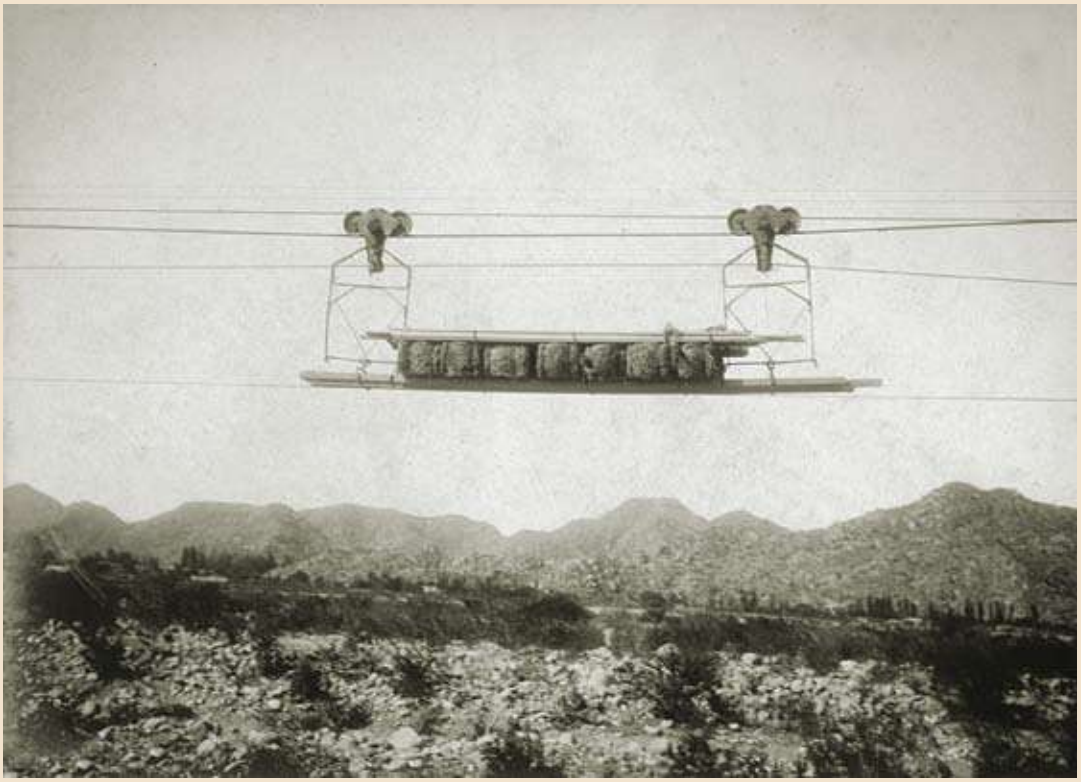
La energía para mover las vagonetas era la fuerza de gravedad: como el peso que se debía transportar era mayor en sentido descendente que ascendente, las vagonetas cargadas que se movían hacia el valle, además de deslizarse hacia abajo por sí mismas, generaban energía suficiente para arrastrar hacia arriba vagonetas vacías o con menor carga. Una fuente complementaria de energía eran las mencionadas máquinas de vapor instaladas en las estaciones de cada tramo.

Un segundo cable, también doble pero móvil, llamado *cable tractor*, hecho del mismo material que el primero pero más delgado que este, pues tenía 2,3cm de diámetro, transmitía la energía que impulsaba las vagonetas: regulaba el descenso de las cargadas y arrastraba las ascendentes hacia la montaña. Corría a velocidad fija, paralelo al cable portante, algo por debajo de este, y estaba dividido en ocho unidades independientes, una por cada tramo de la obra. En cada estación las vagonetas eran desenganchadas del cable de tracción correspondiente al tramo anterior y enganchadas al del tramo siguiente.

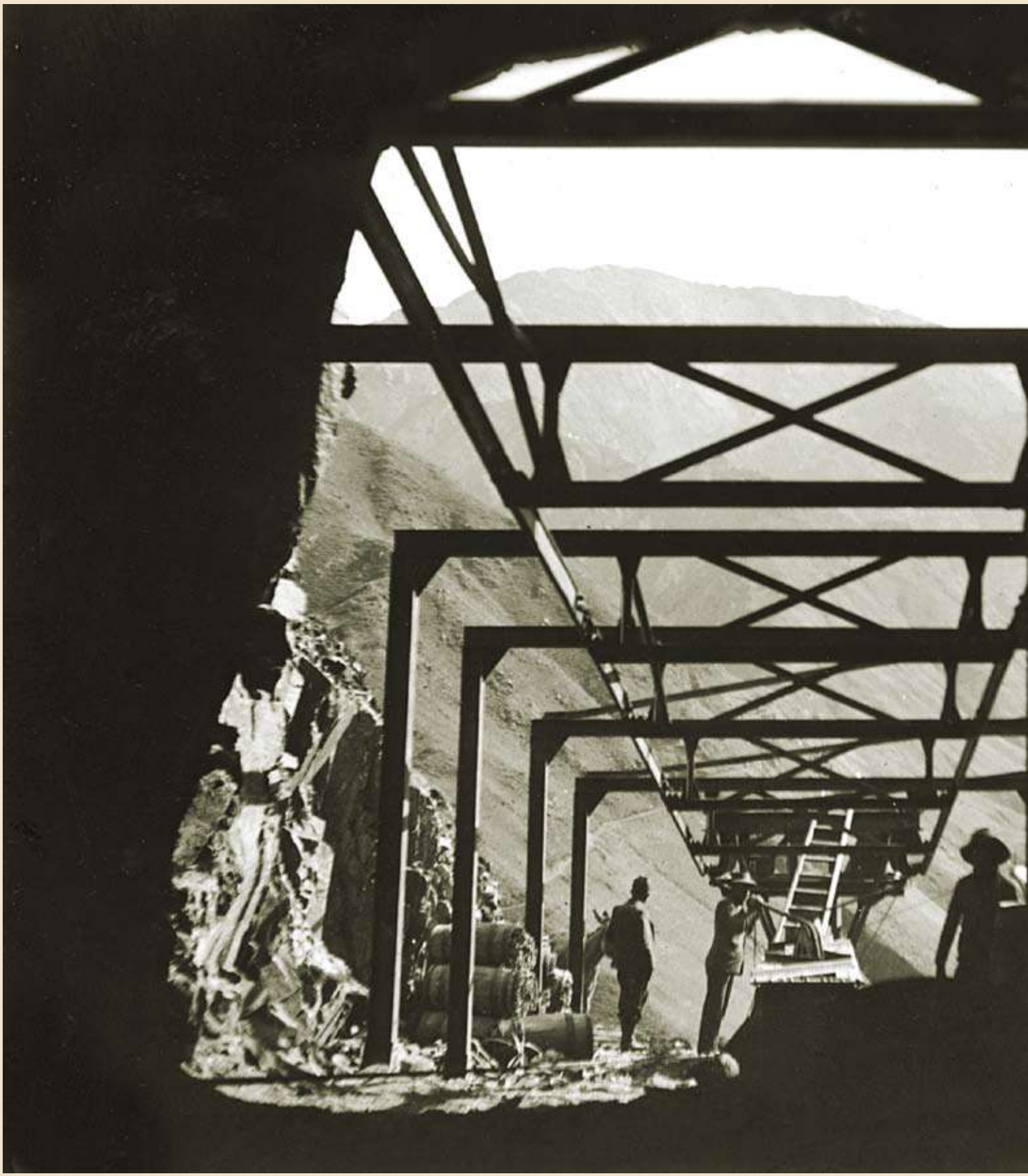
El cable de sostén pesaba unas catorce toneladas por kilómetro y venía en carretes de unas dos toneladas. Solo cuando un tramo estaba listo se podía emplear el cable para transportar los materiales necesarios para el siguiente, pero no más allá del inicio de este.

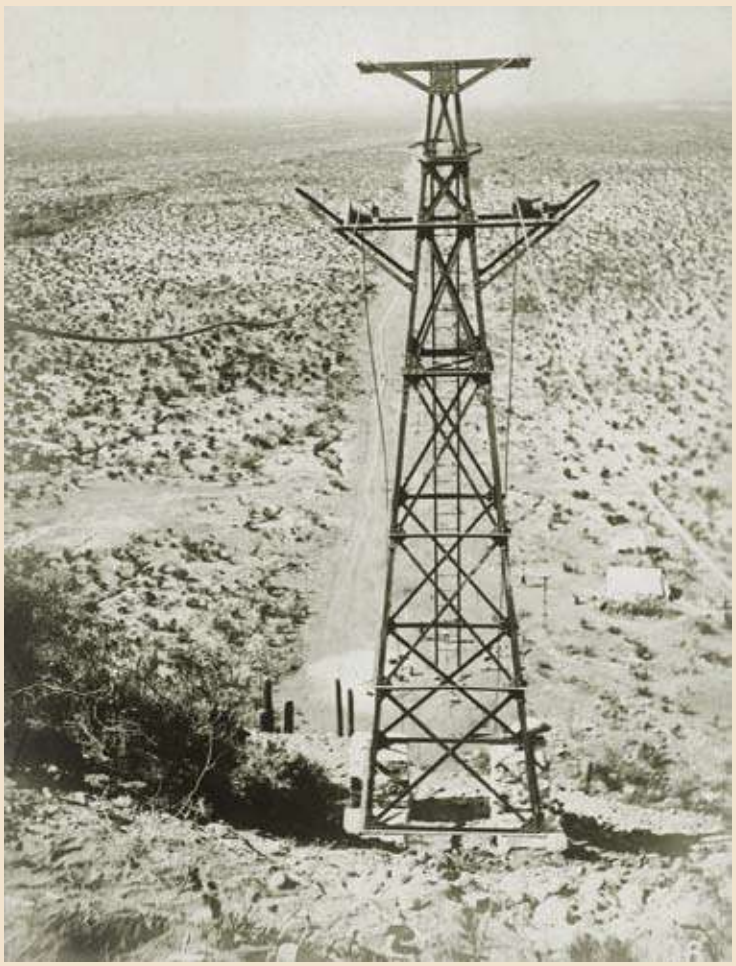
El cablecarril fue una maravilla técnica pero un sinsentido económico. Se esperaba que transportara alrededor de 80.000 toneladas anuales de mineral, pero nunca alcanzó las 20.000, y a menudo estuvo muy por debajo de esa cifra. Para los mineros sus tarifas eran excesivas, y para la gestión del cable, a cargo primero del Ferrocarril Argentino del Norte y luego de la Administración de los Ferrocarriles del Estado, los ingresos que obtenía resultaban insuficientes. En 1914 dejó de operar regularmente, y en 1925 cerró en forma definitiva. Ahora pasó a la categoría de monumento histórico y atracción turística. CH

Esta sección se publica con el asesoramiento de Abel Alexander y Luis Priamo. Las fotos fueron tomadas por Max Cooper, un joven técnico de los ferrocarriles británicos nacido en Montevideo y, con el tiempo, empresario de seguros en Buenos Aires. Fueron amablemente proporcionadas a Ciencia Hoy*, que las agradece, por su nieto Andrés Cooper, propietario de los derechos de reproducción.*



2. Vagonetas transportando madera y pasto durante la construcción del cablecarril. El pasto servía de alimento a mulas y asnos usados en la obra.

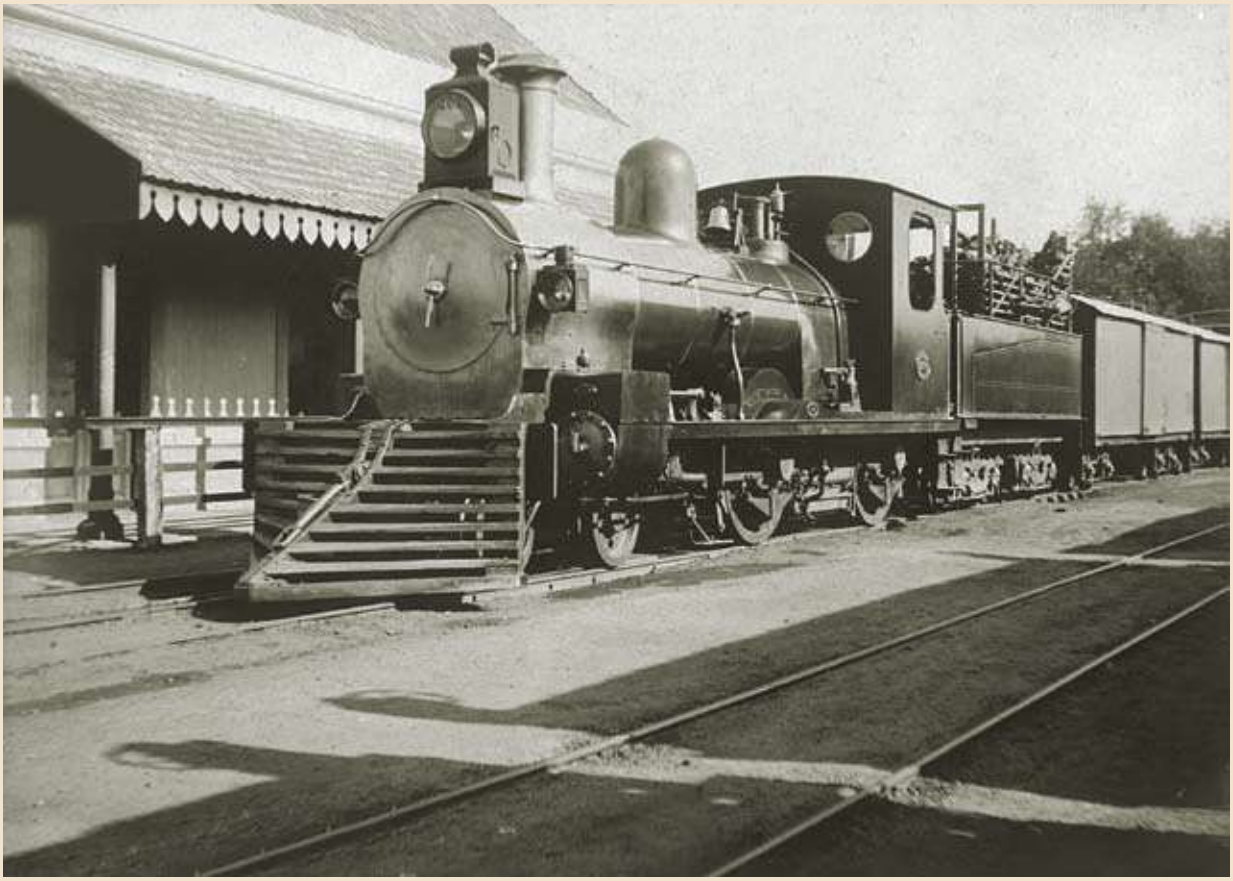




3. Un túnel en el cuarto tramo la obra, a unos 2600m de altitud.
4. Torre de doce metros.
5. Vagonetas transportando el cable portante durante la construcción del cablecarril. Concluido un tramo de la instalación, se lo podía usar para subir los materiales hasta el punto de inicio del siguiente, desde donde se debía desplegar a mano.

