



CICTERRÁNEA

- Revista de Divulgación en Ciencias de la Tierra -



ISSN 2618-2122

Venenos en la naturaleza
¿Existe la contaminación natural?

**La revolución marina del
Paleozoico Medio**
El gran impacto de los continentes
sobre la vida en el mar

**¿Una apertura oceánica
en Córdoba?**
Lo que cuentan las areniscas del Cretácico

CICTERRA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN
CIENCIAS DE LA TIERRA

¿Qué es el CICTERRA?

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

¿Qué hacemos?

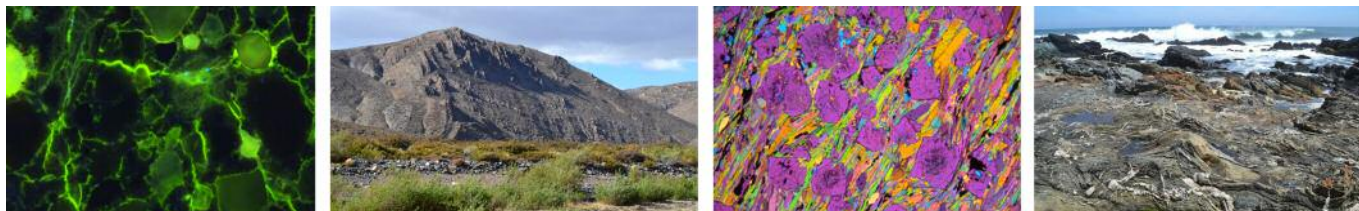
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas dentro de las Ciencias de la Tierra como Geología, Geoquímica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión y transferencia de conocimiento. Efectuamos asesorías técnicas a entidades públicas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

¿Quiénes somos?

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

Líneas de Investigación

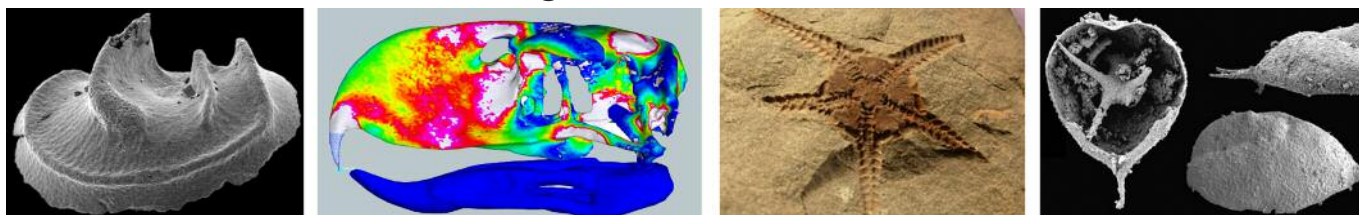
Dinámica de la litósfera – astenósfera



Variabilidad hidroclimática y procesos geo-ambientales



Evolución de la diversidad biológica



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

COMITÉ EDITORIAL

Editoras responsables

Dra. Beatriz G. Waisfeld
Dra. Sandra Gordillo
Dra. Emilia Sferco

Equipo editorial

Biól. Flavia J. Boidi
Lic. H. Santiago Druetta
Lic. Fernando J. Lavié
Dra. Cecilia E. Mlewski
Biól. Gisela Morán
Geól. Natalia Oviedo
Lic. Raquel J. Villegas

Difusión

Dr. Diego F. Muñoz
Geól. Nerina Pisani
Geól. Ariadna Coppa Vigliocco

Corrección de estilo

Lic. Mariela López Cordero

Colaboradores

Dr. Ricardo A. Astini
Dra. Miriam E. Palomeque
Dr. Fernando Colombo

Diagramación y diseño gráfico

Paula Benedetto

Foto de Tapa: Formación geológica de areniscas del Cretácico, Los Terrones, Ongamira, Provincia de Córdoba. Cortesía: Nicolás Sidorowicz.

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

Contacto: cicterranea@gmail.com

www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/
revista-cicterranea/

Seguinos en:



CONICET



Universidad
Nacional
de Córdoba

C I C T E R R A



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

Contacto:
secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar

Av. Vélez Sarsfield 1611,
X5016GCB Córdoba, Argentina
Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200

www.cicterra.conicet.unc.edu.ar

Con gran satisfacción presentamos el segundo número de Cicterránea, la forma que elegimos para mostrarnos en sociedad. En esta oportunidad además de acercar las investigaciones que realizamos en nuestro centro, queremos, en este momento crítico, compartir algunas de nuestras preocupaciones.

Estamos atravesando una situación de gran incertidumbre. Fuertes recortes presupuestarios, dramática restricción y reducción en el número de cargos para el ingreso a la Carrera del Investigador Científico del CONICET, alarmante retrasos o falta de financiamiento para sostener programas de investigación amenazan hoy el sistema de Ciencia y Técnica. Este ajuste no sólo afecta al sistema científico, diversos sectores de la sociedad también están sufriendo sus consecuencias en áreas como salud, educación en sus distintos niveles, sistema jubilatorio, etc. Por eso, queremos poner el foco en la dimensión más dolorosa del recorte, la que impacta directamente en la base del sistema científico, la que atraviesa a los jóvenes investigadores.

Lo más importante que tenemos, nuestro capital humano, está en riesgo. Los jóvenes científicos que actualmente se encuentran en distintas etapas de su carrera deben replantearse sus expectativas. Estos investigadores se han preparado tenazmente durante años, primero estudiaron para graduarse en alguna carrera universitaria, continuaron 5 años formándose para doctorarse y luego siguieron capacitándose 2 años más en un postdoctorado. Incluso muchos de ellos realizaron estadías en centros de excelencia en el exterior para especializarse en alguna temática particular. Y, porqué no decirlo, transitaron esta etapa de sus vidas dedicándose exclusivamente a investigar, esforzándose para cumplir con exigentes requisitos académicos, a cambio de un magro salario y con condiciones de empleo precarizadas. A estos recursos humanos altamente calificados, el gobierno ha dejado de ofrecerles la oportunidad de seguir trabajando, no hay futuro para su carrera científica. Por esto, entre nuestros jóvenes compañeros impera un sentimiento de desaliento y desesperanza. Estos sentimientos son compartidos por gran parte de la sociedad ya que con su esfuerzo el estado ha invertido importantes recursos en su formación de excelencia.

Con el rumbo incierto del sistema científico, no es fácil tener una mirada optimista. Estas decisiones de política pública, lamentablemente, tienen un impacto a largo plazo muy difícil de dimensionar en términos científicos, económicos y de soberanía científica y tecnológica. Llevará muchos años, esfuerzo e ingeniosos recursos reconstruir los equipos de trabajo que hoy se están desmantelando.

En este contexto desfavorable y a pesar de todo, seguimos apostando a dar a conocer nuestras investigaciones. Estamos convencidas que comunicar la ciencia es una manera de protegerla y de defender su futuro. ¡Esperamos que disfruten este segundo número de Cicterránea!

Beatriz Waisfeld, Sandra Gordillo y Emilia Sferco

índice



Venenos en la naturaleza ¿Existe la contaminación natural?

Por Andrea Pasquini y Karina Lecomte

4



La revolución marina del Paleozoico medio

El gran impacto de los conti-
nentes sobre la vida en el mar

Por Juan José Rustán

18



¿Una apertura oceánica en Córdoba?

Lo que cuentan las areniscas del
Cretácico

Por Natalia Oviedo y Ricardo A. Astini

34

actualidad

Pesticidas y metales al acecho. Monitoreo ambiental en el
sur de Córdoba.

Por Miriam Palomeque y Cecilia Estrabou

12

Sismos y terremotos. Cuando se nos mueve el piso.

Por Raquel Villegas

28

entrevistas a jóvenes científicos

Catalina Balbis. Reconstruyendo volcanes

26

Mateo Martini. Congelando el tiempo: el estudio de los glaciares
en el pasado

42

fichas técnicas

25

tomando conCiencia

¿Consumimos agua limpia o limpiamos el agua
sucia para tomarla?

Por Ricardo A. Astini

44

foto+ciencia

24 - 33

actividades

El CICTERRA va a las escuelas

45

Espacio de Arte

46





Venenos en la naturaleza

¿Existe la contaminación natural?



Andrea Pasquini

Doctora en Ciencias Geológicas
Investigadora Independiente del CONICET
Docente de la Escuela de Geología
FCEfYn, Universidad Nacional de Córdoba



Karina Lecomte

Doctora en Ciencias Geológicas
Investigadora Adjunta del CONICET
Docente de la Escuela de Geología
FCEfYn, Universidad Nacional de Córdoba

“Nada es veneno, todo es veneno: la diferencia está en la dosis”

Paracelso
(1493-1541)

La naturaleza es generadora de paisajes, plantas y animales espléndidos, pero también en algunas ocasiones es un agente secreto. Se disfraza dentro de la belleza de los minerales para luego desarmarlos y liberar sustancias tóxicas o venenosas que estaban prisioneras en sus estructuras cristalinas. Estas sustancias viajan a través del aire y del agua y quedan atrapadas en los suelos, exponiendo a los seres vivos a compuestos tóxicos.

La preocupación por la degradación del ambiente y la contaminación del planeta Tierra ha sido reconocida como un grave problema a nivel mundial en las últimas décadas. Los diferentes actores sociales en su conjunto han advertido desde hace algún tiempo la importancia que revisten el agua, el suelo, la biota y las cuencas hídricas para el bienestar de la humanidad y la preservación de los ecosistemas. Uno de los desafíos sociales más importantes del siglo XXI está referido a la necesidad de conocer y gestionar adecuada y eficientemente los recursos naturales frente a la presión creciente de su demanda. Dentro de las próximas cuatro décadas se espera que la necesidad de alimentos y energía se duplique, junto con el aumento de más del 50% en la demanda de agua dulce.

La calidad de los recursos naturales está siendo amenazada de manera cada vez más acelerada, lo que incrementa los niveles de contaminación. La contaminación se produce por efecto de introducir materia, formas de energía o inducir condiciones en un medio que, de modo directo o indirecto, lo hagan inseguro o no apto para su uso. Es decir, un ambiente está contaminado cuando cualquier agente físico, químico o biológico está presente en cantidad suficiente como para causar efectos dañinos, que afecten a la vida, la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o degraden el entorno.

La contaminación se asocia comúnmente con la acción del hombre. Las actividades urbanas y domésticas, por ejemplo, producen contaminación a tra-



Algunas definiciones importantes...

¿Qué es la calidad del agua?

La calidad del agua se define a partir de un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. En general, la calidad del agua se determina comparando estas características con “niveles guía”, definidos para cada uno de sus posibles usos. No son iguales las exigencias de calidad para agua de bebida que para aquella utilizada en la generación de energía.

¿Qué son los “niveles guía” de calidad del agua?

Son los contenidos de referencia que establecen organismos gubernamentales y no gubernamentales para diferentes parámetros del agua con relación a un uso específico. Por ejemplo, en nuestro país se utiliza como referencia el Código Alimentario Argentino (CAA) que establece los contenidos máximos permitidos de diferentes sustancias en el agua bebida.

Figura 1. Desembocadura del arroyo La Cañada en el río Suquía, en el centro de la ciudad de Córdoba. La Cañada recibe a lo largo de su curso las aguas de desagües pluviales y efluentes domiciliarios de parte de la ciudad. Foto: A. Pasquini.

sustancias tóxicas en el ambiente produciendo su contaminación. Así, la contaminación natural es provocada por procesos que ocurren en la naturaleza y que

Un ambiente está contaminado cuando cualquier agente físico, químico o biológico está presente en cantidad suficiente como para causar efectos dañinos, que afecten a la vida, la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o degraden el entorno

vés de efluentes cloacales y desagües pluviales (Figura 1); mediante los residuos de escape de motores; a través del lavado de basurales. Las actividades industriales pueden producir también contaminación a través de vertidos líquidos y sólidos; así como las prácticas agrícolas y mineras. Sin embargo, aunque son menos conocidos, existen procesos naturales que pueden dar origen a contenidos elevados de

introducen contaminantes al ambiente. Por ejemplo, el esparcimiento de cenizas a partir de erupciones volcánicas e incendios naturales provoca contaminación del aire, del agua y de los suelos (Figura 2). Otro mecanismo natural que puede producir contaminación es el conjunto de procesos que alteran las rocas y los sedimentos expuestos en la superficie de la Tierra y que se conoce como “meteorización química”. A través de estos procesos de alteración química se liberan al agua superficial (ríos, lagos) y subterránea (acuíferos) un conjunto de elementos químicos que en altos contenidos producen el deterioro de la “calidad del agua” y pueden tener efectos nocivos para la salud del ambiente y de las personas. Un ejemplo extremo de contaminación natural es lo que se llama drenaje ácido de rocas, responsable de altos contenidos de metales y metaloides potencialmente tóxicos en el agua (foto de portada).



Figura 2. Lago Nahuel Huapi (Bariloche, Río Negro) cubierto por cenizas volcánicas de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle iniciada el 4 de junio de 2011. Foto: P. Temporetti.

Dos ejemplos de contaminantes naturales

33

ARSÉNICO



¿Aliado del arte o agente homicida?
Un villano químico muy antiguo

As

Adaptación del artista Kaycie D. Fuente
<http://kcd-elements.tumblr.com>

El arsénico (As) es un elemento químico que puede definirse como semimetal o metaloide ya que presenta propie-

dades intermedias entre los metales y los no metales. Se halla en la naturaleza en estado nativo (elemental) o combinado en minerales como oropimente, arsenolita, arsenopirita, mimetita y skutterudita, entre muchos otros (Figura 3).

El arsénico elemental no es tóxico, son algunos compuestos de arsénico los que presentan una elevada toxicidad y por esta razón han sido utilizados a lo largo de la historia como un veneno efectivo

El arsénico elemental no es tóxico, son algunos compuestos de arsénico los que presentan una elevada toxicidad y por esta razón han sido utilizados a lo largo de la historia como un veneno efectivo. El óxido de arsénico (III), As_2O_3 , es una sustancia insípida que posee un característico olor a

33,7% Arsénico



Roselita $Ca_2(Co^{2+}, Mg)(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$

15,1% Arsénico



Mimetita $Pb_5(AsO_4)_3Cl$

26,1% Arsénico



Adamina $(ZnCu)_2AsO_4 \cdot HO$

15,1% Arsénico



Eritrina $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$

Figura 3. Minerales que contienen arsénico (As) en sus estructuras cristalinas. Se indica la fórmula química y el porcentaje de arsénico contenido en cada uno. Fotos: F. Colombo.



Figura 4. Hombre mostrando sus manos ampolladas por causa del envenenamiento gradual por arsénico en India. Tomada de <http://www.indiawaterportal.org/articles/arsenic-affected-villagers-gets-water-after-two-decades>

Napoleón ¿Envenenado por la familia real francesa o por causas naturales?

Como es bien conocido, Napoleón pasó sus últimos años exiliado en la isla de Santa Helena, en el océano Atlántico. El análisis de sus cabellos, realizado en la década de los 60s, demostró la presencia de altas concentraciones de arsénico. Si bien en un principio se especuló que esto era la consecuencia de un envenenamiento producido por la familia real francesa para evitar su regreso a Francia, en la actualidad se especula que fue el resultado de procesos naturales, a partir del desprendimiento de vapores de arsénico de los pigmentos del empapelado de su habitación.

almendras y era comúnmente usado en la antigüedad para pergeñar asesinatos de parientes, razón por la que se conoce como “polvo de herencia”. Algunas sustancias con arsénico han sido también históricamente utilizadas como pigmento en pinturas, así como para teñir telas y papel. Entre ellos, el llamado “verde de París” es un compuesto de arsénico y cobre (acetoarsenito de cobre, $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ que está presente en muchas obras de arte del siglo XIX.

¿Por qué el arsénico es un contaminante?