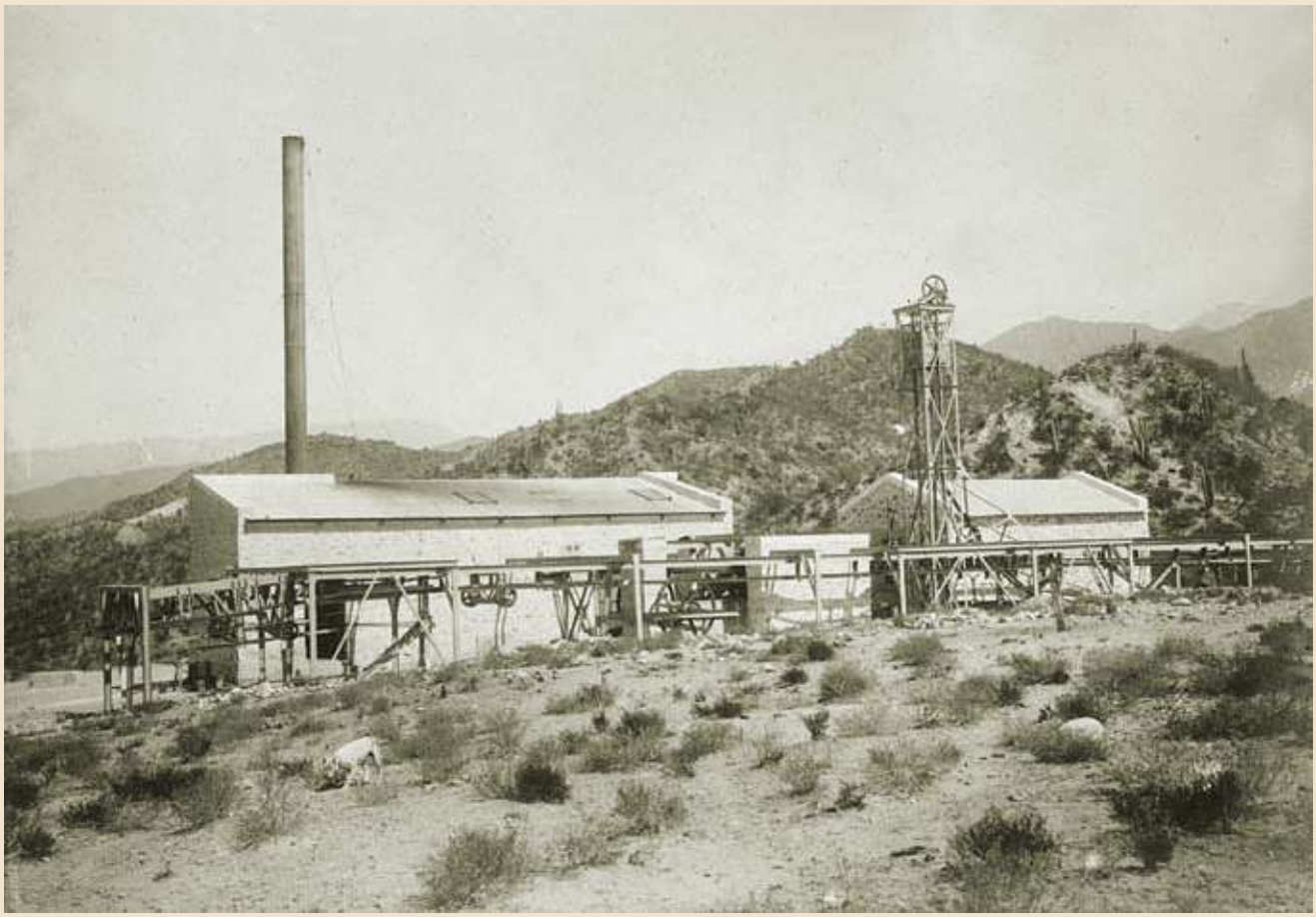
6. Empleados de la obra celebran el 25 de mayo de 1904.

7. El personal superior de la obra. Max Cooper está de pie a la izquierda. Sentado a la derecha, su hermano, Humphrey W Cooper.



8. Una locomotora del FC Central de Córdoba, de trocha angosta y capitales británicos, que unía la capital de esa provincia con Tucumán. En Deán Funes empalmaba con el estatal Ferrocarril Argentino del Norte, que llegaba a Chilecito por Serrezuela y Patquía.

9. Asistentes a la inauguración de los primeros tramos del cable, en julio de 1904.



10. Un técnico en la senda correspondiente al quinto tramo de la obra, en torno a los 3000m de altitud.
11. Estación El Durazno, al final del primer tramo, a 9km de Chilecito y 1550m sobre el nivel del mar.
12. Personal que tiende los cables del séptimo tramo del cablecarril, entre los 3300m y los 3900m sobre el nivel del mar.
13. Max Cooper, fotógrafo aficionado.

Geología

El origen de la Patagonia: un misterio apasionante

Dos teorías presentan a la región como un bloque separado que se desprendió de la Antártida y chocó contra el extremo sur del continente. Las investigaciones son multidisciplinarias

Mercedes Benialgo

Basado en cómo las formas de Sudamérica y África parecerían encajar entre sí, el geofísico alemán Alfred Wegener planteó en 1912 el desplazamiento de las masas continentales. Sus colegas descartaron en un principio la idea y no fue hasta los 60 cuando, gracias a nuevas investigaciones, la teoría de la deriva continental –el lento y continuo movimiento de bloques de tierra– fue aceptada. Múltiples estudios a nivel mundial persiguen a partir de entonces el objetivo de conocer las rutas que tomaron los continentes desde sus comienzos.

Una de las grandes dudas que en nuestra región aqueja a la comunidad científica tiene que ver con la posición paleogeográfica de la Patagonia, que podría haber estado siempre unida al resto del continente, o bien haber llegado como un bloque desprendido desde la Antártida.

Sobre esto existe una teoría llamada "Patagonia alóctona" –significa que tiene origen en un lugar diferente– propuesta por Víctor Ramos, investigador del CONICET y director del Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber". En 1984, durante un congreso en Bariloche, la presentó en un trabajo titulado "Patagonia, un continente a la deriva".

"Tuvo impacto y fue muy ruidoso. Nadie creía en eso pero ahora, con más de veinte años de estudios al respecto, diría que hay un 80% de personas que acuerdan con esta hipótesis", cuenta Ramos.

Su teoría fue producto de algo que le llamó la atención: un arco magmático, es decir, volcánico, en un lugar atípico. Se trata de montañas que se forman paralelo al margen continental, como es la cordillera de los Andes con respecto al borde lateral de América del Sur. Ramos observó un arco magmático donde la erosión solo permitía ver las raíces de esas montañas, que cruzaba Río Negro en forma perpendicular a los márgenes continentales: desde Sierra Grande hasta Bariloche.

"Se me ocurrió que debió haber otro margen distinto al actual, y entonces propuse que al norte de ese arco existía una antigua zona de sutura que separaba Gondwana de lo que es hoy la Patagonia", explica Ramos. Cabe recordar que, en un principio, todos los continentes hoy conocidos formaban uno solo llamado Pangea que se dividió en dos hemisferios –Gondwana al sur y Laurasia al norte– en el período Pérmico, hace unos 299 millones de años.

Ramos también soporta su teoría con el plegamiento de Sierra de la Ventana, Buenos Aires. "Son rocas tremendamente duras y resistentes que están arrugadas como si fueran plastilina. Si pensamos que la Patagonia se desprendió de la Antártida y chocó, se entiende por qué esa zona es empujada hacia el norte", describe el especialista.

Otro investigador del CONICET que también ha estudiado la región es Carlos Rapela, director del Centro Científico y Tecnológico (CCT) La Plata, quien acompaña al geólogo inglés Robert Pankhurst en la teoría de que sólo la parte sur de Patagonia colisionó con el extremo austral de América.

Su estudio abarca rocas antiquísimas, del período Carbonífero (359-299 millones de años), anteriores a la división que plantea Ramos. Su análisis es muy complicado porque fueron tapadas por eventos geológicos posteriores. "En la Patagonia están poco expuestas, con escasos afloramientos a lo largo de los ríos Chubut y Colorado. Esto nos hizo pensar que aquí hubo un océano", cuenta Rapela.

La segunda evidencia que tuvieron fue encontrar rocas de granito de idéntica edad y características al que hay mucho más al norte, a la altura de La Rioja y San Luis.

"La combinación de ambos hechos nos hace pensar que la colisión fue más al sur, cerca de El Bolsón, donde hay rocas muy viejas típicas de los bordes de un continente. El plegamiento de Sierra de la Ventana puede ser producto de lo mismo, ya que aunque la sutura sea más abajo, comprime y empuja la tierra hasta muchos kilómetros de distancia", señala Rapela, y agrega que "por la edad y la química de las rocas sabemos que el choque produjo una fusión de la corteza".

Pruebas biológicas

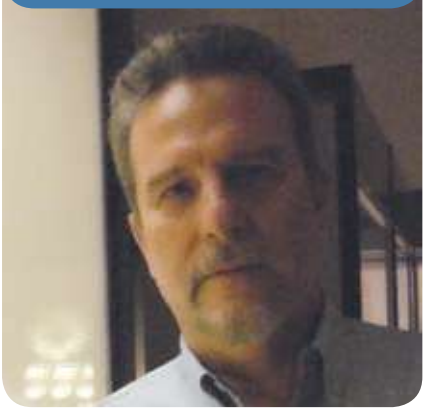
Desde el Museo Paleontológico "Egidio Feruglio" (MEF), la investigadora del CONICET Alejandra Pagani estudia en colaboración con Arturo Taboada, del Laboratorio de Investigación en Evolución y Biodiversidad (LIEB, Universidad Nacional de La Patagonia), la fauna de invertebrados fósiles del Carbonífero-Pérmico de la región, y también hacen su aporte a la discusión sobre la ubicación original de la Patagonia.

Por un lado, sus investigaciones muestran que la fauna de esa época presenta una desconexión con la hallada en el noreste argentino en afloramientos de igual edad, lo cual los hace suponer que por entonces la Patagonia sí era un bloque aislado del resto de Gondwana.

"Los braquiópodos, grupo de organismos marinos cuyos primeros indicios datan de hace 500 millones de años, de Patagonia caracterizan climas más fríos que aquellas formas registradas al norte del país", explica Pagani. Pero sus evidencias no terminan ahí.

"También comprobamos que ciertos fósiles se corresponden con hallazgos en el este de Australia y el sureste asiático. Esto nos acerca más a la hipótesis de Pankhurst y Rapela, ya que la sutura que señalan permite un corredor marino que habría facilitado el intercambio de especies con aquellas regiones tan aisladas", relata la experta. ■

Diálogo con un investigador



Dialogamos con el investigador del CONICET Ernesto Calvo, doctor en electroquímica por la Universidad Nacional de La Plata y con estudios de posdoctorado en el Imperial College de Londres. Es miembro de la Royal Society of Chemistry y fue distinguido a lo largo de su carrera con la beca Guggenheim, el diploma al mérito de la Fundación Konex, y los premios Funprecit y Bernardo Houssay en Ciencias Exactas y Naturales al Investigador de la Nación.

¿Qué ventaja tiene el litio sobre el resto de los materiales para fabricar baterías recargables?

El litio es el metal más liviano, y por lo tanto la batería también lo es. Además, un auto a batería permite obviar todo el aparataje de un motor convencional. Esto, además de hacerlos más livianos, permitiría fabricar colectivos, autos y buses con el piso más bajo, necesario para las personas con discapacidad.

¿Qué importancia tienen este tipo de investigaciones sobre litio en el ámbito científico y académico?

Detrás de estos desarrollos hay tecnologías relevantes, con ciencia, física y química muy interesantes. Como esta tecnología no está totalmente desarrollada, abre muchísimas posibilidades para trabajar desde la ciencia básica.

¿Por qué eligió estudiar química?

Yo quiero ser químico desde los cinco años. Mi padre tuvo un accidente y estuvo internado seis meses en un hospital, donde me regalaron una caja llena de frasquitos de penicilina vacíos. Tengo una foto en la terraza de mi casa, por esa época, donde estoy jugando con los frasquitos. Siempre dije: "Quiero ser químico".

¿Qué importancia tiene fomentar la vocación científica en los estudiantes?

En 1968 participé en la feria de ciencia y un hombre se acercó a mi stand para mirar. Después me dijeron que era Bernardo Houssay, que iba a estos encuentros para hablar con los chicos. Y creo que esto es muy importante, desde el punto de vista de fomentar la vocación y apoyar al que tiene inquietudes. Nos bombardean con que las niñas tienen que ser modelos y los varones, futbolistas. Pero si no se apoya a los otros, que se interesan más por las ciencias, te estás perdiendo una fracción muy pequeña, pero muy valiosa.

¿Cómo se puede incentivar este interés en los estudiantes?

El problema pasa por la mala enseñanza de la ciencia. Un nene es curioso por naturaleza, la educación le presenta "verdades" y lo aleja de la curiosidad. Un científico debe ser un curioso por naturaleza. Si uno cree que estudiar química es aprender la nomenclatura de todos los compuestos en forma aburrida o que la física es resolver ecuaciones complejas, la está errando totalmente y ahuyenta a las personas. A la gente no le gustan la física o las matemáticas porque no se las enseñaron bien. ■

En un Instituto del CONICET en Rosario

Superbacterias: identifican mecanismo crucial para combatirlas

Investigadores argentinos descubrieron el proceso de activación de las enzimas que degradan una familia de antibióticos. A partir de estos resultados sería posible diseñar drogas que permitan atacar estas cepas, llamadas "superbacterias"

Ana Belluscio

A mediados de los 90 se detectaron por primera vez las metalo-beta lactamasas (MBL), enzimas que tornaban a las bacterias resistentes a los antibióticos de la familia de los Carbapenemes, usados como última línea de defensa frente a cepas multirresistentes. En la actualidad estas superbacterias son casi invencibles, ya que las MBL destruyen las drogas antes de que puedan actuar.

Sin embargo, un grupo de investigadores argentinos logró dilucidar los mecanismos que llevan a la activación de estas enzimas, el primer paso para diseñar una droga que pueda inhibir el proceso. Los resultados fueron publicados en la prestigiosa revista *Nature Chemical Biology*.

Hasta ahora no se conocía la forma que adoptaban las MBL dentro de la bacteria ni cómo eran activadas, ya que en todos los trabajos se estudiaban purificadas y en condiciones de laboratorio. "El problema es que uno puede diseñar inhibidores que van a funcionar en el tubo de ensayo, pero no en la bacteria", explica Alejandro Vila, investigador principal del CONICET y director del Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR).

Vila y su equipo demostraron que, dentro de las bacterias, las MBL necesitan dos átomos de zinc para poder actuar y degradar los antibióticos. Describieron además la estructura tridimensional de la enzima y cuáles son los sitios en los que se alojan los átomos del metal.

Para Mario Ermácora, investigador del CONICET en el laboratorio de expresión y plegamiento de proteínas de la Universidad Nacional de Quilmes, "esta sutil alteración en la forma en que se une el zinc a la enzima confiere a la bacteria una ventaja evolutiva" para poder resistir a los antibióticos.

De acuerdo con Vila, este hallazgo marca un punto de inflexión en la búsqueda de una solución al problema de las superbacterias. Con esta información ahora es posible encarar el desarrollo de un inhibidor que detenga la activación de las MBL.

De aquí en más, el equipo avanzará en el desarrollo de un fármaco que pueda poner un punto final a las superbacterias. "Hoy no hay tratamientos clínicos disponibles porque las MBL no pueden ser inhibidas, ya que no hay ningún inhibidor en el mercado", asegura Vila.

La última barrera de defensa

Marcelo Galas, jefe del departamento de bacteriología del Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas ANLIS "Dr. Carlos Malbrán", explica que en Argentina las MBL fueron aisladas por primera vez en dos bacterias hospitalarias que causan neumonía en pacientes internados: *Pseudomona aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*.

A medida que progresaba la resistencia de las bacterias a los antibióticos tradicionales, se desarrollaron otros nuevos para combatirlas. En los 90 se presentaron los Carbapenemes, una familia de antibióticos que constituía "el último recurso que un médico tiene que usar" frente a estas infecciones multirresistentes, explica Vila.

Pero a fines del siglo XX aparecieron las primeras cepas de bacterias con genes que codificaban para MBL, las únicas enzimas que podían atacar a los Carbapenemes. Para Vila, es un juego evolutivo: al aparecer estos nuevos antibióticos, las bacterias probablemente "reclutaron" los genes de estas enzimas para defenderse, y así nacieron las superbacterias.