El arsénico es un contaminante natural y puede encontrarse en el agua como resultado de la meteorización química de los minerales que lo contienen, es decir, por un proceso que ocurre en la naturaleza, sin la intervención humana. Muchas regiones en el mundo presentan esta problemática. El arsénico se acumula en el organismo por el consumo de

El hidroarsenicismo es una enfermedad ambiental crónica asociada al consumo de aguas contaminadas con arsénico, es endémica en muchas regiones del mundo y en Argentina se lo denomina HACRE: hidroarsenicismo crónico regional endémico

agua de bebida rica en este elemento. Su ingesta prolongada puede causar afecciones en la piel, los músculos y los huesos, así como en los sistemas nervioso, respiratorio y gastrointestinal (Figura 4). La Agencia Internacional de Investigaciones de Cáncer (IARC) lo considera dentro de las sustancias que poseen mayor probabilidad de asociación con el cáncer para el ser humano. El hidroarsenicismo es una enfermedad ambiental crónica asociada al consumo de

aguas contaminadas con arsénico, es endémica en muchas regiones del mundo y en Argentina se lo denomina HACRE: hidroarsenicismo crónico regional endémico. Un caso emblemático de esta afección es lo que ocurre en Bangladesh, donde alrededor de 50 millones de personas han estado expuestas a niveles tóxicos de arsénico en el agua potable. En la actualidad se estima que mueren en ese país, más de 40.000 habitantes por año a causa de afecciones relacionadas con la ingesta de agua contaminada con arsénico.

¿Existe contaminación natural de arsénico en Argentina?

En Argentina se han encontrado altos contenidos naturales de arsénico en aguas de la región central y noroeste del país, de la región andina de Cuyo y de la llanura Chaco-Pampeana, siendo esta última una de las zonas más damnificadas con más de 10 millones de km^2 de superficie

Se estima que más de dos millones de personas en Argentina están potencialmente expuestas a la ingesta de aguas con contenidos de arsénico que superan los niveles guía dados por normativas nacionales e internacionales

3,8% Flúor



Fluorapatita $Ca_5(PO_4)_3(F)$

0,9% Flúor



Muscovita $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_{1,8}F_{0,2}$

48,7% Flúor



Fluorita CaF_2

20,1% Flúor



Topacio $Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$

Figura 5. Minerales que contienen flúor (F) en sus estructuras cristalinas. Se indica la fórmula química y el porcentaje de flúor en cada uno. Fotos: F. Colombo.

afectados por aguas contaminadas.

El origen del arsénico en las aguas se debe principalmente a la presencia de fragmentos volcánicos en sedimentos loésicos en contacto con reservorios de agua, principalmente subterránea. Se estima que más de dos millones de personas en Argentina están potencialmente expuestas a la ingesta de aguas con contenidos de arsénico que superan los niveles guía dados por normativas nacionales e internacionales. El CAA define un límite máximo de arsénico en agua de bebida de 0,01 mg/L. Aproximadamente un 90% del agua subterránea de la provincia de Córdoba presenta contenidos de arsénico por encima de estos límites.

Enfermedad de Bell Ville

La presencia de elevados contenidos de arsénico en agua así como sus efectos en la salud se conoce en Argentina desde comienzos del siglo XX. Uno de los hechos históricos más emblemáticos es el de la ciudad de Bell Ville en Córdoba. Un elevado número de casos de HACRE en esta ciudad hizo que esta patología se conociera como "enfermedad de Bell Ville" hasta el año 1913, cuando los Dres. Goyenechea y Pusso relacionaron las patologías observadas con el consumo de agua contaminada con arsénico. Años más tarde el Dr. Ayerza la denominó "arsenicismo regional endémico" (1917). Numerosos estudios posteriores pusieron en evidencia que las áreas afectadas por altos contenidos de arsénico en las aguas eran mucho más extensas de lo que se pensaba inicialmente.

En su forma pura el flúor es altamente peligroso, causando graves quemaduras al contacto con la piel, es tan reactivo que puede prender fuego cualquier cosa que toque

9 FLÚOR



¿Sonrisa perfecta o fluorosis esquelética? Un veneno con menos historia

F

Adaptación del artista Kaycie D. Fuente <http://kcd-elements.tumblr.com>

A diferencia del arsénico y de otros elementos, el flúor se conoce como sustancia tóxica desde hace relativamente poco tiempo. El flúor (F) es un elemento químico no metal, halógeno, que tiene propiedades químicas particulares. Es uno de los átomos más pequeños y es el más inquieto de la tabla periódica, ya que reacciona y forma compuestos con

prácticamente todos los otros elementos químicos. En su estado elemental es un gas a temperatura ambiente, de color amarillo pálido, formado por moléculas diatómicas: F_2 . En su forma pura el flúor es altamente peligroso, causando graves quemaduras al contacto con la piel, es tan reactivo que puede prender fuego cualquier cosa que toque.

El flúor se encuentra en alguno de los minerales que forman las rocas. Cuando éstos se alteran por meteorización química, el flúor es liberado y disuelto en el agua. Algunos minerales portadores de flúor son la apatita, fluorapatita, fluorita, biotita, muscovita, topacio, anfíboles (Figura 5). El flúor se libera al agua mediante una reacción química que puede representarse así:

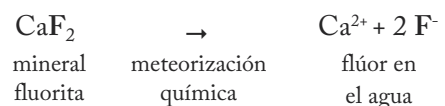




Figura 6. Fluorosis dental severa causada por el consumo de elevados contenidos de flúor. Fuente: <https://openparachute.wordpress.com/2017/09/19/facts-about-fluorosis-not-a-worry-in-new-zealand/>.

¿Por qué el flúor es un contaminante?

En la boca hay bacterias que se combinan con los azúcares de los alimentos y bebidas que se ingieren y forman ácidos, que dañan el esmalte dental formando caries. Es bien conocido que el flúor en dosis adecuadas previene la formación de caries (entre 0,5 y 1 mg/L), ya que favorece el proceso de mineralización de los tejidos duros. Sin embargo, la ingesta prolongada de agua y alimentos, que en conjunto poseen contenidos de flúor superiores a 1 mg/L, da lugar a la aparición de un cuadro clínico denominado fluorosis. Esta enfermedad está caracterizada por dientes moteados en la fluorosis dental (Figura 6) y huesos quebradizos en la fluo-

La ingesta prolongada de agua y alimentos, que en conjunto poseen contenidos de flúor superiores a 1 mg/L, da lugar a la aparición de un cuadro clínico denominado fluorosis

rosis esquelética, pudiendo también afectar a los tejidos blandos y al sistema nervioso. La fluorosis dental es un problema endémico de salud pública que afecta a la población infantil y adolescente de diferentes regiones del mundo.

¿Existe contaminación natural de flúor en Argentina?

Igual que en el caso del arsénico en nuestro país existen regiones con altos contenidos naturales de flúor en aguas. En los acuíferos de la llanura Chaco-Pampeana el flúor tiene su origen en procesos de meteorización química de cenizas volcánicas contenidas en los sedimentos. Se estima que alrededor de 1,2 millones de habitantes de esta región consumen aguas subterráneas con contenidos de flúor que exceden el valor guía establecido por el CAA (de 0,8 a 1,7 mg/L). También se conocen altos contenidos de flúor en ríos y arroyos de regiones montañosas, cuyo origen en este caso se debe a la alteración química de los minerales de rocas graníticas, portadores de flúor. Si bien existe menos información sobre el flúor disuelto en aguas superficiales de regiones serranas, se conocen algunos datos, por ejemplo en las Sierras de Córdoba y en la Sierra de Velasco en la provincia de La Rioja, que producen fluorosis dental en los habitantes de esas regiones.

El arsénico y el flúor son sólo dos ejemplos de contaminación por procesos naturales. Muchos otros elementos químicos como el plomo, el cadmio, el cromo, el selenio y el uranio, también pueden ser incorporados a las aguas por procesos de meteorización química similares a los que liberan arsénico y flúor. Su con-

Envenenamiento por fluoración: ¿Mito o realidad?

Existe una teoría que propone que el agregado de flúor al agua se utilizó para producir envenenamiento intencional masivo. Se ha sugerido que fue utilizado por primera vez en los campos de concentración nazis. El químico Charles Perkins en 1954, afirmó que en los años 30s, los químicos alemanes idearon un plan ingenioso para controlar a la población mediante el envenenamiento de las fuentes de agua potable, por adición de flúor a las mismas. Por este método pretendían controlar la natalidad, induciendo esterilidad en mujeres, siguiendo la filosofía nazi pangermánica. Además, Perkins aseguró que la fluoración del agua provocaba sedación mental de la población.

Curiosamente, el cineasta Stanley Kubrick en su película "Dr. Strangelove" del año 1964, conocida también como "¿Teléfono Rojo?" o "Volamos hacia Moscú", incluyó una escena en la que un general norteamericano, interpretado por Sterling Hayden, habla a su ayudante Mandrake, el actor Peter Sellers, sobre la fluoración del agua y de otros alimentos como parte de un plan de exterminio comunista durante la Guerra Fría.

centración en el agua va a depender de diversos factores como la naturaleza y cantidad de minerales presentes en las rocas y sedimentos en contacto con ella, y la forma en que son liberados, entre otros. Si su contenido en el agua supera los niveles guías, estos elementos son tóxicos y su efecto nocivo

sobre los seres vivos dependerá de la cantidad del contaminante y del tiempo de exposición al que está sometido el ser vivo, que determinará su acumulación en el organismo. En este sentido, los científicos de las Ciencias de la Tierra poseen el conocimiento y las herramientas necesarias

Un caso de fluorosis dental en las Sierras de Córdoba

En Córdoba existen regiones que presentan contenidos elevados de flúor en aguas naturales de ríos, arroyos y acuíferos, que tienen su origen en los minerales de las rocas graníticas de la región, como la fluorapatita. La ciudad de Charbonier y sus alrededores, en el Departamento de Punilla, es un claro ejemplo de una región afectada por fluorosis dental. Los contenidos de flúor en ríos y pozos de la región varían entre 1 y 8 mg/L, siendo el único elemento químico en las aguas que presenta contenidos por encima del nivel guía recomendado. En esta localidad, la ingesta promedio de flúor por día y por individuo (para el año 2008) supera los límites aceptables para consumo humano (del CAA). Para este cálculo, se consideraron todas las fuentes de consumo de este elemento (agua, alimentos, dentífrico, suplementos dietarios). Como resultado de esta ingesta, más del 85% de la población infantil presenta alguna forma de fluorosis dental, desde leve a severa.

para comprender los procesos que generan contaminación natural, así como la posibilidad de predecir diferentes escenarios. De esta manera, pueden brindar valiosa información para una adecuada gestión de los recursos naturales.

RB

Bibliografía/Lecturas sugeridas

Gallará, R.V., Piazza, L.A., Piñas, M.E., Barteik, M.E., Centeno, V.A., Bojanich, M.A., Moncunill, I.A., García, M.G., Lecomte, K., Rozas, C.A., Ponce, R.H. 2017. Fluorosis dental en una zona de Córdoba, Argentina. Desarrollo de estrategias para su prevención. Revista de la Facultad de Odontología. MEDLINE. Volumen 27 (1): 35-43.

García, M.G., Lecomte, K.L., Stupar, Y.V., Formica, S.M., Barrionuevo, M., Vesco, M., Gallará, R., Ponce, R. 2012. Geochemistry and health aspects of F-rich mountainous streams and groundwaters from Sierras Chicas de Córdoba, Argentina. Environmental Earth Sciences. Volumen 65 (2): 535-545

Palacios, S.V., Guglielmino, C.M., Vereá, M.A. y Pecotche, D.M. 2012. HACRE. Hidroarsenicismo Crónico Regional y Endémico. Archivos Argentinos de Dermatología. 62: 233-238.

Villaamil Lepori, 2015. Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 49 (1): 83-104.

Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/topics/water/es/>

G

Glosario

Acuífero: capa permeable de rocas o sedimentos que permite el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.

Drenaje ácido de rocas: proceso natural de contaminación ácida de las aguas de una región por la oxidación de minerales sulfurados.

Fluorosis esquelética: discapacidad invalidante producida por ingesta a largo plazo de agua y/o alimentos con altos contenidos de fluoruros (>6 mg por día) que resulta en la acumulación excesiva de flúor en los huesos, provocando cambios en su estructura haciéndolos frágiles y quebradizos.

Halógeno: Proviene del griego hals, "sal" y genes, "origen", significa "que origina sal". Elemento químico altamente reactivo, que forma sales minerales al unirse directamente con un metal.

Meteorización química: Conjunto de procesos químicos que se producen en la superficie de la Tierra o cerca de ella, que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera.

Sedimentos loésicos: son materiales de grano fino (limos), transportados por el viento y acumulados sobre la superficie terrestre, formando depósitos que pueden alcanzar decenas de metros de espesor.

PESTICIDAS Y METALES AL ACECHO

Por Miriam Palomeque y Cecilia Estrabou

La visión ambiental

En pocos años de la historia humana se han generado modificaciones tan importantes sobre los ecosistemas y el clima que su impacto se refleja en cambios a nivel mundial (cambio climático). Muchas de esas modificaciones están relacionadas con el actual modelo agrícola, que deteriora la capacidad productiva del suelo en particular y de los ecosistemas en general. Entre otros efectos nocivos, afecta la biodiversidad, destruye los procesos ecológicos esenciales, contamina el suelo, el aire y el agua y provoca enfermedades de origen toxicológico.

La visión ambiental requiere una mirada interdisciplinaria de los problemas que, aún hoy, es difícil de abordar cuando la ciencia se empeña en profundizar en un conocimiento cada vez más acotado a una fracción de

Monitoreo ambiental en el sur de Córdoba

Los drásticos cambios provocados por la agroindustria en los últimos años y sus consecuencias en la salud de la población y el ecosistema, requieren estudios multidisciplinarios integrados. La recopilación de datos a través de un monitoreo ambiental, a partir de los cuales se pueda adquirir conocimiento, posibilita detectar áreas potencialmente afectadas por agrotóxicos. Compartir los resultados de las investigaciones con las comunidades de la región, permite concientizar a los pobladores y autoridades sobre la importancia del control en el uso de agrotóxicos.

cada disciplina, a promover cada vez más especialistas con miradas más estrechas. En Argentina los problemas ambientales más agudos están asociados al deterioro de los suelos, la degradación de pasturas, la destrucción de los bosques, y la pérdida de biodiversidad genética y ecosistémica.

En la región pampeana el uso del modelo tradicional de rotación agrícola-ganadera, esto es varios años de cultivos anuales y luego varios años de ganadería sobre pasturas, favorecía la conservación y fertilidad de los suelos. El cambio de modelo productivo introdujo la implementación del doble cultivo anual en el mismo lote, trigo en invierno y soja en verano. Este cambio trajo aparejadas numerosas consecuencias desfavorables. Se intensificó el laboreo del suelo y, por ende, el deterioro edáfico por erosión hídrica y eólica. Se produjo la pérdida de capacidad de almacenaje de agua, la pérdida de nutrientes y disminuyó significativamente la incorporación de materia orgánica al suelo (suelo fértil). Además, este modelo productivo generó la deforestación del Bosque Nativo de la casi totalidad de la Provincia de Córdoba. Al eliminar las numerosísimas redes de raíces de diferentes tamaños del Bosque Nativo, la tierra se compacta por debajo de las pequeñas raíces del cultivo (única especie presente) por lo que el suelo pierde la capacidad de infiltrar agua e impide que ésta llegue a las capas profundas. Así, los procesos descritos favorecen las inundaciones.

La situación es más grave aún en las regiones semiáridas, donde la producción agrícola tiende al monocultivo de soja sobre la base de la disponibilidad de paquetes tecnológicos insumo-intensivos, esto es, las semillas transgénicas, el herbicida asociado y siembra directa. Esta tendencia agrava la erosión de los suelos y por ende, la situación de degradación del espacio rural y de las condiciones de vida local. Además, si bien el monocultivo de soja asegura una alta rentabilidad inmediata, lo hace a costa de la progresiva disminución de la calidad de los suelos.

Si bien la moneda de oro del productor siempre fue obtener las mejores semillas a partir de cada cosecha, el paquete tecnológico agroindustrial implica comprar las semillas que se siembran a empresas internacionales, cada vez que hay que plantar. Estas semillas son modificadas genéticamente para soportar mejor la sequía y otras situaciones adversas (ej. malezas), mientras que las semillas obtenidas a partir de cada cosecha van perdiendo las propiedades mencionadas y, por ende, ahora para cada siembra hay que comprar nuevas. Para que éstas germinen con alto rinde, también se proven los agrotóxicos que matan todo lo que no sea la planta objetivo (mayormente soja o trigo transgénico).

El cambio de modelo productivo introdujo la implementación del doble cultivo anual en el mismo lote, trigo en invierno y soja en verano.

Este cambio trajo aparejadas numerosas consecuencias desfavorables. Se intensificó el laboreo del suelo y, por ende, el deterioro edáfico por erosión hídrica y eólica. Se produjo la pérdida de capacidad de almacenaje de agua, la pérdida de nutrientes y disminuyó significativamente la incorporación de materia orgánica al suelo (suelo fértil). Además, este modelo productivo generó la deforestación del Bosque Nativo de la casi totalidad de la Provincia de Córdoba

Los agrotóxicos permiten fumigar enormes extensiones con mezcla de productos químicos que, se supone, están diseñados para depositarse sobre las hojas de las malezas y matarlas. Pero estos productos químicos terminan llegando de igual forma a las malezas, los animales, los cuerpos de agua y ríos, los suelos y las poblaciones. ¿Por qué? Porque en los últimos años, si bien no ha aumentado sustancialmente el número de hectáreas fumigadas, se aplican más de 100 toneladas de químicos más que antes. Estas sustancias son dispersadas entre otros métodos, desde aviones,





Figura 1. Líneas de investigación en áreas bajo agroindustria abordadas por el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA) y por el Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR) de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

llegando a la tierra, que dos veces al año (cuando se levanta la cosecha) queda expuesta sin ninguna cubierta vegetal. Cuando circula el aire, rápidamente se generan vientos y hasta tormentas de tierra que transportan los agrotóxicos y los llevan a las ciudades y pueblos vecinos. Otra parte de los tóxicos escurre hacia los ríos y lagunas y contamina el agua, tanto superficial como subterránea, que se utiliza para consumo humano y animal así como para riego de frutales, huertas y cultivos en general.

En Argentina estas nuevas tecnologías agrícolas, han modificado profundamente el escenario socio-ambiental

En general, los actores parecen concordar en que el estilo del modelo agro-industrial actual se ha agotado y decididamente no es sustentable, no sólo desde el punto de vista económico y ambiental, sino principalmente desde la perspectiva de la justicia social. Sin embargo, no se adoptan las medidas indispensables para la transformación de las instituciones económicas, sociales y políticas que dieron sustento al estilo vigente

del país. Además, están generando volúmenes de residuos cada vez mayores. Como consecuencia, las poblaciones próximas a zonas sembradas están expuestas a estas múltiples vías de contaminación. Como señaló el Dr. Lapolla (2010): “Chacareros que realicen una producción limpia, basada en la elaboración de alimentos para nuestro pueblo, exportando el sobrante, que sin dudas sería enorme y multivariado, recuperando por ejemplo la producción de la mejor carne del mundo, que implica pastoreo a cielo abierto, en campos de buena calidad y rotaciones agrícola-ganaderas, que devuelva la fertilidad natural a nuestros suelos hoy dañados, casi sin gastar en fertilizantes. Debemos reforestar enormes superficies devastadas por la sojización. Se requiere urgentemente una política ambiental pensada para el desarrollo de la nación, necesariamente acompañada de medidas de control más estrictas y beneficiosas por igual para todos sus habitantes”.

En resumen, se podría decir que convivimos todavía con dos realidades contrapuestas. En general, los actores parecen concordar en que el estilo del modelo agro-industrial

El desarrollo e implementación de programas efectivos de monitoreo y restauración ambiental requieren comprender los principales procesos físicos, químicos y biológicos imperantes en el sitio y caracterizar la naturaleza y extensión del problema

actual se ha agotado y decididamente no es sustentable, no sólo desde el punto de vista económico y ambiental, sino principalmente desde la perspectiva de la justicia social. Sin embargo, no se adoptan las medidas indispensables para la transformación de las instituciones económicas, sociales y políticas que dieron sustento al estilo vigente.

Hay que remediar y restaurar el ambiente

Las actividades humanas modifican las condiciones ambientales y en algunos casos hasta inhiben su capacidad de regeneración. A modo de ejemplo, los suelos contaminados con ciertos metales presentes en los agrotóxicos tienen a menudo características físicas, químicas y biológicas que obstaculizan los mecanismos de auto-recuperación. Las altas concentraciones de metales son tóxicas para las plantas y los microorganismos tales como las bacterias benéficas del suelo. Al verse afectadas estas poblaciones microbianas, se ralentiza la velocidad de descomposición de la materia orgánica así como el ciclo de los nutrientes mediado por microbios. Al disminuir la disponibilidad de nutrientes de las plantas la cobertura vegetal se empobrece o termina desapareciendo. A su vez, esto aumenta las posibilidades de erosión del suelo por el viento y el agua degradando aún más al ecosistema e incrementando la posibilidad de contaminación fuera del sitio.

Remediar y restaurar el ambiente implica desarrollar e implementar estrategias que permitan revertir los impactos negativos. Las actividades de remediación se centran en eliminar o tratar la contaminación, mientras que las actividades de restauración se centran en la rehabilitación del ecosistema. Por ello, es fundamental que estas actividades tengan un enfoque interdisciplinario.

El desarrollo e implementación de programas efectivos de monitoreo y restauración ambiental requieren comprender los principales procesos físicos, químicos y biológicos imperantes en el sitio y caracterizar la naturaleza y extensión del problema.



A través de la aplicación de procesos de monitoreo ambiental se conoce que la mayoría de los suelos superficiales, cuerpos de agua e incluso el hielo en nuestro planeta, contienen niveles de trazas y ultratrazas de productos químicos sintéticos, componentes nucleares e incluso plaguicidas debido a la escorrentía agrícola y la lluvia con contaminantes atmosféricos. Los efectos que causan estos componentes tóxicos liberados directa o indirectamente al ambiente, son realmente preocupantes

¿Qué es un monitoreo ambiental?

El monitoreo ambiental es la observación y estudio del medio ambiente, esto es, recopilar datos a partir de los cuales se puede adquirir conocimiento. Se sustenta en observaciones objetivas que producen datos a partir de los cuales se genera información valiosa. Este conocimiento permite comprender la existencia de un problema ó situación, dando la posibilidad de tomar decisiones informadas. Lógicamente, no pueden dejarse de lado los factores políticos, económicos y sociales, que son muy influyentes a la hora de la toma de decisiones. La información que se genera al aplicar un monitoreo puede ser usada de diversas formas, desde resolver un problema puntual en un sitio determinado hasta definir a largo plazo, estrategias de manejo y preservación de los recursos naturales sobre grandes extensiones de tierra.

A través de la aplicación de procesos de monitoreo ambiental se conoce que la mayoría de los suelos superficiales, cuerpos de agua e incluso el hielo en nuestro planeta, contienen niveles de trazas y ultratrazas de productos químicos sintéticos, componentes nucleares e incluso plaguicidas debido a la escorrentía agrícola y la lluvia con contaminantes atmosféricos. Los efectos que causan estos com-

ponentes tóxicos liberados directa o indirectamente al ambiente, son realmente preocupantes.

El monitoreo ambiental presupone un amplio estudio y requiere un enfoque científico multidisciplinario. Los investigadores dedicados a estudios ambientales requieren habilidades en química, física, biología, geología, matemáticas, estadísticas, etc. Por lo tanto, numerosas disciplinas están involucradas en este esfuerzo.

Nuestro proyecto

La preocupación sobre el tema planteado llevó a conformar un equipo de trabajo interdisciplinario de investigación para realizar el estudio de los factores de riesgo ambiental en aire y suelos y llevar a cabo el monitoreo ambiental en áreas de interés. Hasta el momento, son pocos los estudios como el nuestro que, a nivel regional, puedan

A partir de la información recabada hasta el momento por los grupos participantes podemos afirmar que llevando adelante un monitoreo constante en zonas amplias expuestas a agroquímicos es posible controlar el estado y las prácticas de la zona en estudio

alertar sobre los problemas derivados del cambio de uso del suelo y de sus efectos sobre la salud y el ambiente (ver Cuadros).

En la Figura 1 se muestra los aportes que realiza cada Centro de la Universidad Nacional de Córdoba que participa de estudios de contaminación en áreas bajo agroindustria, ubicadas al sureste de la provincia de Córdoba (desde Tío Pujio hasta Marcos Juárez).

Sabemos que hay mucho por hacer y mucho por mejorar, el grupo de trabajo transita ese camino.

Nuestros objetivos

- Desarrollar herramientas metodológicas para detectar factores de riesgo ambiental.
- Propiciar la apropiación de los resultados por parte de la comunidad.
- Generar acciones de restauración del ecosistema.
- Realizar el biomonitoreo genotóxico (ensayos en sangre) de personas expuestas laboralmente a plaguicidas.
- Efectuar estudios epidemiológicos para obtener información estadística sobre la situación socio-ambiental.
- Realizar ensayos para establecer patrones de calidad ambiental.
- Aplicar procesos de "Evaluación de Riesgo". El grupo ha comenzado a realizar los primeros estudios orientados a la evaluación de riesgos a la salud, identificando, recopilando e integrando información adecuada de los sitios de interés.

El proyecto se denomina "Observatorio ambiental y epidemiológico de poblaciones de la Provincia de Córdoba expuestas a agroquímicos" (PIO Cambio Climático). En él participan la Universidad Nacional de Córdoba, a través de los institutos CICTERRA e IIByT (CERNAR-FCEfyN), la Universidad Nacional de Villa María y la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Algunas actividades

Participamos de actividades de extensión, devolución de datos y divulgación en las comunidades donde se estuvo trabajando.

- Realizamos talleres, charlas, entrevistas televisivas, artículos de diario y un video en youtube que explica nuestra visión del tema, llamado "NONSANTO" (<https://vimeo.com/72905086>; <https://vimeo.com/154716535>; <https://vimeo.com/154373037>).
- Llevamos a cabo talleres de capacitación en salud para alumnos de nivel secundario y charlas informativas y de devolución de los resultados obtenidos con autoridades municipales y público en general.

Restauración ecológica

Trabajamos en proyectos de vinculación con la sociedad con el fin de generar compromiso en la idea de que la cobertura de bosque reviste suma importancia ya que sus beneficios ecosistémicos son relevantes. Entre ellos se puede mencionar la generación y retención de suelos, mantenimiento de los ciclos del agua, de nutrientes (fertilidad de los suelos), del aire (balance oxígeno-dióxido de carbono), biodiversidad, control climático regional y/o local, barrera de vientos y plagas, zonas de resguardo y de depuración de contaminación ambiental del aire, agua y tierra, generación de alimentos y materias primas, obtención de remedios, trabajo directo e indirecto para poblaciones locales y/o regionales, entre otros.

Para ello, se ha comenzado a construir un fragmento de Bosque Nativo modelo para promover la concientización en la comunidad, la discusión y la búsqueda de soluciones a través de la educación ambiental.



Algunos resultados destacados

- ▶ En las muestras de suelo se observa la presencia de algunas sustancias contaminantes (muchas de ellas prohibidas desde hace tiempo), con diferencias significativas entre las distintas campañas, aumentando notablemente en época de siembra, lo que estaría relacionado directamente con el laboreo agrícola en esa época del año. En los parques/plazas más cercanos a las márgenes de la ciudad, el monitoreo muestra la aparición de los mismos compuestos que aparecen en la zona rural, mientras que en el interior de la ciudad aparecen otros compuestos que son igualmente tóxicos y que generalmente se utilizan en el control de plagas en las zonas parqueadas de la ciudad.
- ▶ En lo relacionado con los estudios en aire, utilizando comunidades de líquenes en la primera etapa, se evidencia que en ambientes urbanos la biodiversidad disminuye y se reduce a unas pocas especies nitrofilicas mientras que, colindando con campos de cultivo, los líquenes muestran daño fisiológico y metales pesados en cantidades notorias.
- ▶ En relación a los estudios de genotoxicidad, se obtuvieron evidencias claras que indican que la exposición a plaguicidas causa daño genotóxico y esto permite establecer las bases científicas para que se comience con acciones que contribuyan al cuidado de la salud, fundamentalmente en aquellas poblaciones más vulnerables. Los niveles de daño genético encontrados en los grupos de niños de Oncativo y de Marcos Juárez estudiados están muy por arriba de valores de referencia.
- ▶ Respecto a los estudios epidemiológicos, el análisis espacial destacó, por un lado, la existencia de un conglomerado de altas tasas de mortalidad por tumores broncopulmonares en la zona sureste de la provincia, para ambos sexos y períodos estudiados. Por otro lado, y para la misma zona, también se observa un conglomerado de altas tasas de mortalidad por tumores colorectales.

Cecilia Estrabou
 Doctora en Cs. Biológicas
 Docente de la Escuela de
 Biología, FCEFYN,
 Universidad Nacional de
 Córdoba



Miriam E. Palomeque
 Doctora en Química
 Docente de la Escuela de
 Geología, FCEFYN,
 Universidad Nacional de
 Córdoba



Glosario

Biodiversidad o diversidad

ecológica: variedad de organismos vivos de cualquier procedencia que viven en un espacio determinado.

Biodiversidad genética: número total de características genéticas dentro de cada especie.

Edáfico: Relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a la vida de las plantas.

Agroindustria: Explotación agraria organizada como una industria.

Trazas /ultrazas: Elemento químico presente en materiales naturales de la corteza terrestre en concentraciones menores de 0,1% / 0,001%.

Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Carrasco, A.E., Sánchez, N.E. y Tamagno, L.E. Modelo agrícola e impacto socio-ambiental en la Argentina: monocultivo y agronegocios. Primera edición electrónica, 2012. Serie Monográfica Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una nueva América Latina.

Lapolla, A.J. 2010 Las 52 millones de Toneladas de soja transgénica y la ética de los científicos y los Ingenieros Agrónomos. FALTA CITA

Avendaño, M., Filippini, E., Palomeque, M. y Estrabou, C. (2014). El valor de los sistemas de monitoreo para la salud y el ambiente: aire y suelo. <http://www.cepyd.org.ar/revista/index.php/CPS/article/view/10>

Estrabou, C. (2014). Acciones y propuestas generadas a partir del Observatorio Ambiental y Epidemiológico de Poblaciones de Córdoba expuestas a agroquímicos. Cuestiones de Población y Sociedad. 4: 98-102.

La revolución marina del Paleozoico medio

El gran impacto de los continentes sobre la vida en el mar



A mediados de la Era Paleozoica, hace aproximadamente 400 millones de años, los ecosistemas marinos recibieron un estímulo sin precedentes cuando los continentes comenzaron a aportar nutrientes orgánicos que se habían almacenado como producto del desarrollo de la primera vegetación terrestre. Esta fertilización a gran escala, incentivó la complejización de las redes tróficas en todos los ambientes marinos y disparó una carrera evolutiva entre nuevos tipos de depredadores y una gran variedad de presas con defensas innovadoras. Este hito único definió la historia de la vida marina en lo sucesivo y, en gran medida, es responsable de la dinámica ecológica que observamos todavía en los mares de nuestros días.



Juan José Rustán

Doctor en Ciencias Geológicas,
Investigador Adjunto del CONICET
Docente de la Carrera de Geología
Universidad Nacional de La Rioja

La fascinación que nos despiertan los océanos y sus habitantes cobra una dimensión casi fantástica cuando se trata de averiguar lo que sucedía en los escenarios marinos desaparecidos hace millones de años. Entre los interrogantes que obsesionan aún a los científicos más acostumbrados a las maravillas de la vida, se destacan una serie de acontecimientos acaecidos tempranamente en los océanos primitivos. Aunque la aparición de la vida y su diversificación inicial están en el primer puesto del podio, otros eventos bióticos de gran escala, pero menos conocidos, mantienen candentes las discusiones de los investigadores en su impulso por averiguar, desentrañar y descubrir.

Uno de estos grandes despliegues, tuvo lugar en los mares de hace unos 400 millones de años. Para dimensionar la cuestión será necesario un breve recorrido por las primeras etapas de la vida valiéndonos de una combinación entre los rigurosos datos aportados por las Ciencias de la Tierra y de la Vida y el potencial interpretativo que nos brinda la imaginación.

El edén de los primeros mares: *a sunrise reggae*

Hace unos 3500 millones de años (casi mil millones de años después del origen de nuestro planeta), la vida tuvo su primera aparición representada por sencillas formas unicelulares que dominaron los mares por largos períodos geológicos, mientras los continentes permanecían absolutamente desiertos. Estos minúsculos habitantes eran tenaces arquitectos y evolucionaron hacia formas complejas modificando en el proceso la composición química de los mares y la atmósfera con los productos de su metabolismo. Nuestro planeta, alguna vez inhóspito, se volvió paulatinamente más confortable como resultado de la actividad de estos humildes pioneros que se limitaban a cubrir el fondo marino con un tapiz protector.