Cuando aparecen bacterias con resistencia por MBL, "es casi como quedarte sin las últimas herramientas de tratamiento", comenta Galas, "por lo tanto son muy temidas en los hospitales y se hace todo lo posible para frenar la diseminación".

No tan nuevas

Las MBL pueden ser rastreadas a lo largo de la historia en diferentes microorganismos. Si bien fueron identificadas por primera vez en los años 60 en cepas no patógenas, recién en los 90 se encontraron en microorganismos asociados con infecciones en humanos.

Sin embargo, los genes que las codifican también fueron hallados en bacterias prehistóricas, llamadas "arqueobacterias". "Eso indica que en un principio tenían otra función en la célula bacteriana", dice Vila.

Estos genes, que en la naturaleza permiten a las bacterias sobrevivir, fueron "transferidos" a las bacterias patógenas que atacan al hombre, que evolucionaron sus mecanismos de defensa y se hicieron resistentes a los antibióticos.

Hoy en día, diseñar un inhibidor de MBL puede ser el primer paso para prevenir la diseminación de estas superbacterias. "Las infecciones bacterianas y la emergencia de resistencia a los antibióticos constituyen uno de los problemas médicos más importantes de la actualidad", concluye Ermácora. ■

Tecnópolis 2012

Investigadores del CONICET en la muestra de Ciencia, Arte y Tecnología

En esta nueva edición de Tecnópolis, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas acompaña al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en sus trece espacios temáticos

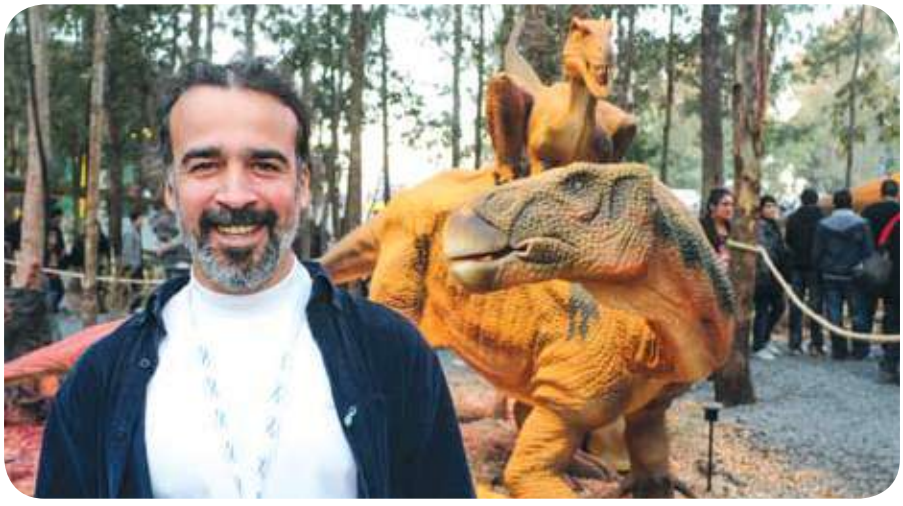
La presidenta Cristina Fernández de Kirchner inauguró la segunda edición de la feria organizada por la Unidad Ejecutora Bicentenario de la Secretaría General de la Presidencia de la Nación, la cual quedó abierta al público desde el sábado 14 de julio. El lema de este año es "Energía para transformar" y varios investigadores del CONICET participan con charlas dinámicas que abarcan temáticas desde biotecnología y genética, a rayos cósmicos, biodiversidad, robótica, matemática, arqueología y antropología hasta paleontología.

Conocer los misterios de la evolución

Sebastián Apesteguía, investigador del CONICET, habló en el espacio de paleontología sobre la evolución de los dinosaurios, sus diferentes características y cómo se relacionan con las aves actuales.

No hay como tener una exposición dedicada a los dinosaurios y al ambiente donde habitaron para explicar su evolución, cómo vivieron y se extinguieron. Los visitantes se congregaron con gran expectativa para charlar con Apesteguía, paleontólogo e investigador del CONICET en el Centro de Estudios Biomédicos, Biotecnológicos, Ambientales y Diagnósticos (CEBBAD) de la Universidad Maimónides.

Después de ver las reproducciones en tamaño natural, las primeras preguntas giraron en torno a si los humanos y los dinosaurios vivieron en la misma época. "No", respondió el especialista, "los humanos salimos hace casi 2 millones de años en África y ellos vivieron hasta hace 65 millones de años".



Su relación con las aves fue otro de los temas más tocados. Apesteguía explicó que distintos estudios muestran que las aves son dinosaurios vivientes, que pertenecen al mismo grupo que los velocirraptores. Comentó además que algunas investigaciones muestran que cuando se inhiben ciertos genes las aves pueden desarrollar dientes y cola, similares a las de sus ancestros.

"¿Alguna vez vamos a saber de qué color fueron los dinosaurios?", preguntó uno de los asistentes. "Difícil, pero tal vez a futuro", explicó, "porque las técnicas de laboratorio actuales no nos permiten reconocer los pigmentos de sus plumas, que se degradaron".

Apesteguía se especializa en reptiles de período Cretácico, que comenzó hace aproximadamente 144 millones y terminó 65 millones de años atrás. "En esa época vivían reptiles que medían desde 10 centímetros hasta 35 metros", dijo.

Trabajó en excavaciones en la Argentina y también en Bolivia, Ecuador, Estados Unidos, Francia y Hungría. Describió cinco dinosaurios nuevos y otros animales de esa época como el mamífero *Cronopio dentiacutus*, similar a una ardilla con dientes de sable, y la serpiente con patas *Najash rionegrina*. ■

Retablo de la iglesia principal de San Antonio. Data del siglo XVII y fue fotografiado en el convento de Santa Teresa de Potosí, adonde fue llevado hace un par de décadas. Había permanecido en su lugar de origen por más de tres siglos, incluso después de que el pueblo perdiera sus habitantes como consecuencia del cese de las explotaciones mineras a comienzos del siglo XVIII.

Raquel Gil Montero
Instituto Superior de Estudios Sociales,
Conicet Tucumán

San Antonio del Nuevo Mundo y las ciudades efímeras creadas por la minería de plata en los Andes coloniales

La minería colonial

La minería fue la principal fuerza impulsora de la economía de las colonias americanas de España, no solamente porque proporcionaba el grueso de las exportaciones a Europa, sino también porque promovió el desarrollo de los mercados regionales. Además, tuvo importantes repercusiones en la vida de las poblaciones indígenas. En los Andes esa actividad fue la responsable de enormes movimientos de población, por la atracción de mano de obra y de abastecedores por parte de los centros mineros, o por la huida de quienes procuraban evitar el trabajo forzado.

El mayor cambio en la historia minera de los Andes coloniales acaeció en 1545, con el descubrimiento por los españoles de las riquezas del cerro de Potosí. En el siglo XVI, de esas minas se extraía la mayor parte de la plata del mundo occidental, más que de cualquier otra fuente de ese metal en América. Durante su período de apogeo fueron el origen de cerca del 90% de la producción de plata del virreinato del Perú, y dieron lugar al principal centro urbano de América, que rondaba por entonces los 160.000 habitantes, un tamaño similar al de Londres o París en la época, y era un importante mercado por su enorme demanda de alimentos e insumos mineros.

Tres factores fueron importantes para el ascenso de Potosí: el trabajo forzado o *mita*, la técnica de la amalgama de mercurio para separar la plata del resto de los minerales, y el necesario abastecimiento de mercurio. La mita, instituida por el gobierno colonial en la década de 1570, implicaba que un porcentaje de los indígenas varones de entre dieciocho y cincuenta años de dieciséis provincias andinas fuera a trabajar a las minas de Potosí y a los ingenios de esa ciudad, es decir, los establecimientos en que se procesaba el mineral, y que cobraran un jornal muy por debajo del que conseguían los demás trabajadores. Aunque basada en un sistema incaico, la mita fue adaptada y regulada para tareas específicas por el virrey Francisco de Toledo; y si bien hubo diferentes tipos de

¿DE QUÉ SE TRATA?

La minería de plata fue la principal actividad económica durante los dos primeros siglos de dominio español de América, y una de las que más repercutió en la vida de las poblaciones indígenas.

ella, la potosina fue la más conocida por la cantidad de personas que afectó y por sus importantes consecuencias para la población indígena.

La técnica de la amalgama de mercurio, conocida desde tiempos romanos pero llevada a escala industrial por primera vez hacia 1550 en las minas coloniales mexicanas, se basaba en la propiedad del mercurio de amalgamarse con otros metales, en particular oro y plata. A diferencia de la fundición del mineral, procedimiento al que reemplazó, la tarea se llevaba a cabo parcialmente en frío, lo que disminuía el uso de combustible, un rasgo importante en regiones donde era escaso, como el altiplano. Una vez molido con mazos el mineral de plata, se lo mezclaba con mercurio en grandes playones o patios, lo que dio a la técnica el nombre de *beneficio de patio*. Permitió que se procesara mineral menos rico que el fundido en los inicios de las explotaciones y, en general, ocasionó una baja de los costos de producción de la plata. Requería importantes inversiones y la especialización de los trabajadores.

Desde fines del siglo XVI se explotaron numerosas minas en los Andes. En la zona de Lípez, que es objeto de nuestro estudio, hubo diferentes asientos mineros, cuya presencia afectó a toda la población del área. Aquel que produjo los mayores cambios demográficos, y el más importante, fue San Antonio del Nuevo Mundo, ubicado a más de 4500 metros sobre el nivel del mar. Atrajo población de todos los rincones del virreinato, en especial del norte de Lípez, cuyos poblados se vaciaron parcialmente pues sus habitantes se trasladaron al sudeste. Así, durante el apogeo de San Antonio, el patrón de asentamiento de la zona se invirtió y la mayoría de los habitantes dejaron de estar localizados en el entorno de Uyuni, donde habían estado mayoritariamente hasta entonces. Pero en el largo plazo esa situación fue efímera, y hoy San Antonio es un pueblo fantasma, por el que prácticamente solo pasan caravanas de turistas extranjeros en camino a las lagunas altoandinas de la cordillera.

Mapa de la región de Lípez, con la ubicación de San Antonio del Nuevo Mundo.

Vista panorámica de la zona del salar de Uyuni, en el norte del territorio de Lípez. Google Images

San Antonio del Nuevo Mundo

San Antonio recuerda en muchos aspectos a Potosí, aunque su vida fue breve y no pudo existir por mucho más de lo que duró la explotación de las vetas, como ocurrió con gran parte de los centros mineros. Los pastores actuales del sudeste de López cuentan que en los tiempos de apogeo, la gente, cegada por la plata, se dedicó a cometer pecados sexuales tentados por el mismo demonio, que se les presentaba vestido de sacerdote. Dicen, también, que desperdiciaban la comida revocando sus casas con quínoa y alimentando los fuegos con charqui. Según esa leyenda, un religioso venido de afuera logró engañar al diablo y lo ató con una cadena de oro a una piedra en la cumbre del cerro López. Sin embargo, este logró que bajara al pueblo una mujer, la que causaba la muerte de todos quienes vivían en las casas que visitaba. Relatan que esa mujer fue la peste que acabó con la población.

Lo que podemos escribir los historiadores carece del sabor de esos relatos, pero no es menos asombroso. En algún momento entre 1635 y 1647 se descubrieron en López las primeras vetas de plata y comenzó un veloz poblamiento. El pico de producción se ubicó en torno a 1655, pero desde 1660 sobrevinieron inundaciones que afectaron el trabajo minero y algunos de sus inversores lo abandonaron, seguidos de pobladores. A comienzos de la década de 1670, Antonio López de Quiroga, un importante minero potosino, conocido por haber realizado numerosas innovaciones técnicas en la actividad, logró desagotar las principales vetas. Como consecuencia, acaeció un segundo pico de producción, que en las décadas de 1680 y 1690 convirtió a López en el segundo centro productor regional de plata, después de Potosí. En esos años se realizaron dos empadronamientos de la población, con cuyos datos se pudo confeccionar un mapa de las migraciones que originó San Antonio, pues, como todo asiento minero, atrajo mano de obra. Los migrantes provenían de lugares alejados y dispersos del virreinato del Perú, desde el Cusco a la actual provincia argentina de Jujuy. La gran mayoría de ellos o de sus padres había nacido en las zonas mitayas, es decir, las que tenían obligación de mandar trabajadores a las minas de Potosí.

La influencia de Potosí en la geografía de la migración tiene su lógica, dado que era el centro de aprendizaje de la técnica de la amalgama con mercurio. Potosí, además,

LA TRIBUTACIÓN COLONIAL

Todos los indígenas varones de entre dieciocho y cincuenta años debían pagar tributo como vasallos de la Corona. La forma y los destinatarios del tributo fueron cambiando con el tiempo y el lugar. En un inicio predominó el sistema de *encomiendas*, que tuvo como beneficiarios a los primeros conquistadores y sus herederos. Los indígenas encomendados estaban obligados a entregar servicio personal, al comienzo ilimitado, a cambio de educación cristiana. Con el tiempo, se fue regulando lo que debía entregarse como tributo, excluyendo de a poco el servicio personal e incluyendo bienes y plata (u oro). Las encomiendas fueron desapareciendo: hacia el final del período colonial la Corona fue la principal destinataria de los tributos.

El tributo tuvo consecuencias directas e indirectas sobre la organización del trabajo de los indígenas. La encomienda, sobre todo en sus inicios, y la mita implicaban la ejecución directa de trabajo. La tasación del tributo en bienes o en dinero, si bien no implicó directamente trabajo, obligó a los indígenas a incorporarse a los circuitos mercantiles vendiendo su fuerza de trabajo o participando en los mercados urbanos y mineros para poder pagar el tributo.

era donde vivían muchos de los inversores regionales, el mercado más importante de insumos y alimentos, y el proveedor de una parte significativa de los trabajadores especializados. La geografía de la migración respondió, también, a los esfuerzos que hacían los mitayos por pagar a alguien que los reemplazara en la mita, y así poder trabajar en tareas mejor retribuidas. Por ello, muchos seguían un itinerario migratorio que los llevaba en cada momento a las minas de mayor producción.

En el sudeste de Lípez el medio no permite la agricultura. Como estaba lejos de los centros urbanos importantes, era necesario llevar desde lugares relativamente distantes todos los alimentos requeridos por sus habitantes y los abastecimientos necesitados por la minería. Lo único que había y no debía traerse de afuera era agua, indispensable para actividad minera, y algunas escasas pasturas para las llamas. La mayor parte del transporte de los alimentos –quínoa, harina, coca, charqui, maíz, yerba, azúcar, vino, tabaco, pescado– y de insumos mineros –sal, mercurio, leña, carbón, herramientas, maderas para la construcción, bolsas para cargar el mineral, velas– se cargaba en llamas. Solo había unas pocas mulas, por lo caro que resultaba mantenerlas debido a la falta de pastos adecuados en esas alturas. La mayoría de los animales de origen europeo –mulas, burros, vacas, bueyes, cabras y ovejas– vivían hacia el sur de San Antonio, en las cercanías del río Grande de San Juan, en el actual límite entre Bolivia y la Argentina, donde había minas más pequeñas, ingenios y hornos de fundición. Todos estos asentamientos estaban relacionados entre sí por la circulación de empresarios, trabajadores y abastecimientos.

El asiento minero de San Antonio estaba dividido en tres conjuntos productivos y residenciales: en uno, conocido propiamente por ese nombre, residían las autoridades civiles y eclesiásticas y los inversores, más un variado grupo de pobladores. Allí se encontraban las principales iglesias, además de algunos ingenios construidos para procesar el mineral extraído. Atravesando una loma en la que estaba la mayoría de los accesos a las minas, se encontraba el Huaico Seco, un suburbio nacido espontáneamente en torno a esos accesos y habitado por una población heterogénea a la cual las autoridades caracterizaban como independiente. Allí abundaban trapiches y hornos que permitían el procesamiento sin mucho capital de los minerales. Finalmente estaba la Ribera de los Ingenios, en un pequeño valle en el que había agua y en el cual se habían construido algunos molinos hidráulicos además de viviendas. Allí estaba localizada la mayor parte de los ingenios.