Durante el prolongado intervalo inicial de la Tierra (que los geólogos denominan Precámbrico) los

mares se asemejaban a un jardín que se nutría de la luz del sol mediante fotosíntesis y florecía poblado de algas y de delicadísimos animales de aspecto plumoso que se mecían fijos al fondo, entre bochones rocosos construidos por bacterias. Este era un mundo extraño, pacífico y relajado, totalmente carente de depredadores (Figura 1).

Durante el prolongado intervalo inicial de la Tierra (que los geólogos denominan Precámbrico) los mares se asemejaban a un jardín que se nutría de la luz del sol mediante fotosíntesis y florecía poblado de algas y de delicadísimos animales de aspecto plumoso que se mecían fijos al fondo, entre bochones rocosos construidos por bacterias. Este era un mundo extraño, pacífico y relajado, totalmente carente de depredadores



Figura 1. Un fondo marino de finales del Precámbrico, hace unos 600 millones de años. En este mundo tranquilo, no había animales complejos ni depredadores. <http://unnatural.ru/unprotein-life> Autor John Sibbick

La vida se complica: comienza el Paleozoico

Acto seguido y dando lugar a uno de los mayores enigmas de la vida de todos los tiempos, aparecieron ya perfectamente definidos todos los principales grupos de animales marinos que conocemos actualmente, junto con otros bizarros e inclasificables, destinados a desaparecer para siempre. Desfilaron por primera vez organismos de construcción compleja y dotados de visión, que podían desplazarse ávidos de ingerir alimento y que, en muchos casos, estaban provistos de duros caparazones preservables

Acto seguido y dando lugar a uno de los mayores enigmas de la vida de todos los tiempos, aparecieron ya perfectamente definidos todos los principales grupos de animales marinos que conocemos actualmente, junto con otros bizarros e inclasificables, destinados a desaparecer para siempre

como fósiles.

Con esta aparición explosiva de nuevos diseños biológicos en los océanos quedaba oficialmente inaugurada la Era Paleozoica, hace unos 540 millones de años, mientras los continentes con-

tinuaban desprovistos de vida.

A partir de este gran evento evolutivo, se inició un abundante y continuo registro de fósiles que relata con detalle los pormenores de la historia de la vida hasta nuestros días. Durante los 290 millones de años de duración de la Era Paleozoica, antes de que aparecieran los dinosaurios, las aves y los mamíferos, se sucedieron varios eventos destacables incluyendo la conquista de la tierra firme, devastadoras etapas de extinción masiva y revoluciones ecológicas globales que delinearon para siempre las características de los principales ecosistemas que conocemos en la actualidad. Uno de estos grandes eventos se conoce como la Revolución Marina del Paleozoico medio.

El antecedente de principios del Paleozoico: una cuestión de fondo

En un verdadero acto de ambición, teniendo en cuenta la espectacular explosión de los albores del Paleozoico, la vida marina redobló la apuesta embarcándose en un nuevo proyecto de diversificación. Esta vez, mientras los continentes sufrían apenas tímidos intentos de conquista por parte de las primeras plantas (hace unos 470 millones de años), un nutrido elenco de formas de vida se encargó de explotar especialmente los ambientes relacionados con los fondos marinos.

En esta situación, nos hubiese llamado la atención la escasez de formas de movimientos enérgicos, en especial de depredadores

Mientras los continentes sufrían apenas tímidos intentos de conquista por parte de las primeras plantas (hace unos 470 millones de años), un nutrido elenco de formas de vida se encargó de explotar especialmente los ambientes relacionados con los fondos marinos

y nadadores expertos como los peces, lo cual dejaba sin explotar gran parte del agua como espacio vital. Los animales se encontraban organizados en rígidos niveles verticales, a unos pocos centímetros por sobre el fondo marino, mayormente enfrascados en una pasiva competencia por obtener las partículas de alimento que se encontraban suspendidas en el agua o espar-

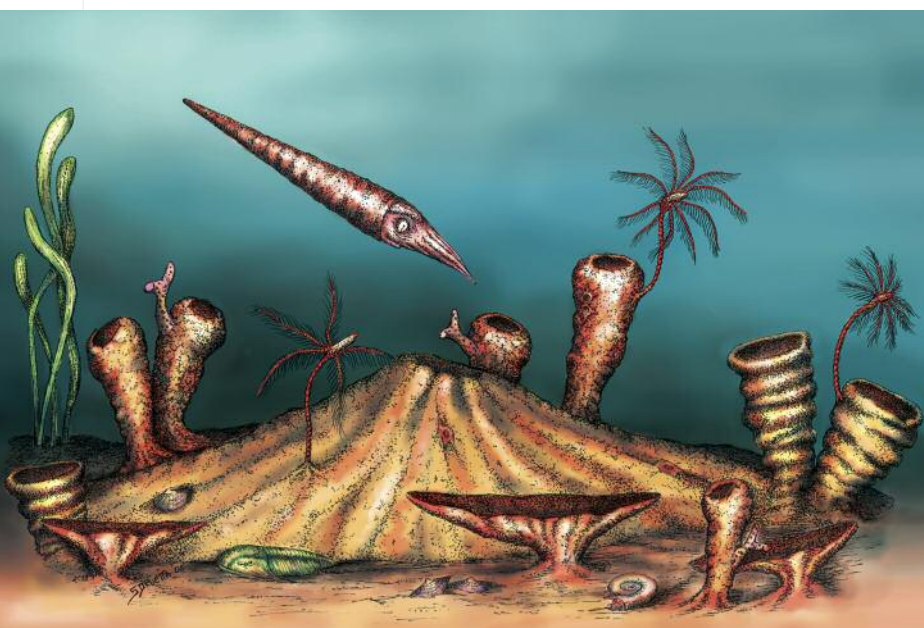


Figura 2. Luego de la explosiva aparición de una gran diversidad de organismos con esqueletos, que caracterizó el comienzo de la Era Paleozoica (hace unos 540 millones de años), la vida continuó asociada a los recursos del fondo marino. Imagen: S. Druetta.

Figura 3. Durante el Paleozoico medio, hace unos 400 millones años, los océanos comenzaron a mostrar la influencia del aporte de nutrientes desde los continentes, acumulados gracias al desarrollo de la vegetación terrestre. Esta fertilización de gran escala disparó un drástico aumento en la productividad biológica y las interacciones entre consumidores marinos se vieron fuertemente estimuladas a nivel global. Ilustración de un bosque Devónico por Eduard Riou (1838-1900), fuente: *The World Before the Deluge* 1872, USA.



cidas por el fondo (Figura 2). Este era el reino de todo lo que permaneciera en el lecho marino, recolectando y procesando partículas nutritivas en una aburrida monotonía. Así de estático habría sido el escenario precursor de la revolución por los alimentos que sobrevendría a continuación.

¡La mesa está servida! Una revolución por nuevos recursos alimenticios

Hacia mediados de la Era Paleozoica (hace alrededor de 400 millones años) un decisivo fenómeno de reorganización de las cadenas alimentarias se generó cuando los continentes comenzaron a suministrar gran cantidad de nutrientes hacia los océanos, por primera vez en la historia de nuestro planeta. Los continentes habían estado almacenando materia orgánica durante el prolongado proceso de conquista del medio terrestre por parte de las plantas (Figura 3). Éstas se diversificaron en tiempo récord, desarrollaron suelos ricos en componentes orgánicos, incrementaron la descomposición biológica de las rocas

Hacia mediados de la Era Paleozoica (hace alrededor de 400 millones años) un decisivo fenómeno de reorganización de las cadenas alimentarias se generó cuando los continentes comenzaron a suministrar gran cantidad de nutrientes hacia los océanos, por primera vez en la historia de nuestro planeta

y aumentaron la productividad fotosintética total. Como resultado, el Paleozoico medio atestiguó el comienzo de un verdadero proceso de fertilización de los océanos mediante el aporte significativo de carbono y otros elementos químicos esenciales para la vida (fundamentalmente fósforo y nitrógeno). El acontecimiento se vio particularmente favorecido por bajos niveles del mar, que contribuyeron a la mejor exposición y erosión de las masas continentales emergidas.

Los complejos mecanismos ecológicos desencadenados por este repentino aporte de gran cantidad de recursos energéticos, trastocaron radicalmente las relaciones entre organismos con-

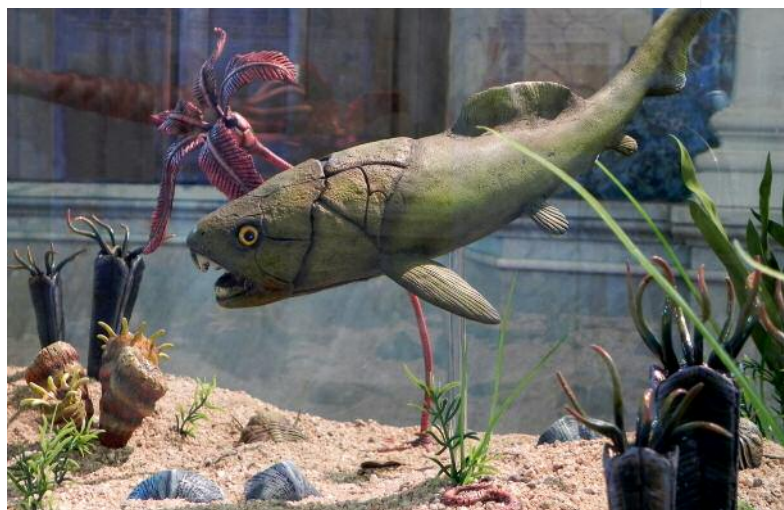


Figura 4. La Revolución Marina del Paleozoico medio implicó un la aparición de grandes depredadores y de nuevas defensas adaptativas en las presas. Los estilos de vida muy activos se volvieron comunes, particularmente en las aguas libres. La reconstrucción pertenece a la Muestra Paleontológica "500 millones de años de viaje submarino: la vida en los mares primitivos" expuesta en la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba (Diseño del diorama: Santiago Druetta).

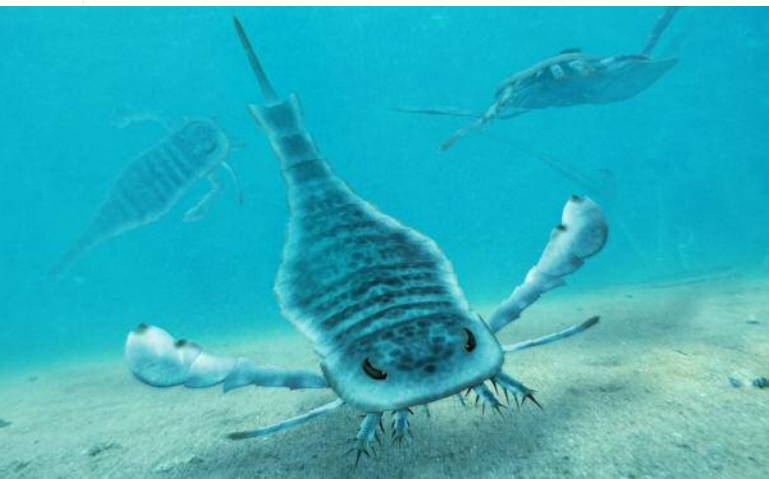


Figura 5. Algunos depredadores muy particulares son típicos del Paleozoico medio, como los extinguidos escorpiones marinos. Créditos: Obsidian Soul

sumidores en todos los ecosistemas marinos y comenzó una encarnizada disputa evolutiva por el aprovechamiento de los nuevos alimentos disponibles. Pronto, nuevos y singulares protagonistas aparecieron en escena y la abundancia y diversidad de especies marinas comenzó a aumentar aceleradamente.

En este contexto, la Revolución Marina del Paleozoico medio es una hipótesis que explica un doble conjunto de evidencias del registro paleontológico: por un lado, la rápida aparición de nuevos tipos de depredadores especializados y como contrapartida, una serie de radicales respuestas defensivas en las presas (Figura 4). La propuesta supone que se intensificaron las interacciones bióticas de enemistad o antagonismo (particularmente de depredación y competencia) y predice la diversificación y



Figura 6. El trilobite *Echidnops taphomimus* del Devónico de Argentina, adquirió la capacidad de enterrarse para protegerse mientras cambiaba de caparazón. El fósil ilustrado representa un caparazón dejado por el animal dentro del sedimento, luego de desprenderse de él durante el proceso de muda. Foto: J. J. Rustán.

La Revolución Marina del Paleozoico medio es una hipótesis que explica un doble conjunto de evidencias del registro paleontológico: por un lado, la rápida aparición de nuevos tipos de depredadores especializados y como contrapartida, una serie de radicales respuestas defensivas en las presas

predominio de formas de vida de alta demanda energética (con modos de vida muy activos y altos requerimientos metabólicos). En la concepción central de este fenómeno evolutivo, subyace la idea de una carrera de armas entre depredadores y presas que involucró un lapso fundamentalmente comprendido entre los 440 y los 300 millones de años (los períodos geológicos correspondientes al Silúrico, Devónico y Carbonífero de la Era Paleozoica). Los grandes cambios en el estilo de vida de los habitantes marinos se vieron incentivados a su vez por crecientes niveles de oxigenación, causados por el incremento en la fotosíntesis global de las plantas terrestres y las algas marinas microscópicas.

Los nadadores activos se volvieron dominantes en detrimento de modos de vida más pasivos y asociados a los fondos, más comunes hasta ese momento. De hecho, las consecuencias más notables de esta revolución tuvieron lugar en las aguas alejadas de los fondos, que se vieron invadidas por una pesadilla de nuevos y aterradores protagonistas.

Aparecieron peces de todo tipo (Figura 4), en ocasiones gigantes, dotados de temibles mandíbulas llenas de dientes cortantes y placas trituradoras. Entre los artrópodos, se destacaban escorpiones marinos de más de un metro de largo que patrullaban las aguas blandiendo mortíferas pinzas raptoras (Figura 5). Astutos parientes extinguidos de calamares y pulpos, con picos punzantes como los de los loros, evolucionaron para reclamar su cuota de carne fresca en el dominio de las aguas libres (imagen de portada). Éstos desarrollaron caparazones fuertemente enrollados y reforzados que les permitieron regular eficientemente la flotabilidad y resistir altas presiones sin perder velocidad y maniobrabilidad, lo cual los habilitó para realizar incursiones rapaces incluso a grandes profundidades.

La respuesta evolutiva en las presas fue igual de espectacular. El aumento en la presión de depredación indujo la adquisición generalizada de defensas morfológicas, como espinas, armaduras y gruesos caparazones, además de conductas disuasivas y evasivas, como el ocultamiento, la capacidad de excavar y enterrarse (Figuras 6 y 7, ver recuadro), el incremento en la movilidad, el camuflaje, y la capacidad de regeneración de partes dañadas.

En este cambio radical de las reglas de interacción biológica yace la esencia de la revolución ecológico-evolutiva del Paleozoico medio. La dinámica de la vida en los mares había cambiado por completo y nunca volvió a ser como antes.

Enterrarse para cambiar de caparazón: una conducta defensiva extrema en los trilobites

Aunque los estudios preliminares de la Revolución Marina del Paleozoico medio se han enfocado en los depredadores, un renovado conjunto de investigaciones están dirigidas a saber lo que ocurrió con las presas. Existen reportes acerca del aumento de estrategias defensivas típicas, como la espinosidad, que se observa en parientes de las estrellas y erizos de mar, en caracoles, almejas y otros animales provistos de valvas. Sin embargo, hay pocos estudios sobre los trilobites, un importante grupo de simpáticos artrópodos marinos del Paleozoico, de aspecto similar a los actuales bichos-bolita. Los trilobites eran animales altamente móviles y, por lo tanto, son ideales para analizar comportamientos defensivos, sobre todo teniendo en cuenta que los estudios previos se han centrado en grupos prácticamente incapaces de desplazarse. Antecedentes interesantes indican que precisamente a mediados del Paleozoico varios grupos de trilobites desarrollaron independientemente la capacidad de enterrarse en el sedimento blando para mudar el caparazón, a resguardo de depredadores durante esta etapa de gran vulnerabilidad de su ciclo vital (Figura 7). Otros indicios de la necesidad de adquirir defensas se relacionan con la alta diversidad de trilobites fuertemente espinosos y provistos de otras estructuras defensivas inusuales, como cuernos, espadas y tridentes frontales (Figura 7). En el marco de los proyectos de investigación que lleva adelante el CICTERRA, se están estudiando aspectos evolutivos de los trilobites que puedan ser mejor explicados en el contexto del aumento en la presión de depredación del Paleozoico medio. Esperamos que, dentro de poco, estas nuevas investigaciones nos permitan escribir algunas líneas más sobre la Revolución Marina del Paleozoico medio.

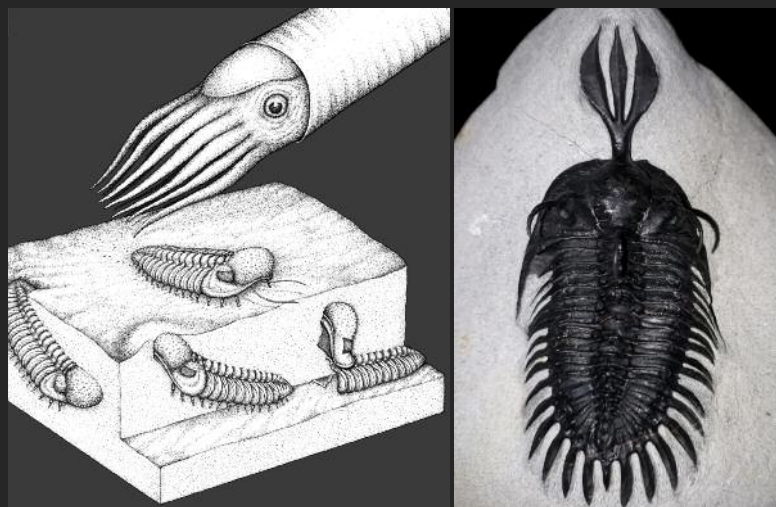


Figura 7. (Izquierda) Durante el Paleozoico medio ciertos trilobites desarrollaron la capacidad de enterrarse para mudar de caparazón, para lograr protección contra sus depredadores habituales, como los cefalópodos. Ilustración tomada de Rustán et al., 2011. (Derecha) Otros adquirieron largas espinas y desconcertantes estructuras morfológicas para defenderse, como *Walliserops aff. lindoei* del Devónico de Marruecos. Foto: J.J. Rustán.

La dinámica de la vida en los mares actuales: un legado

La influencia recíproca entre los continentes y los océanos, que se desencadenó con consecuencias tan fructíferas para la vida a mediados del Paleozoico, puede comprobarse aún en nuestros días. Aunque es verdad que la vida volvió a experimentar revoluciones comparables, como sucedió posteriormente hace unos 180 millones de años cuando los mares del Mesozoico se poblaron de monstruos marinos de origen reptiliano, la crisis precursora que sacudió del letargo las interacciones entre consumidores marinos, puede rastreadse fácilmente hasta el Paleozoico medio. La evidencia de los fósiles es contundente.

La influencia recíproca entre los continentes y los océanos, que se desencadenó con consecuencias tan fructíferas para la vida a mediados del Paleozoico, puede comprobarse aún en nuestros días

Muchas de las escenas que hoy nos cautivan en los documentales sobre la vida marina, como gigantescos tiburones atacando a sus presas o enormes torbellinos de peces disfrutando de la bonanza de las aguas ricas en alimento, podrían haberse rodado ya en las aguas remotas del Paleozoico medio.

RB

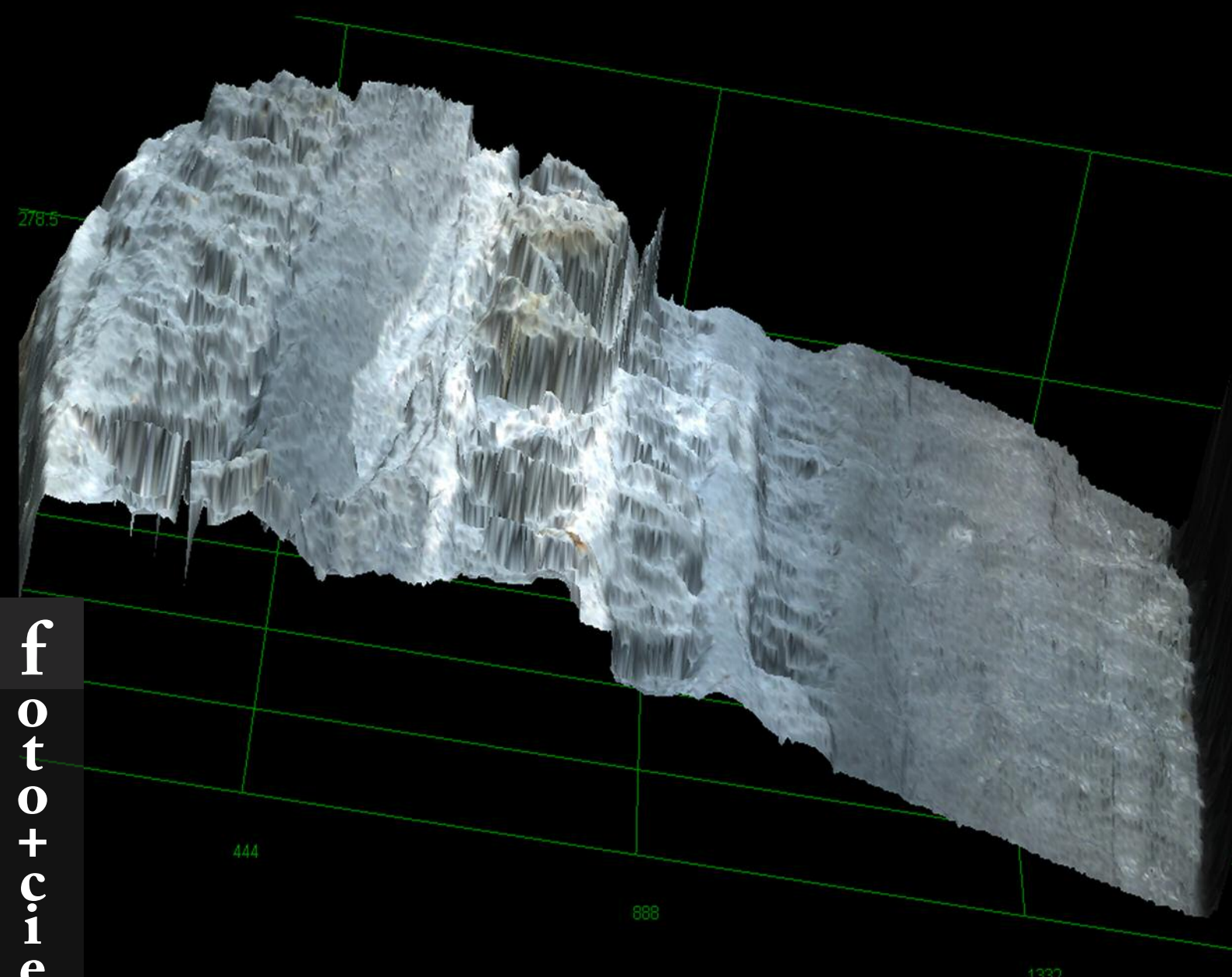
Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Bambach, R.K. (1999). Energetics in the global marine fauna: a connection between terrestrial diversification and change in the marine biosphere. *Geobios* 32, 131-144.

Klug, C., Kroeger, B., Kiessling, W., Mullins, G.L., Servais, T., Frýda, J. y Turner, S. (2010). The Devonian nekton revolution. *Lethaia*, 43(4), 465-477.

Rustán, J.J., Balseiro, D., Waisfeld, B., Foglia, R.D. y Vaccari, N.E. (2011). Infaunal molting in Trilobita and escalatory responses against predation. *Geology*, 39(5), 495-498.

Signor, P.W. III y Brett, C.E. (1984). The mid-Paleozoic precursor to the Mesozoic marine revolution. *Paleobiology* 10, 229-245.



f
o
t
o
+
c
i
e
n
c
i
a

Fotos del caparazón del caracol "Borus" hallado en el yacimiento arqueológico de Ongamira, Córdoba (arriba). Imagen de la microestructura obtenida con microscopio confocal láser de barrido, ampliada 1000 veces (abajo). **Autora: Gabriella M. Boretto.**



FICHA GEOLÓGICA

MINERALES: CORDIERITA



Composición y sistema de cristalización: silicato de aluminio y magnesio, con contenidos variables de hierro. Es frecuente en masas compactas, raramente en cristales prismáticos de contorno hexagonal y terminación plana.

Color y dureza: posee una característica curiosa perceptible a simple vista llamada pleocroísmo, que se manifiesta como un cambio de color al rotar la muestra. La cordierita se ve violeta en una dirección, y gris al ser girada 90°. Es común que se formen productos de alteración muy finos (clorita) que le dan un color verdoso. Tiene una dureza de 7 a 7,5 (más dura que el vidrio, e igual o apenas superior a la del cuarzo, ver Ficha Geológica N° 1).

Origen y presencia en rocas: generalmente de origen metamórfico, en rocas aluminosas de grado medio a alto. Menos frecuentemente de origen ígneo, en granitos y pegmatitas.

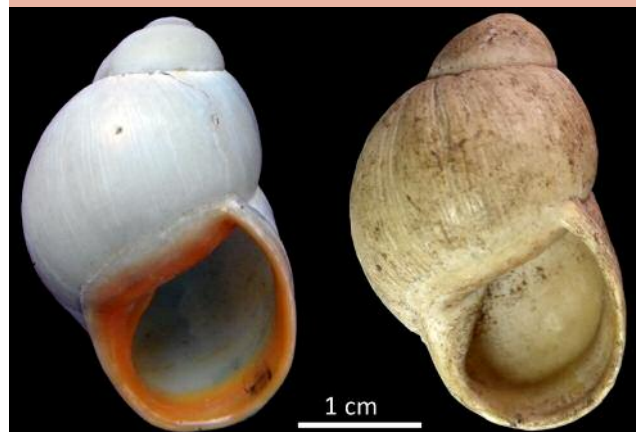
Yacimientos en Córdoba: se distribuye en pequeños granos en muchas rocas metamórficas, como las que se ven en la quebrada del río Suquía entre La Calera y el dique San Roque, y en la zona de Santa Rosa de Calamuchita. Una roca excepcional ("cordieritita") constituida en un alto porcentaje por cordierita se encuentra en las cercanías de Soto (norte cordobés). Forma masas granulares o envolturas alrededor de núcleos de biotita, dando al conjunto el aspecto de un apilamiento de esferas aplanadas. Es una rareza a nivel mundial.

Usos comerciales: las rocas que la contienen se usan como material ornamental, en placas para recubrimientos y mesadas. La cordierita de color violeta azulado intenso también se faceta para joyería y se la conoce como Azul Tango.

¿Dónde encontrarla?: se exhibe en el Museo de Mineralogía y Geología "Dr. A. Stelzner" de la FCEFyN, UNC y además es posible ver cordierita en numerosas edificaciones en Córdoba, donde este mineral integra las rocas usadas para recubrir fachadas.

FICHA PALEONTOLÓGICA

MOLUSCOS: CARACOL BORUS ENANO



Nombre científico: *Austroborus cordillerae* (Doering 1877).

Tamaño: los ejemplares conocidos tienen una altura aproximada de 35 mm.

Características particulares: caracol globoso, cubierto externamente con líneas de crecimiento que en el sector superior (espiralado) se entrecruzan, como un entramado, con otras líneas perpendiculares, siendo éste un carácter diagnóstico. La abertura presenta un reborde (peristoma) rojizo-anaranjado, que se decolora en ejemplares fósiles.

Período: Holoceno medio-tardío (desde hace 5000 años hasta la actualidad).

Status: probablemente extinta, ya que fue reportada viva por última vez en 1928. Sin embargo hay indicios que podría existir una población relictual en Ongamira.

Distribución geográfica: especie endémica del noroeste de Córdoba. Mencionada para Pampa de Achala, Pampa de Olaen, Cerro Uritorco y Ongamira. Algunos ejemplares se encontraron en contexto arqueológico de cazadores-recolectores del Holoceno tardío.

Hábitat y modo de vida: este tipo de caracoles permanece la mayor parte de tiempo enterrado. Tiene actividad estival y nocturna, y sólo diurna cuando hay mucha humedad y/o precipitaciones, hibernando durante el invierno y la estación seca. Viven asociados a vegetación.

Observaciones: se hace mención al término "enano" para diferenciarlo de otro "Borus" (*Megalobulimus lorentzianus*) de mayor tamaño (85 mm), que tiene peristoma rojo vítreo a rosado y mayor área de distribución en la provincia.

Lugares de repositorio: hay muy escasa cantidad de ejemplares en diferentes museos, entre ellos, el Museo de Historia Natural de Montevideo, el Museo de La Plata, el Museo de Antropología de la UNC y museos regionales de la provincia de Córdoba. Dos ejemplares, procedentes de la Pampa de Olaen, se encuentran en la colección del CICTERRA.

Jóvenes científicos

Catalina Balbis es una joven geóloga egresada de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. En la actualidad, es estudiante de Doctorado en Ciencias Geológicas con una beca de CONICET.



Reconstruyendo volcanes

Su investigación, dirigida por el Dr. Iván Petrinovic y el Dr. Gustavo Villarosa, se basa en la reconstrucción de eventos volcánicos explosivos post-glaciales en los alrededores del Volcán Lanín, Neuquén, Argentina.

¿Podrías explicarnos brevemente cuáles son los objetivos de tu tesis?

Los objetivos de mi tesis son varios. Pero el principal objetivo es armar una "historia" a partir de los registros de las erupciones explosivas del volcán Lanín después del último período glacial (es decir, desde los 14 mil años hasta la actualidad, usando como técnica la vulcanología física.

Otro de los principales objetivos es encontrar los centros de emisión de esas erupciones y entender por qué se ubican en ese lugar, a esto lo llamamos el estudio de las relaciones volcano-tectónicas.

¿Por qué es importante reconstruir la actividad del volcán Lanín?

El volcán Lanín está ubicado en el Parque Nacional Lanín y es considerado un volcán activo, lo que se conoce de este volcán es poco y de los registros "más nuevos" menos aún.

La única forma de conocer cómo

puede actuar un volcán si entra en erupción es sabiendo cómo lo hizo en el pasado y eso puede determinarse gracias al estudio de los registros en el campo.

¿Qué tipo de actividades llevás a cabo para cumplir con tus objetivos de tesis?

Las actividades que hago son variadas, pero una de las más necesarias (y por suerte de las que más me gusta) es ir al campo, es decir, ir a la zona del volcán. Voy una vez por año, siempre en el verano, porque en el invierno hay mucha nieve y me impide ver las rocas. Allí juntamos muestras (rocas) y otros tipos de datos como el lugar donde las juntamos, colores, tamaños, mediciones de estructuras, etc.

Mientras estoy en Córdoba me dedico a analizar las muestras en el laboratorio, hacerles diferentes análisis para obtener más datos y poder entender procesos. Otra parte del tiempo lo dedico a leer y estudiar sobre temas o zonas similares, hacer mapas, cursos para aprender cosas nuevas, etc.



¿Por qué elegiste la vulcanología como área de estudio de tu tesis doctoral?

Desde chica me llamaron la atención y me gustaban los volcanes. Me parecía muy impresionante que salga lava desde adentro de la Tierra.

Cuando que empecé a estudiar Geología me di cuenta que iba a poder estudiarlos; en el cuarto año de la carrera me comuniqué con Iván Petrinovic (un vulcanólogo que trabaja en el CICTERRA) y me invitó al campo, fuimos a la Puna en Salta con una chica que estaba haciendo el doctorado. Al tiempo decidí hacer la tesis de grado con él trabajando en el volcán Copahue y la verdad que me encantó. Así que, cuando me faltaba poquito para recibirme decidí pedir beca de CONICET para poder seguir estudiando volcanes.

¿Qué otras disciplinas son afines a tu trabajo?

El vulcanismo se puede estudiar multidisciplinariamente, desde las ciencias naturales como geología, biología, física, química hasta a partir de las ciencias sociales como la sociología, antropología.

Creo que es súper importante y enriquecedor estudiar los problemas desde muchas disciplinas.

¿A qué dedicás tu tiempo libre?

En mi tiempo libre, me gusta estar en mi casa, compartir tiempo con mi familia y amigos. Me encantan las plantas, hace unos años coleccionaba cactus y les dedicaba mucho tiempo pero ahora vivo en un departamento y se me complica un poco!