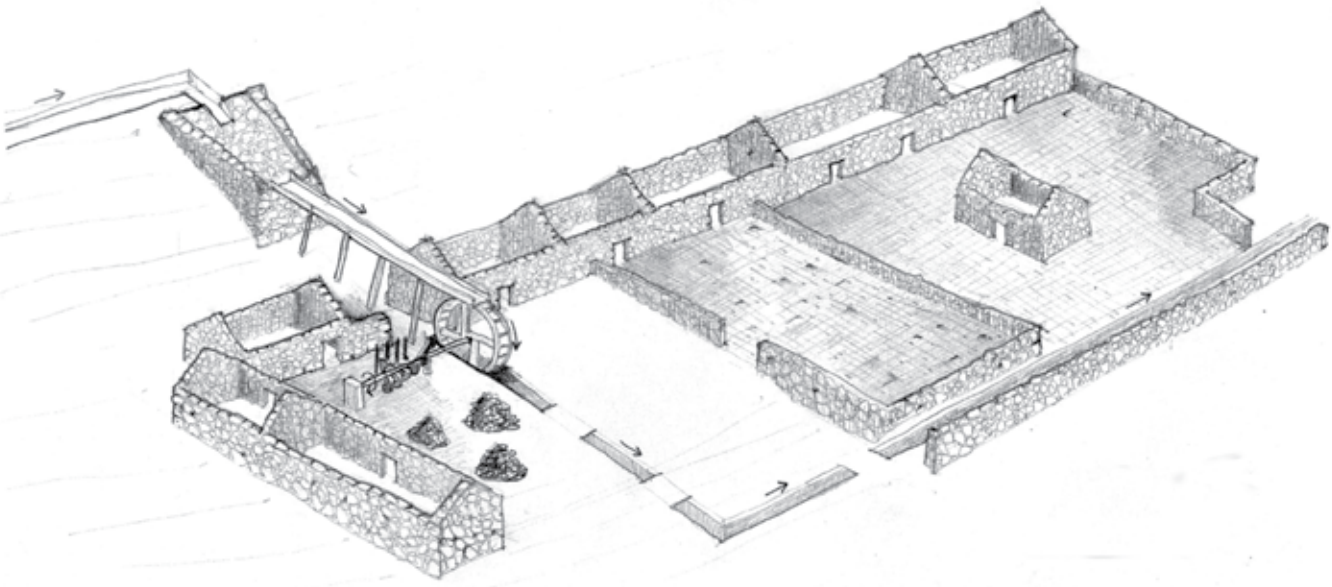
En conjunto San Antonio debió tener en su apogeo más de seis mil habitantes, es decir, la población que alcanzó la ciudad de Córdoba solo un siglo después. Las descripciones de viajeros de la época señalan la existencia de seis o siete iglesias, entre ellas la más importante de todos los centros mineros regionales. Su estructura urbana respondía más a la de un campamento que a la de una ciudad de Indias, es decir, no estaba dispuesta en el clásico damero que establecía la legislación colonial ni rodeaba una plaza, sino que se había crecido espontáneamente a medida que prosperaba.

Como en muchos poblados mineros, en San Antonio del Nuevo Mundo había casas de juego y negocios ilegales, sobre todo en Huaico Seco, cuyos habitantes, lejos del control de la ley y de las autoridades, se tomaban unas libertades que provocaban las quejas de las últimas. Según el corregidor, vendían herramientas robadas y el mineral de mayor ley, que era molido en pequeños trapiches de piedra y fundido en hornos clandestinos. San

Laguna Colorada, una de las lagunas altoandinas del sudoeste de Lípez. Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Avaroa. Google Images

Página siguiente
Foto actual de los restos del sector central de la aglomeración de San Antonio del Nuevo Mundo.

Foto actual de Huaico Seco, uno de los sectores que formaban la aglomeración de San Antonio del Nuevo Mundo.



Croquis preparado por la autora y Jorge Tomasi, sobre la base de restos relevados en el sitio, como representación posible de uno de los ingenios de San Antonio del Nuevo Mundo. Lo que muestra el dibujo mide unos 100 x 300m. La rueda era movida con agua proveniente de una toma cercana y accionaba los mazos que molían el mineral. En el patio empedrado se colocaban los buitrones para realizar la amalgama.

Antonio y Huaico Seco se distinguían más por sus construcciones y las actividades que tenían lugar en cada uno que por la etnia de sus habitantes.

Los ingenios

Los ingenios eran instalaciones de diferentes tamaños y arquitectura. La descripción que hacemos aquí, basada en los inventarios de época, incluye todos componentes nombrados en ellos, los que no necesariamente estaban presentes en cada ingenio.

Lo que definía un ingenio era la cantidad de trapiches o mazos para moler el mineral, movidos con frecuencia, aunque no siempre, por la fuerza del agua. La mayoría de los ingenios de la región eran de ocho mazos.

Uno muy completo tenía, por lo general, una pared perimetral que encerraba varios hornos de diferentes tamaños y funciones, algunos colocados juntos, dentro de una habitación. Podía también haber hornos para hacer pan y para cocer cerámica. Con esta se confeccionaban recipientes para separar el mercurio de la plata.

En el recinto había también galpones, en los que se guardaban balanzas, yareta (*Azorella compacta*, una planta utilizada como combustible), sal, herramientas, mineral, mercurio y otros metales como plomo o hierro. En adición, se encontraba despensas o almacenes para la comida y otros bienes utilizados para pagar a los indígenas (por ejemplo, ropa). En un patio solía estar el *buitrón* (un gran cajón en el que se amalgamaba la plata contenida en el mineral con mercurio), fraguas y sus herramientas asociadas, en particular yunques, y el lavadero con sus ruedas y tinas.

Había también viviendas, que se diferenciaban por la calidad de su construcción y eran llamadas (en orden descendente) casas, ranchería y *guasis*. No faltaba una capilla.

En un ingenio trabajaban muchas personas, fuera en las tareas internas o como proveedores externos de insumos o avíos. Entre estos se destacaba el mineral sacado de la mina, que era almacenado en cajones esperando ser molido hasta convertirlo en 'harina' a ser tamizada con unos cedazos nombrados en gran parte de los inventarios. A la harina se agregaban diferentes componentes, como sal, mercurio, otros metales y agua, con lo que se formaba un barro que pisaban en los buitrones durante varios días, para mezclarlo, unos indígenas descalzos llamados *repasiris*. Cuando la amalgama estaba lista, se la lavaba en las tinas, y después se separaba el mercurio evaporándolo para obtener la plata.

La población de San Antonio

Una de las principales fuentes de información sobre la sociedad indígena son los registros de las inspecciones o *visitas* que practicaban las autoridades coloniales para contabilizar a los tributarios o quienes estaban sometidos a diversas obligaciones coloniales. Esos registros contienen información cuestionable en cuanto a su calidad estadística, pero insustituible porque constituyen una descripción de muchos aspectos de la vida del pasado. A partir de los correspondientes a San Antonio sabemos que los migrantes laborales llegaban con toda su familia y sus animales, y

se asentaban dispersos en un radio relativamente amplio en torno a la ciudad. Trabajaban en diferentes actividades, en los ingenios, en las minas o en el abasto de leña, sal y yareta. Las mujeres se ocupaban principalmente de la molienda del mineral y del servicio de la población general. Como las llamas necesitaban descansar regularmente, era importante prever un recambio regular de animales. Algunas llamas estaban en lugares cercanos, pero no podían ser muchas por la falta de pastos. No había entonces gran separación entre el mundo rural de los trabajadores y el urbano que había formado la minería.

Otras fuentes de información, que no proporcionan datos demográficos cuantitativos, son los protocolos notariales o los juicios, que muestran la diversidad étnica de San Antonio, con esclavos llegados de África –pocos, empleados en tareas domésticas–, españoles y portugueses, mestizos e indígenas 'libres', es decir, que parecían estar fuera de los padrones de tributarios. Llegaban muchos soldados desocupados, que generaban conflictos y preocupaban a las autoridades, pues no los podían controlar con facilidad. Los registros describen las posibilidades de diversión que tenían los hombres y en las que gastaban sus ingresos: juegos de azar, bebidas y mujeres.

La decadencia

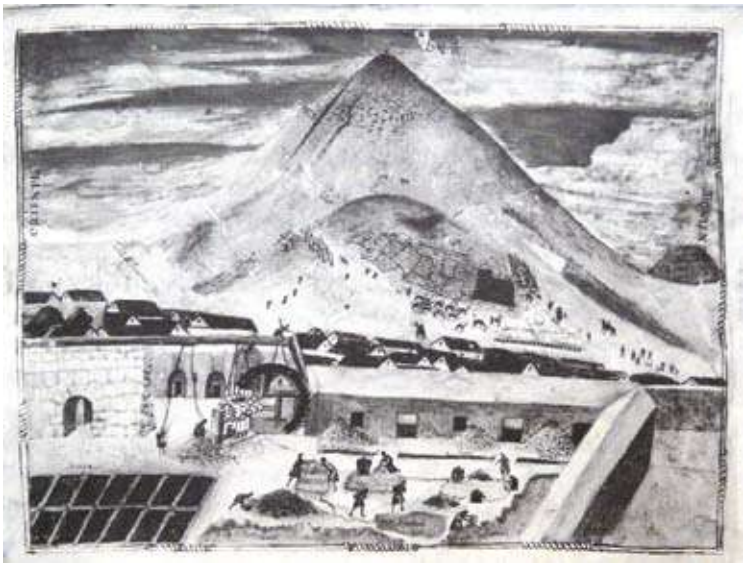
Después del segundo pico de producción mencionado, en la década de 1690, las galerías volvieron a inundarse. La solución de ese problema resultaba tan cara que nunca se puso en práctica. Con esa inundación, la minería de San Antonio se hizo mucho más costosa, hasta ser prácticamente insostenible. Rápidamente la aglomeración se despobló, aunque por muchos años siguieron viviendo en ella algunas personas, un párroco y la autoridad civil de turno. Su sustento ya no provenía de las minas, sino de los impuestos pagados por los pocos trapiches que continuaban funcionando, de los tributos cobrados a los indígenas y de las mercancías que 'vendía' el corregidor y debían comprar obligadamente estos últimos. Con el tiempo se fue el cura, el corregidor se trasladó a San Pablo y solo quedaron los pastores. La población se volvió a dispersar en el territorio y terminó adoptando una distribución parecida a la que había tenido antes de la llegada de la minería.

Una comunidad en cinco siglos

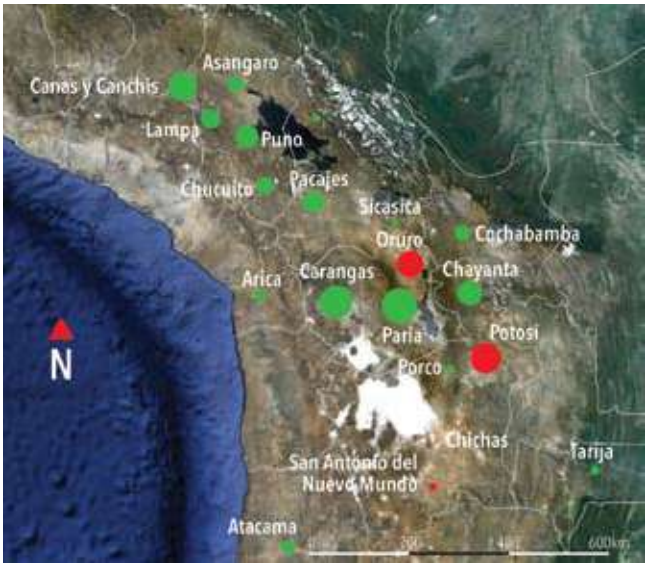
Si analizamos la evolución demográfica de Lípez desde la altura de los tiempos en que nos encontramos, advertimos un crecimiento sostenido a partir del siglo XVI, que se acelera notablemente durante el XX. En rigor, nunca hubo allí tanta población como hoy, cuando habita en localidades relativamente grandes comparadas con los poblados prehispánicos o coloniales.

Pero en los dos siglos iniciales de ese largo período, que son los tratados en este artículo, hubo dos momentos críticos, en los que se registró un importante descenso de la población: uno a comienzos del siglo XVII y el otro a comienzos del XVIII. En ambos, se produjo, además, una redistribución de los habitantes en el territorio. El primero se debió a la demanda de mano de obra de los más importantes centros mineros y agrícolas, sobre todo

Grabado de época de un ingenio minero de Potosí. Se destacan la rueda impulsada por agua que mueve los mazos usados para triturar las piedras, las bateas (abajo, izquierda) con la mezcla de mineral y mercurio, y al fondo, el cerro Rico, fuente de la riqueza. Colección Hispanic Society of America



Lugar de origen de los forasteros empadronados en Lípez en 1683. El tamaño de círculos es proporcional a la cantidad de migrantes. En verde, provincias; en rojo, ciudades. Confeccionado por la autora con datos del empadronamiento de ese año, que se puede consultar en el AGN (13-18-6-5).



Explotación actual de sal en el salar de Uyuni.

LECTURAS SUGERIDAS

BAKEWELL P (ed.), 1997, *Mines of Silver and Gold in the Americas*, Variorum, Brookfield.

—, 1988, *Plata y empresa en el Potosí del siglo XVII. La vida y época de Antonio López de Quiroga*, Exma. Diputación de la Provincia de Pontevedra.

GIL MONTERO R, 2011, 'Los pastores frente a la minería colonial temprana. Lípez en el siglo XVII', en Nuñez L & Nielsen A, *En ruta. Arqueología, historia y etnografía del tráfico surandino*, Encuentro Grupo Editor, Córdoba.

MARTÍNEZ JL, 1995, 'Papeles distantes, palabras quebradas. Las informaciones sobre los lipes en el siglo XVI', en Presta AM (ed.), *Espacios, etnias y fronteras. Atenuaciones políticas en el sur del Tawantinsuyu, siglos XV-XVIII*, Asur 4, Sucre.

NIELSEN A, 1998, 'Tendencias de larga duración en la ocupación humana del altiplano de Lípez', en Cremonte MB (ed.), *Los desarrollos locales y sus territorios. Arqueología del NOA y del sur de Bolivia*, Universidad Nacional de Jujuy.

PLATT T, 1987, 'Calendarios tributarios e intervención mercantil. La articulación estacional de los *ayllus* de Lípez con el mercado minero potosino', en Harris O, Larson B & Tandeter E (eds.), *La participación indígena en los mercados surandinos. Estrategias y reproducción social. Siglos XVI al XX*, Ceres, La Paz.

Raquel Gil Montero

Doctora en historia, Universidad Nacional de Córdoba.
Investigadora adjunta del Conicet.
raquelgilmontero@conicet.gov.ar

Potosí. En 1603 tuvo lugar el primer empadronamiento colonial, cuyos valores nos proporcionan datos demográficos fundados. Con ellos se ha estimado que la población de Lípez sujeta al pago de tributo había caído un 40% comparada con la estimada medio siglo antes. De quienes permanecieron, solo un 4% vivían en el sudeste de ese territorio, es decir donde se localizó San Antonio, mientras que el resto estaba en torno al salar de Uyuni.

La caída demográfica se detuvo con la explotación minera de San Antonio, por la llegada de migrantes. Cuando se realizó otro recuento de población, en 1683, durante el segundo pico de producción mencionado, el norte de Lípez se había casi despoblado y los habitantes se habían concentrado en el sudeste. Quienes permanecían en torno al salar de Uyuni decían que allí solo habían quedado los viejos, y que no se podía ni cultivar.

Unos veinte años después, cuando tuvo lugar el empadronamiento de 1725, la explotación de las vetas de San Antonio había entrado en decadencia y, concordantemente, aquellos migrantes se habían marchado y la población había otra vez disminuido. Con el tiempo, la distribución de los habitantes en el territorio volvió a parecerse a la de tiempos anteriores a la mina: en 1804 un 36% de ellos vivía en el sudeste, y en 2001 lo hacía un 22%.

Estudiar un sitio razonablemente bien preservado como San Antonio permite avanzar en el conocimiento de la tecnología que se aplicó en muchas minas de plata de las colonias españolas de América. Como gran parte de los mineros que se establecieron en el actual territorio argentino y crearon las más tempranas explotaciones en tiempos coloniales provenían de esa región, su estudio nos resulta especialmente interesante, sobre todo por la escasa documentación disponible sobre el período temprano de la dominación española. Lo ocurrido en San Antonio desmiente, además, una de las afirmaciones clásicas de los estudios de población, según los cuales la minería requería pocos trabajadores: en los siglos XVI y XVII la industria hacía claramente intenso uso de mano de obra. El relato, por otra parte, muestra un proceso de larga duración —descubrimiento, apogeo, ocaso— clásico en gran parte de las explotaciones mineras, aun en la actualidad.

Es notable para un historiador del siglo XXI que la memoria oral de la población de San Antonio exceda las cinco generaciones, y que los habitantes actuales mantengan viva la leyenda de la riqueza y decadencia por una peste de origen diabólico del mayor centro urbano colonial del territorio de Lípez. Sin duda, la evidencia documental demuestra que están en lo cierto en cuanto a la riqueza y la decadencia, y quizá también lo estén sobre las causas de la última, solo que las expresan con la figura literaria de la peste, que nosotros malinterpretamos al tomarla de manera textual… CH

El texto anterior es una síntesis del trabajo de la autora en el marco de una beca de la fundación John Simon Guggenheim.

Guadalupe Nogués
Asociación Civil Expedición Ciencia

¿Qué es un ser vivo?

Definir la vida: los problemas que crea un problema

La enseñanza de ciencias en los niveles primario o secundario presenta pocos problemas tan ricos como el de enseñar a distinguir entre qué está vivo y qué no lo está. Intelectualmente, es el primer problema con el que se enfrenta la biología, y uno de los más sutiles. El *Diccionario de la Real Academia Española* define vida como:

1. Fuerza o actividad interna sustancial, mediante la que obra el ser que la posee.
2. Estado de actividad de los seres orgánicos.

La primera acepción es clara: concibe la vida como un principio interno de algún tipo que caracteriza como vivo al sujeto que lo posee. Responde a una concepción filosófica que suele llamarse *vitalismo*. La segunda acepción, en cambio, puede inducir a confusión: podemos suponer que sus autores no quisieron afirmar que una gota de petróleo que cae de un décimo piso está viva, por ser una sustancia orgánica en la actividad de caer; pero no está claro qué quisieron afirmar. Seguramente consideraron que ser orgánico es sinónimo de ser vivo, y es distinto de lo que los químicos llaman *sustancia orgánica*, en cuyo caso ambas acepciones son prácticamente iguales.

Un diccionario, sin embargo, no define conceptos: solo registra el significado de palabras. En una obra mencionada entre las lecturas sugeridas, el biólogo Ernst Mayr (1904-2005) escribió:

> *Se ha intentado una y otra vez definir la vida. Esos esfuerzos han sido más bien inútiles, ya que está ahora muy claro que no hay ninguna sustancia especial, objeto o fuerza que pueda ser identificado con la vida. La vida como proceso, sin embargo, se puede definir. No hay duda de que los organismos vivos poseen ciertos atributos que no se encuentran, o no de la misma manera, en los objetos inanimados. Diferentes autores han destacado distintas características, pero no he podido encontrar en la literatura una lista adecuada de ellas.*

Destaquemos en la cita anterior la afirmación de que *la vida como proceso se puede definir*: Para hacerlo, el problema principal, como tantas veces en la investigación científica, es formular la pregunta más adecuada, esto es, la más productiva. Si nos preguntamos *¿qué es la vida?*, difícilmente podamos salir de respuestas como las del diccionario. Si, en cambio, empezamos por preguntarnos *¿qué cosas están vivas?*, el camino se pone más interesante, primero porque la pregunta se refiere a algo que podremos investigar y, segundo, porque marca el inicio de un itinerario que nuestros estudiantes pueden hacer por sí mismos, si bien con nuestra ayuda.

Empecemos, como propone Mayr, por buscar *el tipo de características por las cuales los organismos vivos difieren de la materia inanimada*. Esta pregunta y sus ramificaciones nos servirán para ejemplificar un modo específico de enseñar ciencias en la escuela, que busca proporcionar a los alumnos, al mismo tiempo, ciertos contenidos conceptuales propios de la disciplina (en este caso, las características de los seres vivos y los niveles de organización de la materia), y herramientas de pensamiento que llamamos *competencias científicas*.

Son dos objetivos complementarios que se potencian mutuamente. Recordemos ante todo que, como señalan Gabriel Gellon y sus colegas en otro libro incluido entre las lecturas sugeridas:

> *En el aula, la fuente última del saber es tradicionalmente el docente o el libro de texto. Pero un estudiante que nunca puede apreciar hasta qué punto las ideas científicas derivan del estudio de una realidad externa a nosotros tendrá una idea distorsionada del valor de un enunciado científico. Si en nuestras clases de ciencia la respuesta siempre está en los libros y nunca en los resultados de los experimentos, estamos proveyendo una visión mutilada o falsa de la ciencia.*

Si nos limitáramos a reemplazar una definición de diccionario por una lista de características de los seres vivos, habríamos mejorado muy poco: solo habríamos cambiado una versión de enciclopedia por otra. El camino que proponemos aquí es muy distinto: que los alumnos, partiendo de determinados ejemplos, y con la guía del docente, lleguen a una clasificación de un grupo de objetos en vivos y no vivos. Una vez que se tenga cierto acuerdo acerca de qué propiedades distinguen a la materia viva del resto, podremos establecer una definición de vida *a partir de esas propiedades*. Luego podremos aplicarla a nuevas situaciones para *decidir* si algo está vivo o no lo está. Este método nos permitirá construir *definiciones operacionales*, que siguen el orden lógico habitual en la práctica de la ciencia y evitan desplazarse a una reflexión filosófica, que para la ciencia suele resultar tan peligrosa como estéril.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Está vivo o no está vivo: esa es la cuestión. ¿Cómo la resolvemos? Y, ¿por qué abordarla en el aula?

Notemos, de paso, que el proceso es iterativo: una vez que se arriba a una definición derivada de un conjunto de objetos, es posible (y aun deseable) ponerla a prueba con otros objetos, para ver si los cubre satisfactoriamente y, si fuera necesario, refinar la definición. Para cumplir este proceso son necesarias capacidades que también es fundamental enseñar.

La enseñanza de esas capacidades será exitosa si los alumnos logran generar sus propias definiciones operacionales, basadas en criterios de clasificación también propios. En consonancia con lo que proponemos para el aula, esta misma frase es una definición operacional que permite medir el éxito de la enseñanza.

La experiencia del aula

¿Cómo proceder en el aula para aplicar estas ideas? En lo que sigue nos centraremos en la discusión del tema con estudiantes secundarios, aunque el método es adaptable a cualquier nivel escolar.

El primer paso es intentar llegar a una definición operacional de la vida a partir de algunos ejemplos (perro, bacteria, planta, piedra, etcétera) que los alumnos puedan clasificar como vivos o no vivos. Una vez hecha la clasificación, les pedimos que reflexionen sobre cómo la hicieron, y que hagan explícitos los criterios que utilizaron. Lo que queremos es que tomen conciencia de esos criterios y puedan explicarlos. A menudo, el proceso mismo de explicación los hace descubrir los límites de los criterios elegidos y los lleva a revisarlos.

No es necesario guiarlos en la elección de criterios, los que dependerán de la edad y la madurez de los alumnos: en niños pequeños probablemente aflore una asociación entre el movimiento y la vida, mientras que los mayores asociarán a los seres vivos con características como la capacidad de reproducirse, de crecer o de tener metabolismo.

Cualquiera sea la lista que los alumnos definan, la tomaremos como base para la siguiente etapa. Si no llegan a proponer todas las propiedades que al docente le interesan, este podrá guiarlos señalando aspectos pasados por alto de los seres vivos de los que se partió, por ejemplo, además de los nombrados, homeostasis, capacidad de evolucionar y otros.

Con esto se habrá llegado a una definición operacional del estilo 'un ser vivo es aquel que presenta las siguientes propiedades: ...'. Una vez allí, conviene que el docente ponga en crisis la definición incorporando un objeto nuevo que entre en conflicto con ella, sea porque quedaría mal clasificado, o porque no hubiese posibilidad de clasificarlo. Más adelante mencionamos varios posibles, que suelen desafiar a los alumnos. El objetivo de la nueva incorporación es hacer evidente la necesidad de refinar la lista de criterios y de ajustar las propiedades seleccionadas.

Niveles de organización

Uno de los puntos más interesantes de esta manera de enfrentar el problema de cómo definir la vida es que permite conectarlo inmediatamente con los *niveles de organización de la materia*, por lo menos en el ámbito propio de la biología. Esos niveles de organización abarcan desde átomos y moléculas, pasando por células, tejidos, órganos y sistemas de órganos, hasta organismos pluricelulares e incluso más allá, con poblaciones y comunidades. Hay mucho que ganar relacionando ambos temas.

Tomando el rango de organización que va desde los átomos a los organismos pluricelulares, podemos sugerir a los alumnos que apliquen los criterios que definieron a los distintos niveles. Llegarán rápidamente a la conclusión de que átomos y moléculas no están vivos, y que, a partir del nivel celular, se encuentran presentes las propiedades de los seres vivos que especificaron. De esta manera, *concluirán* que una célula es la mínima unidad que posee vida, algo que habrán deducido en vez de aceptado axiomáticamente, como ocurre con frecuencia. Les quedará luego claro que el siguiente nivel, el de los tejidos, que están compuestos por células, también está vivo, y así sucesivamente. Esto lleva a una conclusión importante: hay una continuidad de la vida, una integración de funciones vitales simples en otras más complejas.

La definición operacional de vida en situaciones límite

Llegados a este punto se impone volver a desafiar la definición acordada con nuevos ejemplos, que el docente elige con la intención de crear dudas sobre la clasificación. Se puede indicar a los estudiantes que analicen, entre otros, los casos de una semilla, un virus, un animal muerto, una manzana caída de un árbol, un espermatozoide y el fuego.

Una semilla plantea una situación difícil: por un lado, en condiciones apropiadas germina y da origen a una planta, que es sin duda ser vivo; pero, ¿y si no germina? Las semillas son en realidad una etapa del ciclo vital de un ser vivo, es decir, de la planta que germina a partir de ella. Pero, por otro lado, no parecen presentar algunas de las propiedades de los seres vivos: no se reproducen en forma de nuevas semillas, sino que contienen un embrión que crecerá para dar un organismo que, a su vez, producirá más semillas. El individuo, en el caso de la semilla, es el embrión contenido en ella.

Sin embargo, las semillas son capaces de reaccionar a estímulos del medio, como las condiciones adecuadas para su germinación. Las células de su interior respiran y realizan todas las reacciones químicas de cualquier célula, pero lo hacen muy lentamente. De hecho, su metabolismo es tan reducido que es prácticamente indetectable. En esos casos muchas veces se habla de vida latente. Un argumento a presentar a los alumnos si colocan a la semilla en el grupo de los no vivos es que la planta a la que dé origen provendría en tal caso de algo no vivo, y esto no es posible: sobre la base de mucha evidencia experimental sabemos que no ocurre generación espontánea de vida a partir de materia no viva.

Acerca de los virus, la comunidad científica no logra consenso: hay quienes los consideran vivos y quienes no. Para empezar, no son células, lo que desafía el concepto de que las células son la unidad mínima de la vida: se ubican en el nivel molecular de organización. Sin embargo, son agrupaciones muy complejas de moléculas que presentan propiedades que las moléculas comunes no tienen. Mientras un virus no está infectando una célula, no posee ninguna propiedad de los seres vivos: es una agrupación totalmente inerte de moléculas. Pero en cuanto infecta una célula, se comporta como un parásito que utiliza recursos de ella para sobrevivir: puede fabricar copias de su ácido nucleico y generar nuevas partículas virales, por lo que claramente se reproduce. También es capaz de evolucionar, como vemos en las mutaciones de los virus de la gripe, que obligan a generar nuevas vacunas cada año. Si nos ceñimos a rajatabla a la idea de que los seres vivos deben consistir de, por lo menos, una célula, los virus no están

vivos. Pero si somos más flexibles, apreciaremos que son capaces de hacer cosas que no podrían hacer si no estuvieran vivos. A los efectos del trabajo en el aula, no es estrictamente necesario despejar este dilema. De hecho, es un excelente ejemplo de cómo, en la ciencia, no siempre hay acuerdo total ni siempre existe la posibilidad de arribar en todos los casos a respuestas 'correctas'.

Un animal muerto permite analizar una situación que podríamos considerar opuesta a la vida. Pero, ¿es un ser muerto igual a un objeto no viviente? Al intentar responder a esta pregunta, es frecuente que los alumnos inviertan causa y consecuencia, algo que –de ocurrir– es importante hacerles notar. Muchas veces dicen: 'Como está muerto, no puede hacer lo que hacía cuando estuvo vivo'. En realidad, se trata de un animal que hacía lo que hace cualquier ser vivo, pero dejó de hacerlo. Y a eso llamamos muerte, algo que, también como una definición operacional, podemos establecer a partir de la definición de vida, porque una depende de modo indisoluble de la otra. Un objeto no vivo nunca lo estuvo ni lo estará.

Otro asunto que puede ser interesante discutir es que, después de que el animal murió, la mayor parte de sus células continúan vivas, y algunas de ellas suelen permanecer así por horas. Podríamos intentar definir la muerte, entonces, como la pérdida del nivel de organización más alto, el del organismo. En los trasplantes de órganos y tejidos, estos están vivos, aunque el organismo donante ya no lo esté, de modo que los trasplantes proporcionan otra posible línea de argumentación para discutir las diferencias entre lo vivo y lo no vivo.

Una manzana en el árbol se compone de células que están vivas, pero la manzana no se reproduce para dar manzanas. La manzana no es un organismo, no es un individuo. Cuando está en el árbol, se comporta como un órgano, no muy distinto de nuestro hígado. Una manzana no es un ser vivo sino una parte de un ser vivo.

Un espermatozoide o cualquier gameto es una célula que claramente está viva. Pero los gametos tienen una función bastante limitada: si un espermatozoide fecunda un óvulo, se forma una célula nueva que ya no es uno ni el otro, sino una combinación de ambos, y cuyas duplicaciones sucesivas generarán un embrión, y este luego será un animal pluricelular. Pero para ese momento el espermatozoide dejó de existir como tal. Un espermatozoide no se puede reproducir para dar lugar a más espermatozoides, pero eso no lo excluye de la compañía de los seres vivos, porque es una célula que forma parte del ciclo de vida de un individuo, aunque su ciclo propio de vida termine tanto al fecundar un óvulo como al morir. El criterio de reproducción de los seres vivos es muy relativo y debe ser tomado con flexibilidad: más allá de que el individuo se reproduzca, debemos considerar que la especie lo haga.

El fuego es un ejemplo muy interesante y divertido. Los niños muy pequeños suelen pensar que está vivo, en gran parte porque se mueve, se alimenta y respira. Pero incluso los más grandes advierten que el fuego consume un combustible, es decir, se alimenta. Recordemos que el alimento o combustible por excelencia de los seres vivos es la glucosa, pero el fuego puede usar como combustible una amplia variedad de moléculas. Además, consume oxígeno y expele dióxido de carbono como lo hacen los seres vivos, es decir que tiene toda la apariencia de respirar y tener metabolismo. Sin embargo, le falta la capacidad de evolucionar, de mantener cierta identidad y de transmitirla a una descendencia, pues cambia según lo que consume.