También disfruto mucho de actividades al aire libre como salir a caminar a las sierras, andar en bici.

¿Qué planes tenés para tu futuro en la ciencia?

Por dos años más voy a seguir en el CICTERRA estudiando el volcán Lanín, después la verdad que no lo tengo muy claro.

La ciencia es apasionante y la verdad que tener la posibilidad de trabajar en Argentina, en una institución de ciencia nacional como el CONICET, estudiando lo que a uno le gusta y aportando al conocimiento es algo fantástico.

Pienso que hay mucho por conocer, mucho por estudiar y mucho por aprender en mi zona de estudio y en general en los volcanes argentinos.

SISMOS Y TERREMOTOS

CUANDO SE NOS MUEVE EL PISO

Los sismos y terremotos son procesos geológicos difíciles de predecir que modelan la superficie de la Tierra. Por lo tanto, lo único que nos ayuda a afrontarlos es aprender cada vez más sobre ellos.



Foto de portada: Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES: http://contenidos.inpres.gov.ar/alumnos/fotos_terr)

Las cosas por su nombre: hipocentro, epicentro, falla y ondas sísmicas

Un sismo comienza en un punto llamado *hipocentro* o foco, situado en la superficie de ruptura de la falla (localizada por una latitud, longitud y profundidad), y se proyecta en la superficie terrestre en el *epicentro* (latitud y longitud).

El movimiento que percibimos cuando ocurre un sismo, se debe a que hay energía acumulada en ciertos puntos de debilidad, generalmente en la litósfera terrestre, que supera la resistencia de la roca y hace que la misma rompa súbitamente. Parte de esta energía liberada en el *hipocentro* se propaga como *ondas sísmicas* (Figura 1) y otra parte se disipa en forma de calor.

La propagación de dichas ondas es comparable a cuando lanzamos una roca a una laguna tranquila y el impacto genera un movimiento ondulatorio en el agua. Un dato interesante es que la energía liberada, por ejemplo, por un sismo de magnitud 5.5 en la escala de Richter, es similar a la de una bomba atómica, es decir 1020 ergs.

Una Tierra que se mueve... Un Planeta Vivo

Así es, nuestro planeta está vivo y en constante movimiento, pero solo en ciertos lugares ocurren sismos, lo cual es explicado por la Teoría de la Tectónica de Placas. Las *placas tectónicas* se mueven arrastradas por el material de la astenósfera (no rígido) con velocidades del orden de cm/año. (Ver Cicterránea N° 1: ¿Se mueven los continentes?). La mayor cantidad de temblores, y generalmente los de mayor magnitud, ocurren en zonas de fallamiento asociadas a los contactos entre diferentes placas tectónicas. Las fallas provocan desplazamientos de un bloque con respecto a otro.

También hay sismos asociados a la actividad hidrotermal o magmática en zonas volcánicas, los cuales se producen por ruptura de la roca debido a la movilidad y ascenso de diferentes fluidos. Otros sismos ocurren en corteza

oceánica, debajo de la capa de agua, y generan los tan temidos Tsunamis (o maremotos) que, debido al movimiento del suelo oceánico, desplazan masas de agua que pueden formar grandes olas y alcanzar las costas cercanas.

Sin embargo, la mayoría están asociados con fallas pre-existentes, que se formaron en el pasado, a lo largo de zonas de fragilidad de la corteza terrestre. Algunas de ellas son muy grandes y pueden generar terremotos, como la muy conocida falla de San Andrés en Estados Unidos, que tiene una longitud de aproximadamente 1300 km y ha generado terremotos de gran magnitud (8.0). Otras en cambio son pequeñas y producen sismos de poca magnitud, que en su mayoría pasan desapercibidos. En Argentina, las provincias de San Juan y Mendoza se encuentran ubicadas en la región de mayor sismicidad del país (Figura 2). San Juan fue afectada en enero de 1944 por un terremoto destructivo (magnitud 7.4) que causó más de 10.000 muertes y cuantiosas pérdidas económicas. El mismo estuvo asociado a una falla en la localidad de La Laja, 36 km al norte de la ciudad de San Juan. Aunque el terremoto de mayor magnitud en la historia argentina (8 en la escala de Richter) se produjo el 27 de octubre de 1894, con epicentro en el noroeste de San Juan.

Figura 1. Descripción gráfica del hipocentro, epicentro y frente de ondas de un sismo.

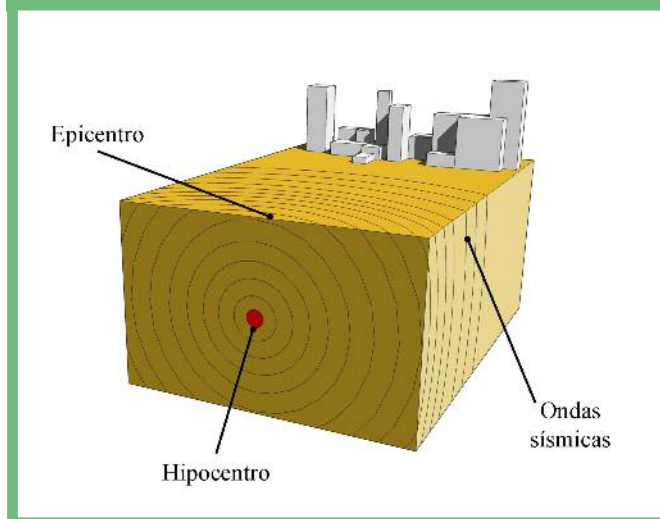
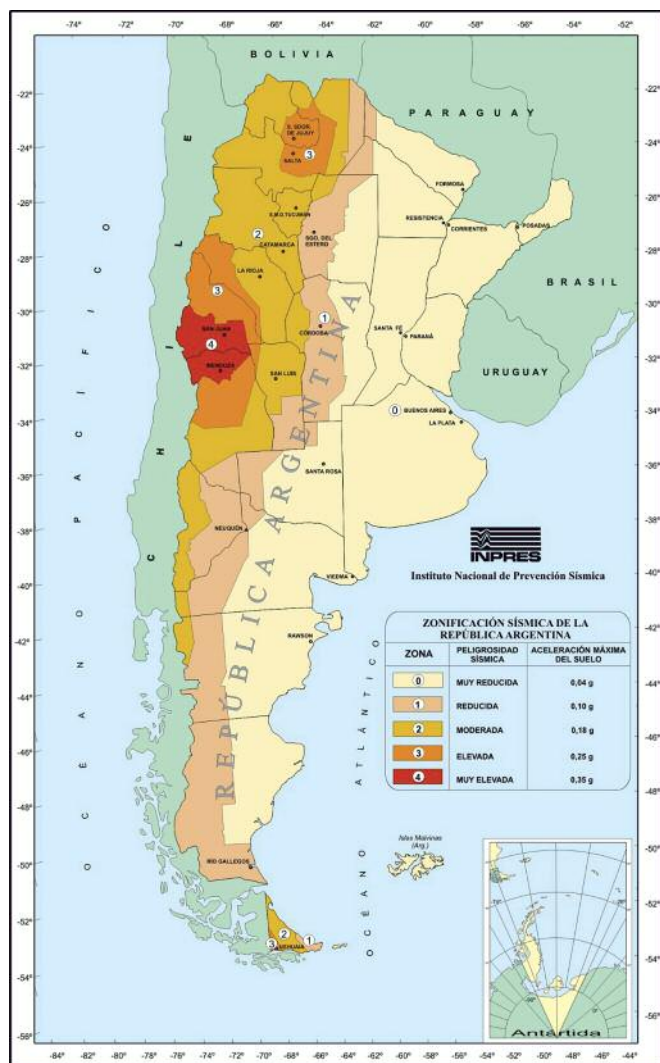


Figura 2. Mapa de riesgo sísmico en la Argentina. (Fuente: INPRES)



¿Cómo sabemos dónde ocurrió un sismo?

A los movimientos sísmicos podemos localizarlos calculando el epicentro y la profundidad. Para ello recurrimos a la Sismología, una rama de la Geofísica, que estudia las ondas mecánicas generadas en el interior y en la superficie de la Tierra. Para detectar y registrar las ondas se utilizan instrumentos llamados sismógrafos, los cuales generan sismogramas que son la imagen del desplazamiento producido (Figura 3).

La mayor cantidad de sismos, y generalmente los de mayor magnitud, ocurren en el área de contacto entre las diferentes placas tectónicas

Este instrumento, antiguamente consistía en un péndulo que por su masa permanecía inmóvil y, mientras todo a su alrededor se movía, un marcador registraba el movimiento en un papel especial. Pero en la actualidad, los sismógrafos consisten en una pequeña “masa” fijada por fuerzas eléctricas, que cuando el suelo se mueve tratan de mantenerla quieta y la cantidad de fuerza necesaria para conseguirlo es registrada como algo equivalente al desplazamiento.

Mediante el análisis y comprensión de los sismogramas, se obtienen variables y relaciones útiles para determinar

el hipocentro (epicentro y profundidad), la magnitud, la intensidad, etc.

El epicentro, la magnitud y la intensidad son las medidas que se informan a la población habitualmente para indicar “el tamaño” y ubicación de un temblor. La Intensidad es una medida basada en la percepción y en los daños observables causados por el sismo. Sin embargo, como

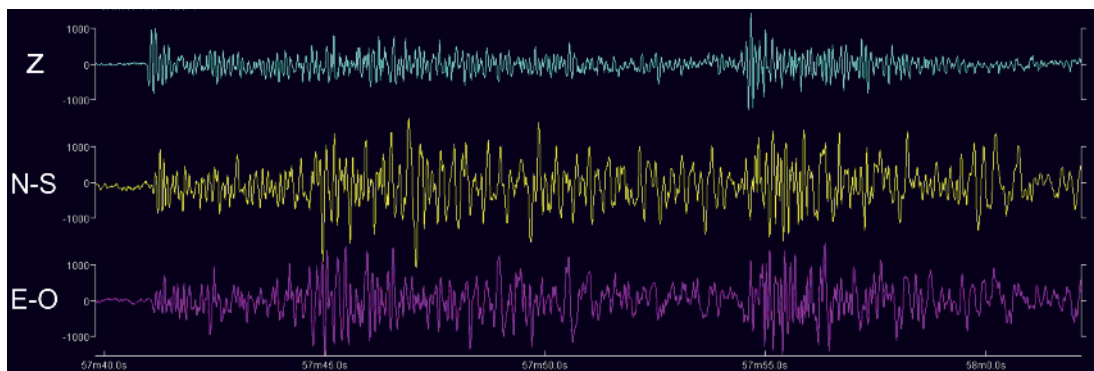


Figura 3. Ejemplo real de sismogramas de las tres componentes: **Z** o componente vertical, **N** o componente norte-sur y **E** o componente este-oeste (indicado a la izquierda de cada registro), que conforman el registro de un sismo o terremoto.

La provincia de Córdoba presenta sismicidad frecuente, de baja magnitud (generalmente menor a 5.5) y superficial. La región activa se encuentra en el área serrana

es una medida subjetiva, no permite comparar sismos entre sí, ya que un sismo pequeño pero muy cercano puede causar más daño en un sitio que un terremoto grande a mayor distancia. La escala utilizada para medir la Intensidad es la Mercalli Modificada (Figura 4), que va de I (sólo detectado con instrumentos) a XII (destrucción total).

Una medida real del tamaño de un sismo, que cuantifica la energía liberada, es la Magnitud. Existen diferentes escalas para calcular la magnitud, pero la primera escala desarrollada y la más conocida para calcular magnitudes locales es la de Richter, que inicia en 0 pero no tiene límite superior. Debido a que esta escala es logarítmica la energía aumenta aproximadamente 31.6 veces por cada unidad que aumenta la magnitud (es decir, se necesitan 31.6 sismos de una magnitud M para llegar a la misma energía liberada por un sismo de magnitud $M+1$). Teóricamente, utilizando los mismos instrumentos todas las estaciones sismológicas obtienen la misma magnitud para cada evento. Cuando un sismo supera la magnitud 7 se le denomina terremoto.

En nuestro país la entidad nacional encargada de monitorear la actividad sísmica, y de realizar estudios e investigaciones básicas y aplicadas a la sismología e ingeniería sismorresistente, es el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES, <http://www.inpres.gov.ar>), ubicado en la provincia de San Juan.

¿Y Córdoba se mueve?

La provincia de Córdoba presenta sismicidad cortical frecuente, de baja magnitud (generalmente menor a 5.5) y superficial. Esto se debe a su localización entre los 28° y 33° de latitud sur y su vinculación con la *subducción* subhorizontal de la Placa de Nazca (Figura 2).

Sin embargo, eventualmente, se han producido temblo-

res con magnitudes mayores, como por ejemplo el sismo de Sampacho, que tuvo lugar en 1934 con una magnitud de 6.0 en la escala de Richter.

La región activa de nuestra provincia se encuentra en el área serrana: desde las Sierras Grandes y el límite con Catamarca, hasta las Sierras Chicas y las Sierras de Comechingones, asociada a algunas de las fallas principales (de

ESCALA DE INTENSIDAD DE MERCALLI

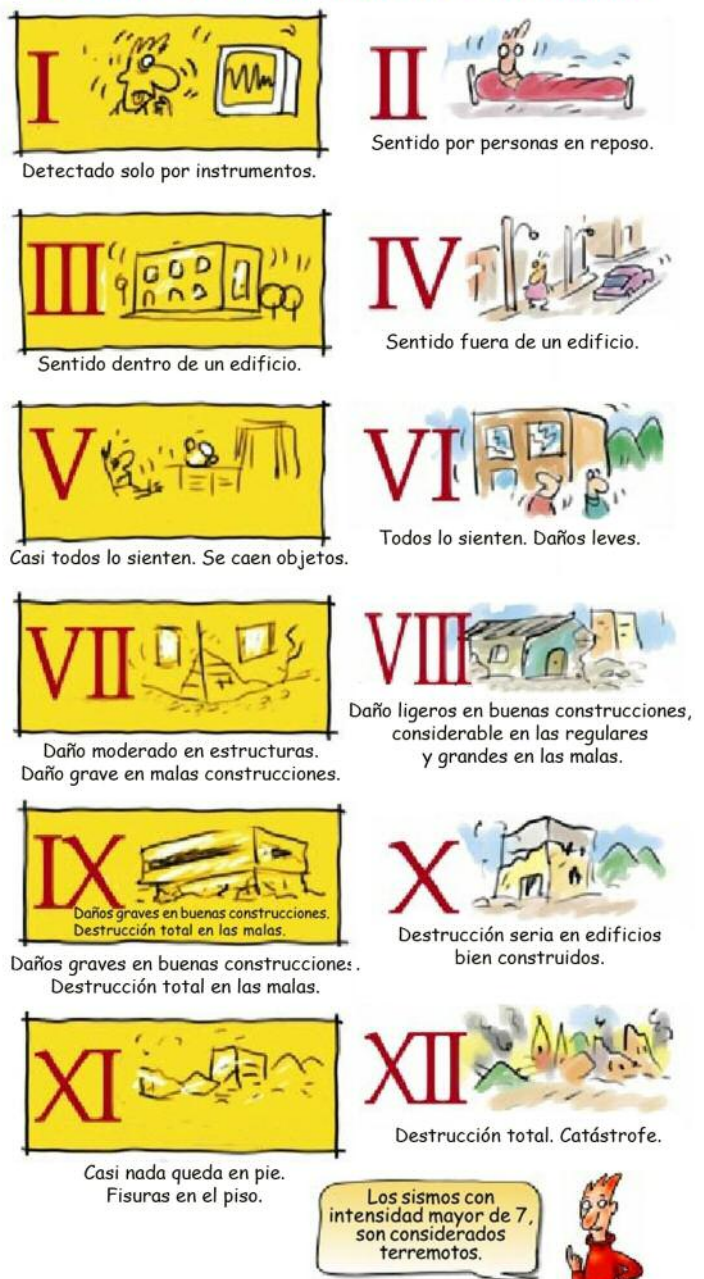


Figura 4. Ilustración que ejemplifica los valores de la Escala Mercalli Modificada (<http://es.slideshare.net/jucom2006/cartilla-terremotos-bgta>).

este a oeste) como: la Sierra Chica, Los Gigantes, Achala, Nono, Sierra Grande, La Higuerita y Pocho, entre otras.

¡Está temblando!... ¿Qué hacemos?

En la Tierra, todos los días hay sismos de diferentes magnitudes, aunque la mayoría son imperceptibles para el ser humano. Tampoco es posible predecirlos con exactitud, pero al menos, mediante estudios estadísticos, se sabe que los terremotos tienden a repetirse y que lo hacen con una cierta periodicidad. Sin embargo, esto no implica que tenga que ocurrir exactamente en un año determinado, ya que podría ser unos “pocos” años antes o después.

Entonces, si nos preguntamos: ¿Cuándo puede ocurrir el próximo sismo importante? La respuesta es muy sencilla: en cualquier momento.

Pero, en caso de que tiemble... ¡nunca se debe correr! Conviene mantener la calma y seguir algunas pautas propuestas por INPRES, descritas en el apartado a la derecha.

Las recomendaciones de INPRES ante un sismo son:

- Si se encuentra en un lugar que estructuralmente se considere seguro, permanecer ahí, sino dirigirse con premura a la zona segura más próxima, pero con calma.
- Mantener la calma, no gritar, no correr, ni empujar a los demás.
- Alejarse, recorriendo la menor distancia posible, de lugares donde existan objetos cuya caída o impacto puedan provocar heridas.
- Protegerse aprovechando cualquier mueble firme y cercano (mesa, silla, escritorio, banco, etc.) para colocarse debajo de él, sino cubrirse la cabeza con algún objeto duro (libro, bandeja metálica, etc.), en ambos casos adoptando siempre la posición de seguridad (arrodillarse y colocar la cabeza lo más cerca posible de las rodillas, luego entrelazar las manos cubriendo la cabeza).
- No salir a balcones bajo ninguna circunstancia.
- No utilizar escaleras ni ascensores.
- Si se encuentra en un local con aglomeración deben permanecer en el lugar y aplicar las medidas de protección indicadas anteriormente. No acuda inmediatamente a las salidas para no provocar tumultos.



Raquel Villegas

Licenciada en Geofísica
Becaria del CONICET
Estudiante del doctorado en Ciencias Geológicas,
FCEFYN
Universidad Nacional de Córdoba

Glosario

Hipocentro o foco:

punto inicial de ruptura en un sismo; la proyección directa de este punto en la superficie terrestre se denomina epicentro.

Ondas sísmicas: ondas elásticas producidas por sismos o generadas artificialmente por explosiones. Incluye ondas de cuerpo (Ondas P y S) y ondas superficiales (Ondas Rayleigh y Love).

Placas tectónicas: fragmentos que componen la Litósfera terrestre.

Subducción: proceso mediante el cual parte de la corteza oceánica, individualizada en una placa litosférica, se sumerge bajo otra placa de corteza continental.

Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Animación: ¿Cómo salta la Tierra con un terremoto? http://www.iris.edu/hq/inclass/animation/como_salta_la_tierra_con_un_terremoto.

Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES): <http://www.inpres.gov.ar>.

Animación: Magnitud vs. Intensidad: http://www.iris.edu/hq/inclass/animation/earthquake_intensity.

Animaciones sobre sismología: <https://www.iris.edu/hq/inclass/search?type=1>.

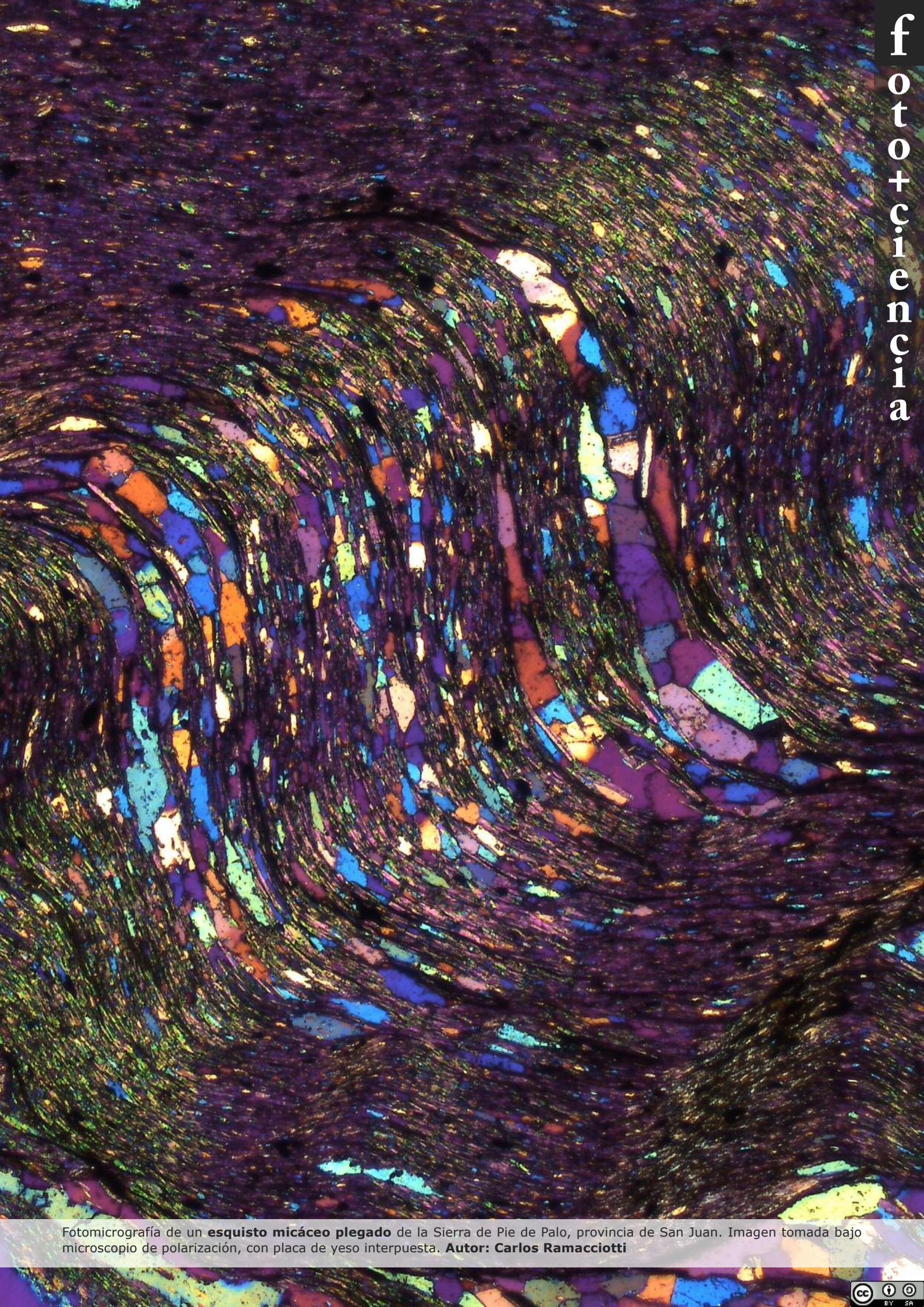
Mapa interactivo de los sismos en Córdoba (2011-2016): <https://es.earthquaketrack.com/ar-05-cordoba/recent>.

Movimiento de las ondas sísmicas: http://www.iris.edu/hq/inclass/animation/seismic_wave_motions4_waves_animated.

Sismología y estructura interna de la tierra: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/113/htm/sec_7.htm.

Software y herramientas web para la educación: <https://www.iris.edu/hq/inclass/search?type=7>.

Tarback, E.J., y Lutgens, F.K., 2005. Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física. 8ª ed. Pearson Prentice Hall.
(Se puede descargar de <https://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf> o <http://www.tysmagazine.com/libro-gratuito-ciencias-la-tierra-una-introduccion-la-geologia-fisica>).



Fotomicrografía de un **esquisto micáceo plegado** de la Sierra de Pie de Palo, provincia de San Juan. Imagen tomada bajo microscopio de polarización, con placa de yeso interpuesta. **Autor: Carlos Ramacciotti**

¿UNA APERTURA OCEÁNICA EN CÓRDOBA?



Natalia Oviedo

Geóloga
Facultad de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales
Universidad Nacional de
Córdoba

Ricardo A. Astini

Doctor en Ciencias Geológicas
Investigador Principal del CONICET
Docente de la Escuela de
Geología, FCEFyN
Universidad Nacional de Córdoba



Los estratos rojos que se exponen en varias localidades a lo largo de las Sierras Chicas de Córdoba y las rocas volcánicas asociadas indican que un proceso generalizado de estiramiento de la placa sudamericana pudo haber derivado en la apertura de un océano en Córdoba. Este surco en la corteza se desarrolló en paralelo con la apertura del Atlántico durante los tiempos en que vivieron los dinosaurios.



Lo que cuentan las areniscas del Cretácico

Los estratos rojos que se exponen en varias localidades a lo largo de las Sierras Chicas de Córdoba y las rocas volcánicas asociadas indican que un proceso generalizado de estiramiento de la placa sudamericana pudo haber derivado en la apertura de un océano en Córdoba. Este surco en la corteza se desarrolló en paralelo con la apertura del Atlántico durante los tiempos en que vivieron los dinosaurios.

¿Qué pasaba durante el Cretácico?

El período Cretácico fue un intervalo muy especial en la historia de la Tierra, ubicado dentro de la era Mesozoica, que se extiende en el pasado geológico entre los 145,5 y los 65,5 millones de años (Ma). Fue particular, no sólo porque los continentes se poblaron de dinosaurios gigantes y los mares de fitoplancton calcáreo, sino también porque ocurrieron procesos de separación continental que condujeron al aspecto moderno del planeta en que vivimos.

Uno de los episodios más importantes fue la apertura del océ-

ano Atlántico y la separación de Sudamérica y África, a partir de la ruptura de un gran continente llamado Gondwana (Fig. 1). De la fragmentación de esta gran masa nacieron Australia, India, Antártida, África y Sudamérica, y también los océanos Atlántico e Índico. Estos cambios dieron lugar además, al comienzo de la construcción de la mayor parte de las cordilleras del presente a través de procesos de deformación en los bordes de subducción (ver: ¿Se mueven los continentes? en CICTERRÁNEA N° 1)

La Tierra es un planeta vivo e internamente dinámico. Esto se expresa a partir de etapas con gran actividad donde, entre otros procesos, ocurren desplazamientos verticales y convección de masas rocosas fundidas en su interior que lo desequilibran. La formación de un océano, como por ejemplo el Atlántico, resulta de esta actividad que comienza con el ascenso del manto, que por diferencias térmicas se eleva a manera de pluma, aumentando la temperatura de la litósfera y logrando debilitarla.

Este proceso es acompañado en la superficie por volcanismo y fracturas que resultan del estiramiento y adelgazamiento de

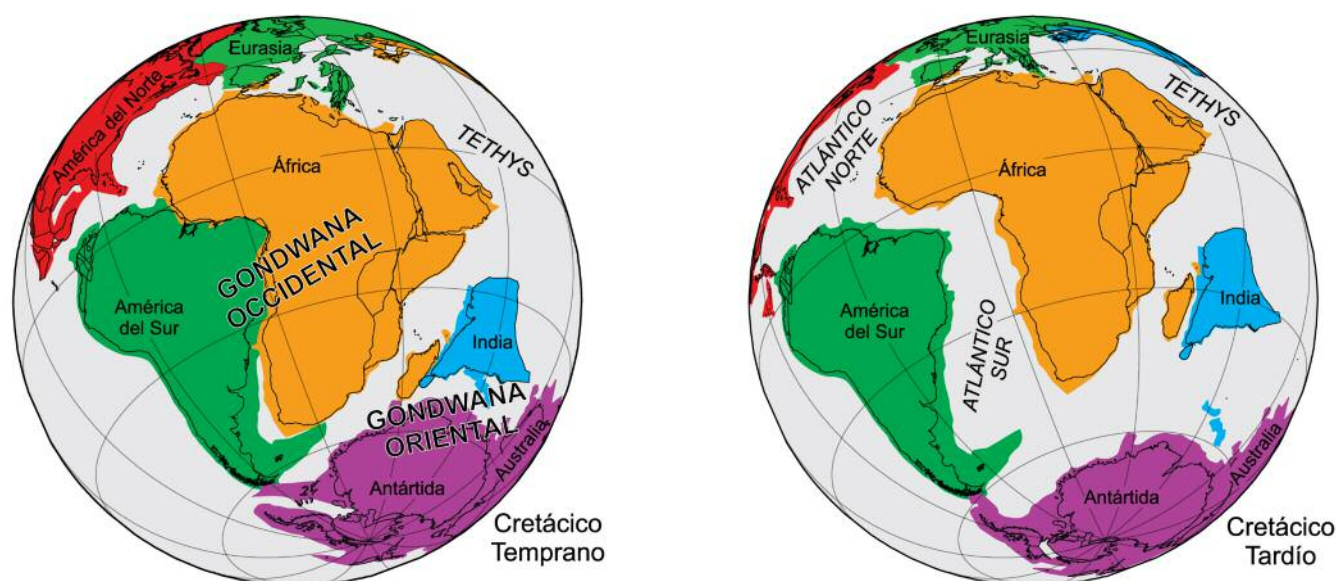
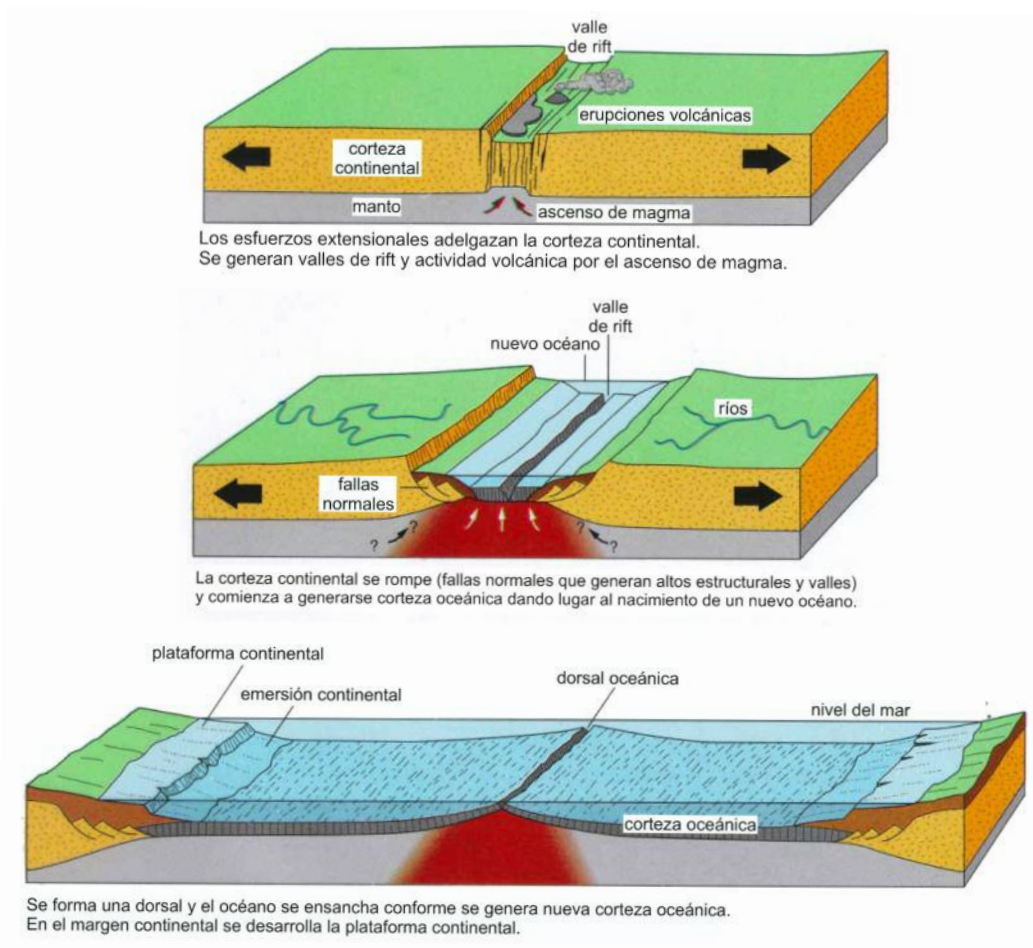


Figura 1

Reconstrucciones paleogeográficas de las masas continentales durante el Cretácico temprano y tardío, mostrando la ruptura de Gondwana y la apertura del océano Atlántico (Modificado de <http://lasminasdesalderemolinos.blogspot.com.ar/>).



la corteza terrestre. Así, comienzan a formarse relieves, valles (bloques deprimidos) y montañas (bloques elevados), limitados por fallas geológicas.