Sugerencias para el aula

Hasta aquí presentamos algunas posibles situaciones problemáticas para trabajar las definiciones de vida y de niveles de organización. Son solo ejemplos: el docente podría elegir otros y descartar algunos de los que dimos, en función del recorrido mental por el que desee conducir a sus alumnos. En nuestra experiencia advertimos que la secuencia relatada se enriquece mucho con el trabajo en grupo en el aula. Es fundamental que el docente tenga claro, antes de comenzar, qué quiere enseñar. Del lado de los conceptos, se pueden cubrir las características de los seres vivos, la célula como mínima organización viva y niveles de organización de la materia. Del lado de las competencias científicas o habilidades de pensamiento: observar, comparar, clasificar con criterios propios o dados y argumentar sobre la base de evidencias, entre otras.

En un libro mencionado entre las lecturas sugeridas, el físico y educador Arnold B Arons (1916-2001) incluyó una lista de lo que consideró que una persona debería ser capaz de hacer para considerarla científicamente alfabetizada. Los primeros dos puntos que menciona son los siguientes, y son claramente adaptables a lo trabajado en este artículo:

- Reconocer que los conceptos científicos (por ejemplo, velocidad, aceleración, fuerza, energía) son inventados (o creados) por actos de la imaginación e inteligencia humanas, y no son objetos tangibles o sustancias descubiertas accidentalmente, como un fósil, una planta o minerales nuevos.
- Reconocer que para ser entendidos y usados correctamente, dichos términos requieren definiciones operacionales cuidadosas, basadas en experiencia compartida y en palabras simples definidas previamente; entender, en otras palabras, que un concepto científico incluye una idea primero y un nombre después, y que su comprensión no reside de por sí en la terminología técnica.

La siguiente serie de tareas y preguntas puede ayudar a conducir diversas partes del ejercicio:

- Expliciten qué características de los objetos que analizaron tomaron en cuenta para clasificarlos como algo vivo o no vivo.
- ¿Encontraron objetos que no resultan sencillos de clasificar? ¿Por qué?
- Escriban la definición operacional de vida a la que llegaron. ¿En qué coincide y en qué difiere de otras generadas por integrantes de la misma clase?
- Una molécula posee propiedades que van más allá de las de los átomos que la componen. Podemos afirmar algo similar para cada nivel de organización: cada nivel presenta propiedades ausentes en el nivel anterior. Esas propiedades se llaman *emergentes*. Discutan la afirmación de que la vida es una propiedad emergente.
- Den una opinión fundamentada acerca de las dos afirmaciones que siguen. Como un perro está vivo, presenta estas propiedades. Como un perro presenta estas propiedades, está vivo.
- Realicen una investigación bibliográfica para conocer las distintas definiciones de vida que fueron surgiendo a lo largo de la historia.

Para concluir

Hemos intentado mostrar una forma de enseñanza basada en la idea de que la ciencia tiene una base empírica que sustenta sus ideas teóricas, y en que estas se construyen en una acción de ida y vuelta permanente. Con este enfoque, podemos establecer el concepto de vida a partir de la presencia de determinadas propiedades y dejar de lado concebirla como una cualidad inherente o, en los términos del *Diccionario de la Real Academia*, una 'fuerza o actividad interna sustancial'. Por lo tanto, como en esta concepción la vida no es algo que un objeto posee o no posee, habrá situaciones de borde, como ocurre con toda clasificación, y nos veremos obligados a tomar decisiones en cada caso particular.

Esto pone de manifiesto que en nuestra visión no proponemos *averiguar* qué está vivo y qué no, como si se tratara de algo indiscutible que ocurre en la realidad (recordemos el primer punto de la lista de Arons). Proponemos, como un camino más fecundo para la ciencia, una definición operacional de la vida, que claramente puede ser modificada si aparece nueva evidencia. A diferencia de otras situaciones, en que nos enfrentamos con un fenómeno a observar y comprender, pensamos que en esto se trata de construir un concepto y de justificar los criterios que llevan a él.

Este método puede aplicarse a muchas otras cuestiones de la enseñanza de las ciencias naturales. Por una parte, el contenido conceptual de la ciencia puede ser en lo esencial reconstruido por cada estudiante recurriendo a operaciones que configuran un itinerario bastante parecido al método científico. Pero, por otra, los alumnos podrán adquirir en ruta las habilidades de pensamiento o competencias científicas que procuramos enseñarles, pues ellas les serán necesarias para ese proceso de reconstrucción. Recordemos que no es cierto que el docente posea todo el saber, como tampoco que los alumnos, por sí solos, puedan descubrirlo. El docente es el guía que conoce el terreno: propone, sugiere, desafía, elige los lugares por donde seguir y en donde detenerse. Pero cada estudiante debe hacer su propia recorrida del camino. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ARONS A B, 1997, *Teaching Introductory Physics*, John Wiley and Sons, Nueva York.

GELLON G *et al.*, 2005, *La ciencia en el aula. Lo que nos dice la ciencia de cómo enseñarla*, Paidós, Buenos Aires.

MAYR E, 1982, *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge Mass.

Guadalupe Nogués
Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Profesora de enseñanza secundaria de biología.
Miembro de la Asociación Civil
Expedición Ciencia.
gnogues@gmail.com

Mariana Koppmann

El huevo: un abanico de aplicaciones culinarias

Cada vez que cocinamos y posiblemente sin que sepamos por qué, acaecen cambios fisicoquímicos en los alimentos, que se manifiestan en la modificación de características como su color, consistencia, textura y sabor. Estas modificaciones, finalmente, llevan al éxito o al fracaso de nuestras recetas. Comprender qué ocurre internamente en los ingredientes nos ayudará a no fallar en nuestros intentos culinarios.

Al ayudar a entender el porqué de las recetas, la ciencia permite desterrar mitos que se han difundido a través del tiempo, seguramente debido a la dificultad de lograr que salgan bien algunos platos. Indicaciones del tipo: 'el caramelo no se puede revolver cuando se hace con agua, y se puede revolver si se hace sin agua', o 'se debe batir siempre en el mismo sentido para que el merengue se levante correctamente', o 'el pescado del ceviche se cocina solo con ponerle limón', o 'al batir claras no debe caer ni una gota de yema en el recipiente para que se logre la espuma', o 'con sal gruesa el agua hierve más'; o 'los días de tormenta no se puede hacer mayonesa', o 'hay que sellar la carne para que se cierren los poros y quede jugosa', o 'el shock térmico al inicio

¿DE QUÉ SE TRATA?

La ciencia en la cocina: un poco de química ayuda a entender los cambios que provocamos en los alimentos que cocinamos.

de la cocción elimina la acidez del tomate', o 'se debe poner el carozo de la palta sobre la preparación para que no se oxide', para elegir algunas, conforman un rico panorama de creencias populares que vale la pena someter al examen científico.

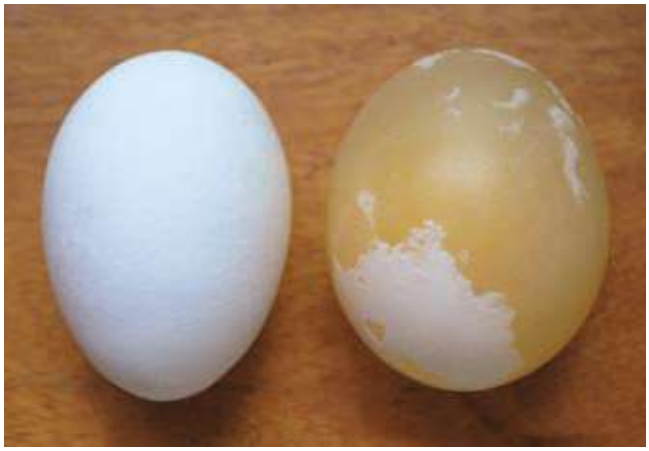
En esta nota analizaremos el huevo, un alimento que se consume solo y a la vez se aprovecha como ingrediente indispensable en preparaciones diversas y cotidianas: flan, merengue, sabayón, mayonesa y tantas otras.

La composición (en porcentajes) de las partes de huevo se indica en la tabla siguiente:

Parte del huevo	Proteínas	Lípidos	Agua	Minerales
Clara	11,0	0,2	88,0	0,8
Yema	17,5	32,5	48,0	2,0
Cáscara	3,3		1,6	96,0

La cáscara protectora está compuesta por una red o membrana de proteínas sobre la que se depositaron cristales de carbonato de calcio –semejantes a los del mármol– y reducidas cantidades de varios minerales. Tiene pequeños poros por los que pueden entrar y salir gases, para beneficio del pollito.

Burbujas de dióxido de carbono que se desprenden de la cáscara de un huevo sumergido en vinagre.



Un huevo antes y después de pasar veinticuatro horas sumergido en vinagre.

El carbonato de calcio es una sal insoluble en agua, pero se disuelve en vinagre, ya que el ácido acético de este reacciona con él y da como resultado dióxido de carbono, que es un gas, más acetato de calcio, que queda disuelto en el agua del vinagre. A los pocos segundos de sumergir un huevo en vinagre veremos que de la cáscara se desprenderán burbujas del CO_2 formado por la reacción. En veinticuatro horas la parte dura de la cáscara se habrá disuelto totalmente y solo quedará la membrana semitransparente de proteínas con la clara y la yema en su interior. Como esa membrana es algo permeable, permite entrar agua, de suerte que el huevo translúcido resultante será más grande que el original.

La clara tiene un 88% de agua y un 11% de proteínas. Estas son unas larguísimas moléculas con forma enrollada cuyo ordenamiento natural puede modificarse por la acción de distintos ingredientes o por los procedimientos usados en la cocina, los cuales dan lugar a los cambios que observamos al cocinar un huevo, batir claras o agregarles alcohol. Las proteínas, asociadas con el agua, dan a la clara sin cocinar la consistencia viscosa que conocemos. Esas moléculas hidratadas impiden el movimiento del agua y de esa forma disminuyen la fluidez de la clara. Sometidas a calor, las proteínas experimentan cambios genéricamente llamados *desnaturalización*, porque se modifica su forma natural: se van desenrollando y se asocian entre sí. Esos cambios producen todas las variantes conocidas de la clara cocida.

Las proteínas de la clara no son todas iguales; a todas las afecta el calor, pero no a la misma temperatura, como se aprecia en la tabla que sigue:

Proteína	Porcentaje	Temperatura de desnaturalización (°C)
Ovoalbúmina	58,0	84,5
Ovotransferrina o conanlbúmina	13,0	61,0
Ovomucoide	11,0	70,0
Ovoglobulina	8,0	92,5
Lisozyma	3,5	75,0

Es así como, cocinados con cáscara a menos de 61°C, los huevos conservan la clara totalmente fluida; cocinados a esa precisa temperatura resultan con la clara apenas cocida, y a medida que aumentamos la temperatura se van desnaturalizando sucesivas proteínas hasta llegar a la consistencia similar a una goma del huevo duro, en la que no se advierte la presencia de agua. Pero el agua sigue allí: una clara cruda y una cocida tienen la misma cantidad de agua, aunque el distinto ordenamiento de los componentes hace que en el segundo caso no la percibamos.

¿Qué pasa cuando batimos claras? Las proteínas se desenrollan y algunas tienen la capacidad de asociar-

se con aire. Así se forma la espuma, con parte de las proteínas asociadas con agua y el resto con el aire que atrapan. A medida que el batido desenrolla las proteínas, la preparación crece y se hace cada vez más blanca, pues el aire aumenta su volumen y las pompas formadas reflejan la luz.

Las recetas por lo general aconsejan agregar azúcar de a poco durante el batido, en forma de lluvia fina. Agregada de esa manera, el azúcar se disuelve sin demora en el agua de la clara; en cambio, si se agregara mucha de golpe, entorpecería el cambio de las proteínas por el peso de los cristales de azúcar. Otra forma apropiada de agregar azúcar, usada con frecuencia, es como almíbar concentrado, que carece de cristales.

Las recetas suelen indicar que no debe quedar yema en las claras que se batan para que se pueda formar el merengue. Pero la yema no solo tiene proteínas que pueden atrapar aire; tiene también fosfolípidos, unas moléculas similares a las que componen el jabón. Si el jabón hace espuma, no parece haber razón para que la yema no la haga, y, efectivamente, la hace. Pero las espumas de clara sola son más estables que las creadas con clara más yema, por el distinto efecto de la cocción en uno y otro caso (dada la presencia, en el segundo, de proteínas y los fosfolípidos de yema, que no resultan estabilizados por el ascenso de temperatura). Se puede obtener merengues cocidos bien crocantes con claras batidas, pero no si se bate el huevo entero. Sin embargo, un poco de yema en las claras batidas no causará mayor trastorno.

La yema contiene un 17,5% de proteínas, un 32,5% de lípidos, que son aceites, y un 48% de agua. Por experiencia cotidiana sabemos que el agua y el aceite no se mezclan, pero la yema de huevo es homogénea. Sucede que los lípidos de la yema son fosfolípidos, y las moléculas de estos son capaces de asociar el agua con el aceite de modo estable.

En muchas recetas en que queremos unir agua con aceite utilizamos yemas. El mejor ejemplo de ellas posiblemente sea la mayonesa, que contiene pequeñas gotas de aceite dispersas en el agua que contiene la yema. Para que sea estable, las gotas de aceite tienen que ser minúsculas, por lo que el aceite debe agregarse en forma de fino hilo a medida que se va batiendo. Si agregamos demasiado aceite, la mayonesa se corta, es decir, las gotas de aceite dejan de estar dispersas y se juntan en gotas grandes, pues el agua no logra mantenerlas separadas. Por esta razón, para recuperar una mayonesa cortada se la va pasando poco a poco a un recipiente con algo de agua, y se la bate de continuo, como si se estuviera agregando aceite a las yemas en la preparación de mayonesa.

La consistencia del huevo cocido depende de la temperatura a la que haya llegado mientras se cuece.

Un buen ejemplo de espuma de yema es el sabayón. Tanto las proteínas como los fosfolípidos presentes en la yema son capaces de atrapar aire y permitir que se levante a medida que se bate. Pero la espuma formada no es estable como un merengue y, cuando se deja de batir, pierde el aire poco a poco, ya que a diferencia de la clara, la yema carece de una proteína que pueda estabilizar la estructura creada por el batido.

Si intentamos hacer una espuma solo con yemas, no lograremos que se levante, pero si les agregamos una cucharada de agua, comienzan a espumar a poco de batir. Lo mismo pasaría si tratáramos de hacer espuma con jabón pero sin agua. En ambos casos la ausencia de agua impide que se separen las pompas y se forme la espuma. CH

Mariana Koppmann

Bioquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.
Presidenta de la Asociación Argentina de Gastronomía Molecular.
mkoppmann@marianakoppmann.com

Una vaquita de San Antonio (probablemente *Coccinella septempunctata*). Adviértanse los pulgones sobre la planta. Foto Wikimedia Commons

Guillermo Cabrera Walsh y Juan Briano
Fundación para el Estudio de Especies Invasivas

Alba Enrique de Briano
Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

El control biológico de plagas

Las plagas y su origen

De las varias definiciones de plaga que se han ensayado, la más satisfactoria a nuestro juicio es *un organismo que prolifera en un lugar inconveniente*. Las plagas –animales, vegetales o microbianas– son a menudo responsables de importantes daños a la producción de alimentos y fibras, a la salud humana y a los ecosistemas.

Todos los seres vivos enfrentan limitantes o controles naturales para su reproducción y desarrollo, entre ellos la escasez de alimentos, nutrientes, luz, espacios para procrear o protegerse, que deben disputar con organismos competidores. También los limita la presencia de predadores, que se alimentan de ellos, y la de parásitos, que los infectan, debilitan o matan. En ocasiones, al faltar en un ecosistema alguno o varios de esos controles naturales, determinados organismos se vuelven muy abundantes en su propio hábitat, o se expanden a otros hábitats. En ambos casos, se hacen *invasores* y, en ocasiones, se convierten en plagas. Pero no suele bastar la ausencia de controles naturales para que un organismo prolifere y se haga invasor: a esa ausencia es

Figura 1. Avispa de chaqueta amarilla (*Vespula germanica*). Mide unos 13mm. Foto Juan Emilio, Málaga.

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Cómo controlar la proliferación de plantas y animales que se convierten en plagas? Una forma de hacerlo es aprovechar a sus enemigos naturales.

común que se agreguen factores de origen humano (o antropogénicos).

Los organismos invasores pueden ser nativos de la región o ajenos a ella o *exóticos*. La decisión de combatirlos o ignorarlos se basa normalmente en consideraciones económicas. Por ello, las plagas agropecuarias son por lo general combatidas, mientras que las plagas ambientales son ignoradas. Sin embargo, hay muchas especies que, al invadir un ambiente que no es el suyo, desplazan a especies nativas, perjudican a otras dependientes de las anteriores y perturban el funcionamiento del ecosistema. De muchas de esas invasiones se hace caso omiso porque su control demandaría una inversión enorme. Un buen ejemplo de invasores exóticos en la Argentina es la acacia negra o de tres espinas (*Gleditsia triacanthos*), nativa de los Estados Unidos, que invade pastizales y ambientes costeros de arroyos y resulta muy difícil de controlar. Otro es la avispa chaqueta amarilla (*Vespula germanica*), de origen europeo, invasora en gran parte de los bosques del sur, cuya erradicación demandaría aplicar insecticidas en un área muy extensa (figura 1). Pero no siempre los organismos invasores son exóticos. Las actividades humanas provocan que organismos nativos también se vuelvan plagas. Se puede citar, entre otros, el camalote (*Eichhornia crassipes*) y varias especies de cotorras y palomas.

Por otra parte, las formas modernas de producción de alimentos no pueden prescindir de los plaguicidas, y la creciente población mundial no podría sostenerse sin esas formas modernas de producción. Pero los efectos negativos de los plaguicidas sobre la salud y el ambiente (discutidos en el informe especial publicado en el número 122 de Ciencia Hoy) obligan a buscar maneras alternativas de controlar las plagas, una de las cuales es el *control biológico*, que se vale de la acción de uno o varios de los enemigos o *antagonistas* naturales de la plaga de que se trate.

Figura 2. Un coleóptero de la especie *Rodolia cardinalis*, de unos 7mm, natural de Australia, ataca a otro insecto, una cochinilla algodonosa (*Icerya purchasi*). Foto del sitio de la Universidad de California en Riverside: *http://biocontrol.ucr.edu/rodolia/rodolia_icerya_biocontrol_galapagos.html*.

Tipos de control biológico

El control biológico puede acaecer en forma *natural*, cuando dichos enemigos naturales de una plaga limitan su reproducción o desarrollo sin intervención humana. O puede ser un control *aplicado*, consecuencia de una selección y manipulación sobre bases científicas de esos enemigos naturales. El control aplicado procura corregir una situación anormal por la que la plaga escapó del control natural (o este resulta inadecuado).

El control biológico aplicado es de tres clases:

- Clásico o inoculativo. Consiste en introducir y establecer de manera permanente en el ecosistema un agente exótico para combatir una plaga también exótica.
- Inundativo. Consiste en criar masivamente el agente de control en laboratorio, para liberarlo al ambiente en grandes cantidades. No necesariamente procura su establecimiento permanente, pero busca el control inmediato de la plaga y se utiliza especialmente en cultivos bajo cubierta.
- Por conservación. Consiste en conservar y aumentar las poblaciones del agente de control mediante la manipulación del ecosistema, sea usando técnicas agrícolas que tengan ese efecto, sembrando o evitando que desaparezcan plantas hospedadoras del agente, o realizando cultivos que favorezcan su establecimiento y conservación.

Los tres tipos de control pueden utilizarse contra plagas agropecuarias y para vectores de enfermedades médicas y veterinarias. Para malezas se aplica mayormente control biológico clásico, el más antiguo y difundido, al que los autores hemos dedicado gran parte de nuestra labor profesional. No nos ocuparemos en lo que sigue de la llamada *técnica del macho estéril* ni de *bioinsecticidas*, cuyos desarrollos históricos fueron independientes, y merecen artículos propios.

Antecedentes y protocolos de seguridad

El uso intencional de animales para controlar otros organismos se remonta a la antigüedad, pero su empleo sobre bases científicas es mucho más reciente. El primer caso que registra la bibliografía data de 1858 y consistió en la liberación del coleóptero *Rodolia cardinalis*, natural de Australia, para combatir otro insecto, la cochinilla algodonosa (*Icerya purchasi*), que atacaba los cítricos en California (figura 2).

En la Argentina podemos encontrar no menos de siete especies de cardos exóticos, originarios de Eurasia. Pertenecen a los géneros botánicos *Carduus*, *Silybum*, *Cirsium*, *Onopordon* y *Cynara*. Entre las primeras menciones conocidas de su presencia en el país se cuenta la hecha en la década de 1830 por Charles Darwin, quien en su diario del viaje del *Beagle* mencionó la profusión de densos cardales de *Cynara cardunculus* que vio en la Banda Oriental; también se encontró con la maleza en Entre Ríos y Buenos Aires, pero aclaró que nunca la vio al sur del río Salado. Hoy dos especies, el cardo platense (*Carduus acanthoides*) y el cardo pendiente (*C. thoermeri*), se comportan como invasores de campos de pastoreo, cultivos, bordes de caminos y áreas parquizadas en la pampa húmeda y la pampa semiárida.

A fines de la década de 1970, la estación del INTA en Castelar puso en marcha un programa de control biológico de cardos. En 1981 y 1982 efectuó importaciones, de los Estados Unidos y de Nueva Zelanda, del gorgojo *Rhinocyllus conicus*, que ya había sido utilizado con éxito en ambos países, lo mismo que en Canadá y Sudáfrica. Es un insecto originario de Europa, el este de Asia y el norte de África. Sus larvas se desarrollan dentro de la inflorescencia de los cardos y disminuyen la producción de semillas. Los adultos se alimentan de las hojas de esas plantas.

En los diez años posteriores, agencias del INTA, con la ayuda de productores agropecuarios interesados, realizaron 26 liberaciones del gorgojo en Anguil, Santa Rosa y Villa Iris (La Pampa); Rivadavia, Saladillo, Pergamino, Castelar, Hurlingham, Fortín Olavarría y Brandsen (Buenos Aires); San Cristóbal, La Pelada, San Guillermo y Venado Tuerto (Santa Fe); Tosquita y San Francisco (Córdoba) y Trelew (Chubut).

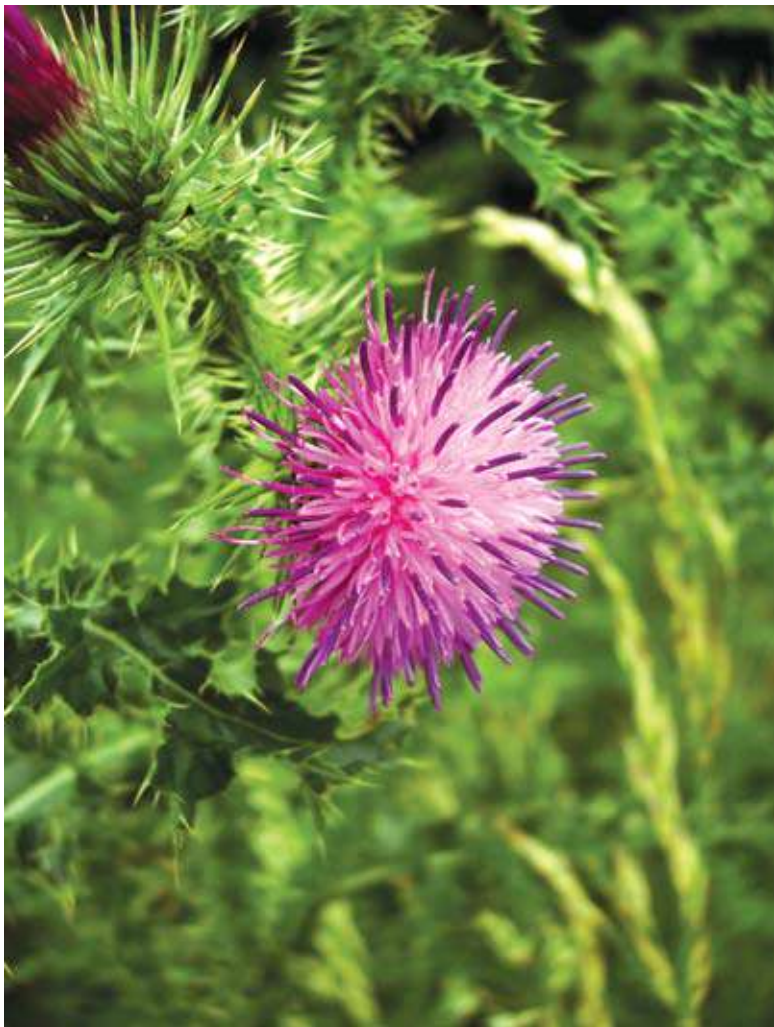
Para determinar el establecimiento y la dispersión del gorgojo en las zonas infestadas con cardo platense y cardo pendiente, en la primavera de 2006 se realizó un relevamiento a lo largo de 4000km de rutas troncales y caminos vecinales de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba y La Pampa, que incluyó 121 sitios en banquinas, cunetas y bordes de alambrado. Se constató que el insecto se había establecido en el 91% de los sitios de liberación. Actualmente se lo encuentra en aproximadamente 370.000km², en Buenos Aires, este de La Pampa, sudeste de Córdoba, sur de Santa Fe, sur de Entre Ríos y este de Chubut. Está en el 81% de los lugares con cardo platense y en el 46% de los que tienen cardo pendiente. Se dispersó a una velocidad cercana a los 15km por año.

En un examen de detalle, se analizó el daño del gorgojo en cardo platense en una parcela de 600m² con alta infestación de un campo ubicado en Altamira, cerca de Mercedes. Se seleccionaron al azar y marcaron 70 tallos florales para estudiar la sincronía de los huevos del gorgojo con la floración del cardo. Se hicieron observaciones semanales desde mediados de octubre de 2006 hasta mediados de febrero de 2007. Distintas causas naturales, como vuelco de plantas, sequía y daños por roedores o pájaros, determinaron que solo se pudiera completar el estudio de 27 tallos. Se concluyó que de casi 6000 inflorescencias examinadas, el 9% resultó afectado por el gorgojo, que en promedio redujo la superficie productora de semillas en un 15,5%. Los huevos del insecto solo afectaron la producción de semillas en los primeros meses de floración del cardo.

Debido a esta desincronización entre el ciclo del gorgojo y la floración del cardo platense, la magnitud del daño que causa el insecto no es suficiente para lograr una disminución sustancial en el área infestada por la maleza. De ahí que la acción del insecto requiere ser complementada con la de otros enemigos naturales de la maleza, con cortes de limpieza y posiblemente con el empleo de herbicidas. Por otra parte, el gorgojo no colonizó áreas al norte de los 32° de latitud sur.

En otros países, se ha logrado un adecuado control del cardo platense complementando el mencionado gorgojo con otro (*Trichosirocalus horridus*) cuyas larvas consumen los tejidos en crecimiento de la roseta y disminuyen el número de vástagos florales, inflorescencias y semillas, y cuyos adultos se alimentan de la roseta. Fue importado por el INTA de los Estados Unidos en 1982 y 1983, pero no se estableció en las parcelas experimentales.

Todavía no se han hecho evaluaciones del daño del gorgojo *R. conicus* en el cardo pendiente, pero en otros países, debido a una mejor sincronización de la puesta de huevos de ese insecto con la floración del cardo, su acción como único agente de control ha proporcionado excelentes resultados. Esos estudios están pendientes, lo mismo que la realización de nuevas introducciones y liberaciones del gorgojo *T. horridus* como complemento del primero para combatir el cardo platense.



Cardo platense (*Carduus acanthoides*). Foto National Education Network: *http://gallery.nen.gov.uk/ asset62600-.html*

Pero el control biológico no se consolidó como rama de la ecología aplicada hasta bien entrado el siglo XX.

Las bases científicas del control biológico de plagas lo diferencian de los conocidos episodios de introducciones de especias exóticas realizadas con la misma intención pero sin esas bases, que han causado desastres económicos y ambientales en varios lugares del mundo. Algunos elementos distintivos del control biológico de base científica son:

- No recurre a organismos con capacidad de modificar el paisaje, como vertebrados terrestres, animales sociales o plantas.
- No utiliza especies generalistas o que demuestren plasticidad en la selección y utilización de recursos.
- Evalúa a los agentes para cada región en que puedan ser liberados, porque las comunidades receptoras varían y difieren los eslabones de la nueva trama trófica. Así, un agente seguro para la región pampeana podría no serlo para América del Norte, y viceversa.
- No basa sus liberaciones en observaciones realizadas en el campo, sino en experimentos conducidos en forma controlada, diseñados para probar la seguridad del agente.

Esos experimentos se realizan sujetos a protocolos de seguridad, cuyo propósito es hacer mínimos los efectos negativos del control sobre especies que no son su objetivo o *blanco*. Para combatir malezas, la mayoría de los agentes a que se recurre son artrópodos que las comen u organismos que las infectan. Los protocolos que se aplican se basan en el *sistema centrífugo filogenético*, diseñado por el científico inglés Anthony Wapshere en 1974. Consiste en exponer sucesivamente al posible agente del control biológico, para determinar si las consume, primero, a plantas del mismo género que el blanco del control; luego de la misma familia, después de familias botánicamente emparentadas, y así sucesivamente en la dirección del mayor alejamiento filogenético. El proceso se realiza para plantas solas y para grupos de ellas; se prueba en espacios confinados, semiabiertos y abiertos. Todo candidato a agente de control que ataque plantas de interés para el hombre es descartado. Esos estudios, que duran varios años, se complementan con otros de tipo biogeográfico, para determinar el área de distribución potencial del agente, sus relaciones tróficas y el daño que pueda infligir a la maleza blanco.

Para atacar plagas animales, como insectos y ácaros, que afectan cultivos, plantaciones, ambientes urbanos y animales domésticos, se recurre a insectos *parasitoides* (que a diferencia de los parásitos terminan matando a su hospedador), artrópodos predadores y agentes patógenos de artrópodos. El diseño de los protocolos de seguridad sigue los mismos principios que los aplicados en el caso de malezas, pero presenta problemas adicionales debido a que la diversidad de artrópodos en un ecosistema suele ser diez veces mayor que la de especies vegetales, y a que la cría de artrópodos en laboratorio es por lo común más compleja que la siembra de plantas en macetas o parcelas experimentales. En consecuencia, se recurre a estudios faunísticos y de comportamiento asimilables a los análisis de riesgo.

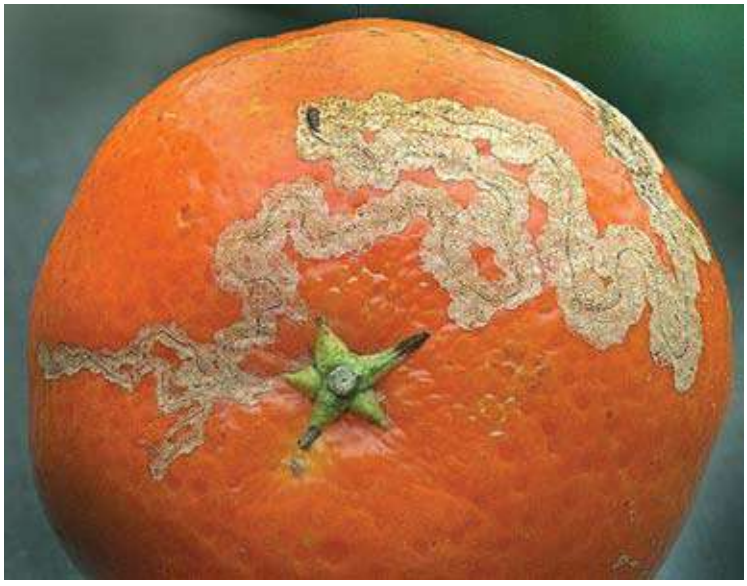


Figura 3. Mandarina atacada por el insecto minador de las hojas de los cítricos (*Phyllocnistis citrella*). Foto Andy Musgrove en *http://www.viarural.com.ar/*

El control biológico en números

En todo el mundo se han liberado hasta la fecha, con fines de control biológico de artrópodos, unas 2000 especies; para el control de malezas, unas 350, y para plagas en general, menos de 50 especies patógenas. Estas cifras contrastan con la cantidad de especies exóticas que invaden los ecosistemas en todo el mundo. Así, el 90% de las especies vegetales de Nueva Zelanda son exóticas; en los Estados Unidos se contabilizaron 50.000 especies exóticas, y en el estado de la Florida se registraron 25.000 plantas exóticas contra 2500 nativas. En la Argentina se citan 550 especies exóticas y alrededor de 40 liberadas para control biológico. Es decir, solo una mínima proporción de los organismos exóticos establecidos en el mundo tienen su origen en las liberaciones de agentes de control biológico con base científica.

Se calcula que en Australia el control biológico ahorró en los últimos 25 años unos 4000 millones de dólares en plaguicidas, e incrementó significativamente la biodiversidad y estabilidad de los ecosistemas tratados. Esto significó un ahorro promedio de 23 dólares por cada uno invertido en proyectos de control biológico.

CONTROL BIOLÓGICO DEL YUYO ESQUELETO

El yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*) es una maleza perenne altamente invasora originaria de Eurasia. En 1977 se advirtió su presencia en Guaminí, donde había colonizado aproximadamente 700 hectáreas. Actualmente ocupa más de cuatro millones de hectáreas en el sudoeste bonaerense y afecta campos de pastoreo y cultivos de trigo y girasol.

En 1978, en la sede del INTA de Castelar comenzaron las investigaciones para controlarlo. Entre 1982 y 1987 esa entidad realizó seis importaciones de Australia de la mosca *Cystiphora schmidti*, que le produce lesiones en tallos y hojas y una importante disminución del número de semillas. En 1983 y 1984 se efectuaron varias liberaciones del díptero en la localidad de Bonifacio, pero no se estableció. Algo parecido sucedió con el ácaro *Eriophyes chondrillae* traído también de Australia.

En 1982, la estación del INTA de Anguil, en La Pampa, importó la roya (*Puccinia chondrillina*) de los Estados Unidos, un hongo que ataca tallos y hojas del yuyo esqueleto, debilita la parte aérea de la planta y disminuye la producción de semillas. Actualmente se encuentra establecido en una amplia zona de distribución del yuyo esqueleto, pero su efectividad es aún incierta.

En 1988, el INTA (Bordenave y Castelar) retomó los estudios sobre el ácaro *Eriophyes chondrillae* con ejemplares traídos de Idaho. Entre 1989 y 1991 se efectuaron 18 liberaciones en Puán, Guaminí, Saavedra, Tornquist y otras áreas infestadas. Luego de 20 años de la primera liberación, durante 2008 y 2009, se realizaron estudios de distribución de la maleza y del ácaro que establecieron la presencia del segundo en un 70% de 236 sitios relevados en el sudoeste bonaerense (Guaminí, Alsina, Puán, Saavedra, Tornquist, Coronel Pringles, Coronel Suárez, Bahía Blanca, Coronel Rosales, Coronel Dorrego y Villarino). Si bien el establecimiento y la distribución del ácaro fueron exitosos, todavía se desconoce su efectividad en el control del yuyo esqueleto.

En 1992, el INTA Castelar importó de Grecia la polilla *Bradyrrhoa gilveolella*. Luego de estudios realizados en cuarentena, la liberó en parcelas propias en Castelar, donde no logró establecerse.

Científicos norteamericanos están trabajando en la genética del yuyo esqueleto para seleccionar agentes de control biológico mejor adaptados a sus diferentes formas planificar mejor futuras acciones para combatir la maleza.

Ácaro *Eriophyes chondrillae* magnificado. El tamaño del adulto oscila entra 0,16 y 0,26mm. Foto Charles Turner, USDA, en *http://www.insectimages.org/images/768x512/0022098.jpg*.

A la izquierda: yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*). Foto Noxious Weed Control Board, estado de Washington.

A la derecha: polilla *Bradyrrhoa gilveolella*. Mide entre 11 y 13mm. Foto Eric Coombs, Oregon Department of Agriculture.

Figura 4. Una avispa barrenadora del pino (*Sirex noctilio*) ataca un pino de Monterrey (*Pinus radiata*). El insecto puede medir entre 1 y 3cm. Foto Michaellbbecker, Wikimedia Commons.

Figura 5. Larvas de *Cactoblastis cactorum* en un cactus del género *Opuntia*. Foto Ignacio Báez, Wikimedia Commons.

Además, en 600 casos estudiados no se hallaron efectos de los agentes de control sobre especies que no fueran el blanco de ataque.

La actividad en la Argentina

El control biológico de insectos tuvo en la Argentina un comienzo temprano y auspicioso. La primera especie introducida con ese propósito fue el mencionado coleóptero *Rodolia cardinalis*, traído en 1900 desde el Uruguay para atacar la cochinilla algodonosa. Desde entonces y hasta mediados de la década de 1980 se introdujeron alrededor de 40 agentes de control biológico, desde Australia, Bolivia, Brasil, Chile, China, Colombia, Costa Rica, los Estados Unidos, México y Sudáfrica. Con ellos se atacaron moscas de los frutos, pulgones, cochinillas, barrenadores del maíz, polillas del duraznero, gorgojos del eucaliptus, chinches verdes y orugas.

En la actualidad, escasas pero importantes organizaciones se dedican al control biológico de insectos, entre ellas el Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (Universidad Nacional de La Plata-Conicet), que realiza investigación básica sobre parásitos, parasitoides, depredadores y patógenos de importantes plagas sanitarias y agrícolas, como mosquitos, vinchucas, pulgas, arañas, tucuras, chinches verdes, polillas del tomate y otras orugas, ácaros, etcétera.

El Instituto de Microbiología y Zoología Agrícolas, del INTA, se ha ocupado de combatir la oruga de la pera y la manzana (*Cydia pomonella*) en el valle del río Negro con dos avispas parasitoides introducidas en 2004-2005 desde los Estados Unidos. Actualmente procura atacar pulgones, moscas de los frutos, polillas del tomate, moscas blancas, gorgojos del eucaliptus, plagas hortícolas en ambientes protegidos y plagas forestales.

La estación experimental agroindustrial Obispo Colombres, del gobierno de Tucumán, lleva a cabo estudios de avispas parasitoides exóticas para controlar la pequeña polilla llamada minador de hojas de los cítricos (*Phyllocnistis citrella*), cuyo daño en los frutos muestra la figura 3; también una chicharrita (*Diaphorina citri*), vector de la bacteria que causa una enfermedad llamada *huanglongbing* o HLB, por la que los cítricos toman color verde (de ahí que también se hable de *greening* de los cítricos), que está ausente en la Argentina pero presente en el Brasil. Combatir a su vector es una forma de disminuir las posibilidades de que ingrese en el país.

En las estaciones del INTA de Montecarlo, en Misiones, y de Bariloche, lo mismo que en el SENASA y la Facultad de Ciencias Agrarias de Jujuy, se ha encarado el control biológico de la avispa barrenadora del pino (*Sirex noctilio*, figura 4) con un nematodo y tres avispas parasitoides que provienen de Australia vía Brasil. La primera de esas estaciones del INTA también trabaja en el control

Figura 6. Camalote o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el río Guadiana, en España. Foto *http://www.medellin.es/+medellin/Actualidad3.htm*

del pulgón del pino (*Cinara atlántica*) con unas pequeñas avispas parasitoides (de la familia *Braconidae*) traídas de los Estados Unidos vía Brasil.

En la década de 1980, se pusieron en marcha diversos proyectos de control biológico de malezas por iniciativa de organizaciones estatales. El Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INTA, situado en Castelar, se ocupó de dos especies de cardos (*Carduus acanthoides* y *C. thoermeri*) y de yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*), a las que dedicamos sendos recuadros. Y junto con la estación de Villa Mercedes, en San Luis, de la misma entidad, se ocupó del chañar (*Geoffroea decorticans*), que si bien es un pequeño árbol autóctono, puede convertirse en maleza de campos agroganaderos. La estación del INTA de Campana trabajó con instituciones de Mendoza en el control de malezas acuáticas, entre ellas el helechito de agua (*Azolla spp.*). Y el Centro de Investigaciones para la Regulación de Poblaciones de Organismos Nocivos, de la Fundación Lillo, de Tucumán, en el control de vinal (*Prosopis ruscifolia*) y valda (*Flaveria bidentis*). Pero la mayoría de estas iniciativas no fueron muy lejos, sobre todo por no haber recibido suficiente financiación en un contexto de agricultura casi exclusivamente apoyada en el uso de plaguicidas.

Entre las actividades de control biológico localizadas en la Argentina hay que mencionar haber sido lugar de origen de agentes de control usados en otros países. En un mundo en el que se han multiplicado los movimientos internacionales de personas y bienes, también acaecieron traslados accidentales o deliberados de muchos organismos sudamericanos a otras regiones del planeta, donde terminaron como plagas y llevaron a buscar agentes de control en sus tierras de origen. Así, uno de los éxitos más resonantes de control biológico de malezas se alcanzó en Australia en la década de 1920 con la introducción desde la Argentina de la polilla *Cactoblastis cactorum*, nativa de esta región, para el control de varias especies de cactus americanos del género *Opuntia* que se habían hecho invasores en el primer país. El éxito llevó a que la polilla también se introdujera en Sudáfrica, invadida por los mismos cactus (figura 5).

Desde 1962 funciona en Hurlingham, en los suburbios de Buenos Aires, la Fundación para el Estudio de Especies Invasivas, que antes era el Laboratorio Sudamericano de Control Biológico del Servicio de Investigaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos. La entidad, en que se desempeñan dos de los autores de esta nota, tiene como misión evaluar agentes de control

Figura 7. Gorgojo (*Neochetina bruchi*) empleado con éxito para combatir el camalote. Mide unos 4mm de largo. Foto National Bureau of Agriculturally Important Insects de la India: *http://www.nbaii.res.in/Featured%20insects/Neochetina.htm*.

biológico para uso en países que experimenten problemas con plagas de origen sudamericano. Lleva evaluados más de 250 de ellos, para el control potencial de 45 organismos naturales del territorio argentino convertidos en plagas invasoras en los Estados Unidos, Australia, Sudáfrica y Europa. De ellos, 25 para los que se aprobaron las pruebas de seguridad fueron liberados en los Estados Unidos y Australia (y luego a otros países de África, Asia y Centroamérica) para el control de nueve de dichas especies invasoras.

En 1974, el laboratorio de Hurlingham buscó la forma de controlar el camalote (*Eichhornia crassipes*) en el dique Los Sauces, a pocos kilómetros de la ciudad de La Rioja (figura 6). Eligió como agente de control al gorgojo nativo *Neochetina bruchi* (figura 7). Luego de algunos años se pudo constatar una marcada reducción del camalotal. Ese puede considerarse el primer proyecto exitoso de control biológico de malezas en la Argentina. Algunos proyectos exitosos del laboratorio en el extranjero fueron la lagunilla (*Alternanthera filoxeroides*), una herbácea acuática, el camalote, y las hormigas coloradas (*Solenopsis invicta* y *S. richteri*).

Actualmente, dentro y fuera de la Argentina el manejo de agentes de control biológico debe adaptarse a marcos regulatorios cada vez más exigentes, que tienen por propósito proteger el patrimonio genético. Pero las regulaciones muchas veces demoran y ocasionalmente impiden la ejecución de programas de control biológico. Es esencial que los aspectos científicos y regulatorios estén asociados eficientemente para que el intercambio de agentes de control sea una forma genuina y segura de cooperación científica internacional, en beneficio de la biodiversidad global. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BIGLER D, BABENDREIER D & KUHLMANN U (eds.), 2006, *Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods. Methods and Risk Assessment*, CABI Publishing, Wallingford.

DELOACH C, CORDO HA y CROUZEL IS, 1989, *Control biológico de malezas*, El Ateneo, Buenos Aires.

ZAPATER MC (ed.), 1996, 'El control biológico en América Latina', actas de la *III Mesa Redonda de Control Biológico en el Neotrópico*, International Organization for Biological Control.

Guillermo Cabrera Walsh

Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Subdirector, Fundación para el Estudio de Especies Invasivas.

Juan Briano

Ingeniero agrónomo, UBA.
MSc, University of Florida.
Director, Fundación para el Estudio de Especies Invasivas.

Alba Enrique de Briano

Ingeniera agrónoma, UBA.
MSc, Universidad Nacional de La Plata.
Ex investigadora del Instituto de Patología Vegetal, INTA Castelar.
Jefa del departamento de entomología, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria.

La CIENCIA en los CUENTOS 2012

El Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Asociación Civil Ciencia Hoy, con el auspicio del Programa de Promoción de la Lectura del Ministerio de Educación de la Argentina, el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC/FCEYN-UBA) y el Área de Ciencias del Centro Cultural Borges, convocan a un concurso de cuentos cortos sobre temas científicos, con el objetivo de promover el interés de los jóvenes por la ciencia y por la literatura.

Se seleccionarán los tres (3) mejores cuentos. El premio consistirá en la publicación en forma de libro de estos trabajos, junto a los cuentos de otros siete (7) participantes, quienes recibirán menciones especiales. Se entregará además una suscripción anual gratuita a la revista Ciencia Hoy a cada uno de los autores de los tres (3) cuentos ganadores.

El jurado está compuesto por los siguientes expertos:

Lic Mariano Ducros, profesor de literatura, Universidad de Palermo, ex director del Departamento de Extensión Cultural del Centro Cultural Borges

Dra Ana María Vara, profesora de la Escuela de Humanidades, UNSAM, diploma al mérito 1997 de la Fundación Konex

Los autores deberán tener entre dieciséis y dieciocho años al cierre de la convocatoria y ser de nacionalidad argentina o bien extranjeros residentes en la Argentina.

El plazo de presentación de las obras se cerrará irrevocablemente el día

30 de SEPTIEMBRE de 2012

Serán coordinadores del concurso
Viviana Bianchi y Alejandro Gangui

Bases del concurso en:
http://cms.iafe.uba.ar/gangui/difusion/concurso/12/

Informes o consultas:

Comunicación Institucional CONICET
Tel.: +54 11 5983-1340
E-mail: *dzabalo@conicet.gov.ar*

Asociación Civil Ciencia Hoy
Tel: +54 11 4961-1824 o 4962-1330
E-mail: *pab@retina.ar*

Nicolás Bonadeo, Jefe del Departamento de Física Aplicada y Ensayos No Destructivos.

130 profesionales, 249.600 horas de investigación al año.

Desde el Centro de Investigación Industrial de Tenaris en Campana se mejoran los procesos en planta mientras se estudia e investiga el producto junto a usted. Para que pueda contar con la mejor respuesta de nuestros productos hasta en la más exigente de sus operaciones. Porque para que pueda llegar lejos, necesitamos estar más cerca.

Tecnología en el producto. Innovación en el servicio.

www.tenaris.com/argentina

Tenaris