Al debilitarse la placa sudamericana a través de esfuerzos extensionales, la misma termina por romperse, dando lugar a la formación de corteza oceánica. Este fenómeno es acompañado por intrusiones marinas que son una suerte de avances del mar que inundan el continente. Esta etapa se conoce como “etapa de Mar Rojo” ya que corresponde a la apertura oceánica incipiente que actualmente atraviesa el Mar Rojo, separando la placa africana de la península arábiga. A medida que en la dorsal submarina se sigue generando nueva corteza oceánica, el fondo oceánico se expande y continúa separando las placas continentales (deriva continental), formándose así un océano como el actual océano Atlántico (Fig. 2).

No todos los valles que se generan como consecuencia del estiramiento de la corteza continental evolucionan a océanos, pero sí dan lugar a la formación de surcos o depresiones que

se conocen como cuencas sedimentarias de *rift*. Estas últimas, permiten la acumulación de sedimentos y productos volcáni-

Estudiar los afloramientos del Cretácico en las regiones serranas y de bordes de cuenca nos permite proyectar ese conocimiento al subsuelo, donde no podemos acceder de manera directa

cos, y el estudio de los estratos sedimentarios que allí se forman ayudan a conocer gran parte de la historia geológica de nuestro planeta. En la actualidad, este proceso está teniendo lugar en el este de África donde se forman grandes lagos encadenados con actividad volcánica de diversas características e intensidad.

El movimiento de las placas tectónicas, el consecuente reacomodo de las masas continentales y la distribución de los océ-

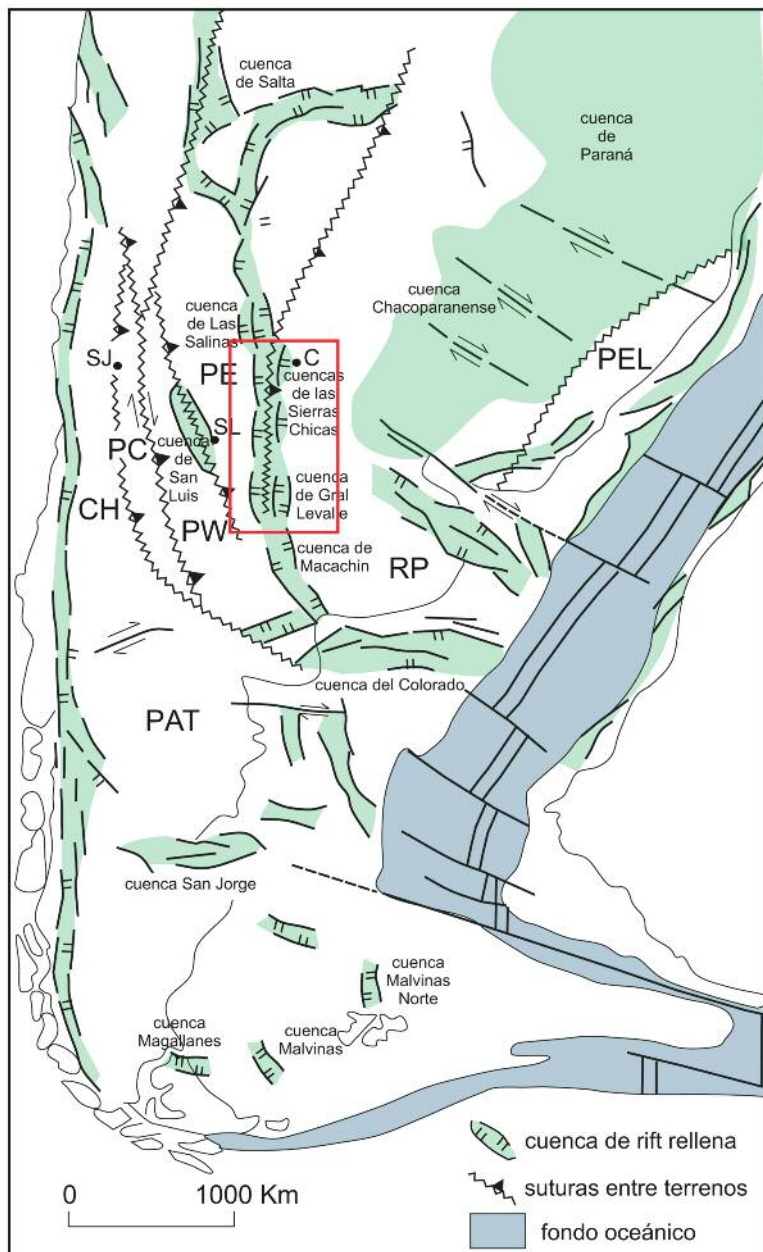


Figura 3

Mapa paleogeográfico mostrando la distribución de las principales cuencas sedimentarias en Argentina y su entorno, asociadas con procesos de extensión que afectaron la placa sudamericana durante el Cretácico. El recuadro rojo señala las cuencas desarrolladas en la provincia de Córdoba (cuencas de General Levalle-Sierras Chicas-Las Salinas) (Tomado de Astini y Oviedo, 2014; modificado de Schmidt *et al.*, 1995). Nótese que se desarrollaron cuencas tanto dentro del continente como en regiones de la plataforma continental argentina, entre las que se encuentran las de Malvinas norte y este. Las iniciales en mayúsculas grandes indican el nombre de terrenos geológicos que forman parte de la placa sudamericana (RP: Río de La Plata, PE: Pampeano Oriental, PW: Pampeano Occidental, PC: Precordillera, Ch: Chilenia, PAT: Patagonia, PEL: Pelotas). En mayúsculas chicas algunas capitales de la región centro (C: Córdoba, SL: San Luis, SJ: San Juan) que sirven como referencia geográfica.

anos durante el Cretácico, dio lugar además a condiciones climáticas y geográficas propicias para la formación de extensas plataformas carbonáticas -depósitos sedimentarios de origen marino formado por rocas calizas- asociadas con el desarrollo de mares epicontinentales -mares poco profundos que cubren corteza continental-. Uno de estos mares someros cruzó prácticamente toda la Patagonia de este a oeste por la región que hoy coincide con el alto valle del Río Negro. Como contraparte de la apertura del Atlántico en el Cretácico, comenzó en el borde oeste de la placa sudamericana un proceso de convergencia y subducción dando inicio a la formación de la cordillera de los Andes, fuente de una gran cantidad de recursos minerales y yacimientos.

No menos importante es lo que ocurrió a fines del Cretácico, cuando tuvo lugar una de las mayores extinciones en masa que se conocen en la historia del planeta, y donde más del 40% de las especies desaparecieron, entre ellas los dinosaurios. Una de las explicaciones más conocidas de este fenómeno es que habría sido provocado por el impacto de un gran asteroide contra la Tierra. Esta hipótesis fue planteada gracias al estudio estratigráfico que detectó una capa de arcillas con concentraciones de iridio anormalmente altas en el límite Cretácico/Terciario.

Esta fuerte colisión habría generado una espesa nube de polvo y gases que bloquearon la luz del sol durante un tiempo prolongado, provocando una disminución de la temperatura, impidiendo los procesos de fotosíntesis y generando lluvias ácidas. Esto dio lugar a alteraciones en la cadena alimentaria que condujeron a la desaparición de muchas especies, tanto terrestres como marinas, que no pudieron adaptarse a estas condiciones adversas. Si bien ésta es la hipótesis más popular, muchos científicos no descartan que dicha extinción haya sido gradual y que un

conjunto de factores (por ejemplo, impactos de meteoritos, lluvias ácidas, erupciones volcánicas) hayan actuado como forzantes de la extinción de especies hacia fines del Cretácico.

¿Y en Córdoba qué pasó?

Los procesos de estiramiento y ruptura que afectaron a Sudamérica durante el Cretácico generaron, aparte de la apertura del Atlántico, una serie de cuencas sedimentarias en la región central de República Argentina (cuencas de *rifts* cretácicas, Fig. 3), abarcando la provincia de Córdoba.

Los estratos de rocas sedimentarias o sedimentitas (rocas blandas y desgranables) de color rojo y las rocas volcánicas (volcanitas) de color morado afloran en la provincia, formando parte en la actualidad de relieves y cordones montañosos.

El Cretácico de la provincia de Córdoba sigue siendo poco conocido, particularmente en algunas regiones donde estas rocas aún permanecen ocultas en el subsuelo. Esto abre un sin fin de oportunidades de exploración, por ejemplo, en relación a la posibilidad de encontrar hidrocarburos -¡petróleo o gas!- bajo nuestros pies

Los principales asomos de rocas cretácicas en Córdoba están en el borde oriental de la Sierra Chica (La Granja, Unquillo, Villa Allende, Saldán, La Calera), en el Valle de Punilla (región de La Cumbre), en las Sierras de Pajarillo, Copacabana y Masa (próximas a Cruz del Eje) y en la sierra de Los Cóndores, (cerca de Embalse de Río Tercero) (Fig. 4). Algunos otros afloramientos se encuentran en las proximidades de Deán Funes en el extremo sur de la Sierra Norte (localidad de Sauce Punco). El estudio de los afloramientos del Cretácico en las regiones serranas nos permite proyectar ese conocimiento al subsuelo, donde no podemos acceder de manera directa.

En general, se trata de rocas sedimentarias de colores rojizos y granos gruesos (conglomerados y areniscas) que por erosión

tienden a formar aleros, paredones y monjes (formas puntiagudas) debido a la diferente resistencia de los estratos. También hay pelitas rojas (sedimentitas de grano fino) y evaporitas (sedimentitas que resultan de la precipitación de sales). Además, en algunas localidades (embalse del Río Tercero, Alma Fuerte, El Pungo y Camino del Cuadrado) acompañan a las sedimentitas rojas, rocas volcánicas basálticas y sus productos sedimentarios explosivos (rocas volcanoclasticas).

El espesor de productos volcánicos es también importante en la subcuenca de General Levalle que permanece bajo la llanura pampeana. Dichos depósitos volcánicos permitieron determinar la antigüedad de estas unidades entre los 125 y 99 Ma. Esto permite relacionarlas con el desarrollo de otras cuencas de rift en la placa Sudamericana y el margen continental atlántico. Todas estas cuencas apoyan sobre rocas cristalinas e iniciaron su historia de hundimiento en el Cretácico.

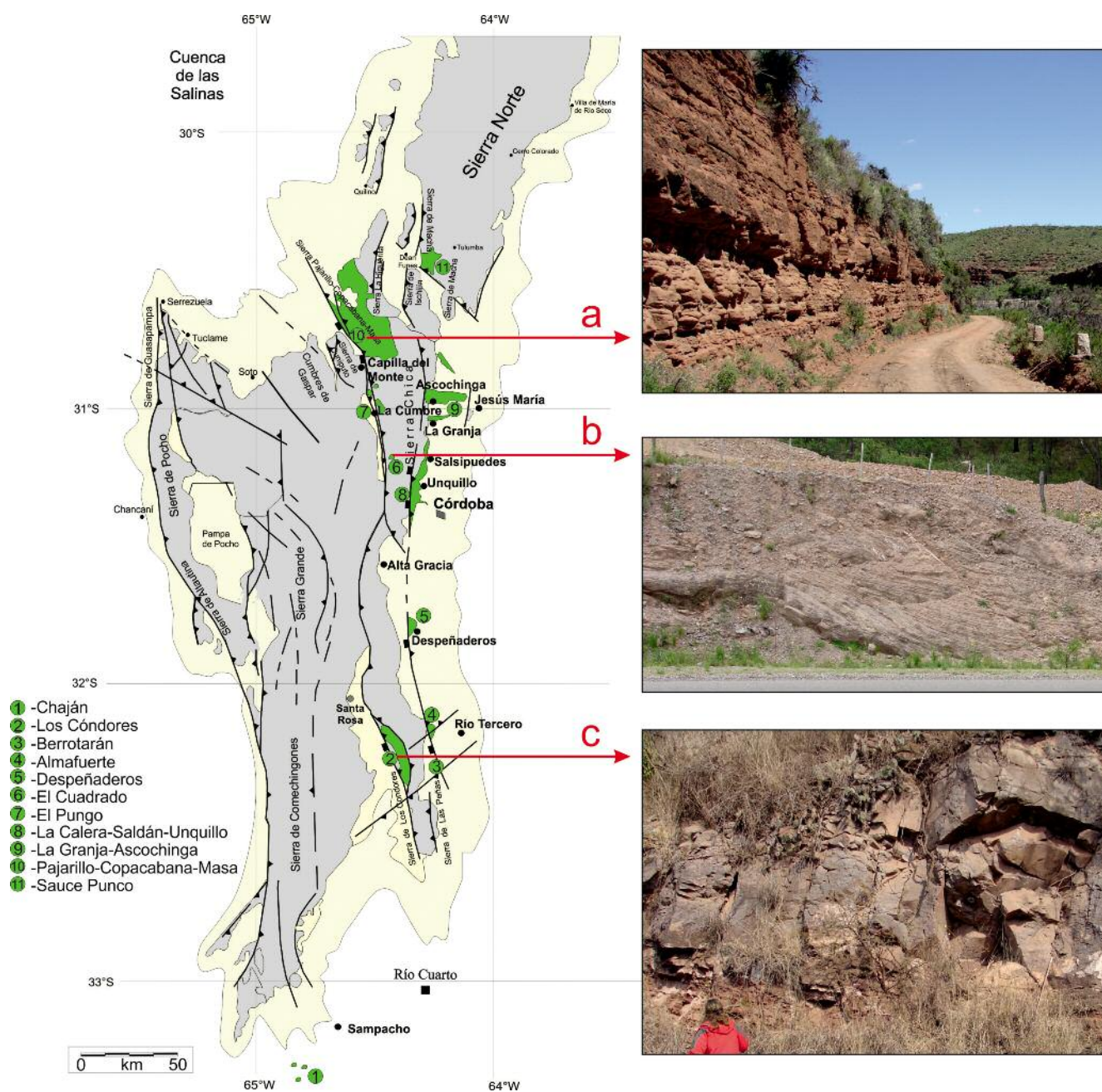
¿Por qué son rojas las sedimentitas del Cretácico?

Los estudios realizados en las últimas décadas en distintas partes de las Sierras de Córdoba indican que las rocas del Cretácico se habrían depositado bajo la influencia de climas predominantemente áridos. Por esta razón, los lagos que se formaron fueron muy someros (barreales en su mayoría) y permitieron la precipitación de evaporitas como la sal de mesa y el yeso. Estos ambientes predominantemente continentales se habrían desarrollado bajo condiciones oxidantes, reflejadas por el color rojo de las rocas sedimentarias. Este color es inducido por el estado oxidado del hierro (Fe^{+3}) que forma parte de los cementos de las areniscas y arcillas. Estas condiciones normalmente impiden la preservación de materia orgánica y restos fósiles que en presencia del oxígeno se degradan rápidamente.

El Cretácico de la provincia de Córdoba sigue siendo poco conocido, particularmente en algunas regiones donde estas rocas aún permanecen ocultas en el subsuelo. Esto abre un sin fin de oportunidades de exploración, por ejemplo, en relación a la posibilidad de encontrar hidrocarburos -¡petróleo o gas!- bajo nuestros pies.

Figura 4

Mapa de las Sierras de Córdoba mostrando los principales asomos de rocas cretácicas (Tomado de Astini y Oviedo, 2014). En a) vista de los estratos rojos en la bajada La Higuera-Las Palmas (Sierra de Copacabana) mostrando areniscas estratificadas con geometría tabular y grietas de desecación afectando a niveles limoarcillosos. En b) depósitos volcanoclásticos de caída y depósitos de retrabajo con estratificaciones cruzadas en la región cumbre de la Sierra Chica sobre la ruta E-57. En c) volcanitas basálticas y conglomerados con rodados de **basaltos** sobre los márgenes del embalse de Río Tercero en la Sierra de los Cóndores.



G

Glosario

Fitoplancton calcáreo: microorganismos de esqueleto calcáreo que al depositarse en el fondo de los mares generaron rocas denominadas cretas y que dan origen al nombre del período Cretácico.

Mapas paleogeográficos: Mapas que reflejan la distribución de masas continentales y océanos en el pasado geológico.

Planeta vivo: Planeta que registra actividad endógena -interna- y exógena -externa-.

Manto: Una capa profunda de fundidos densos, caientes y viscosos en el interior de la tierra que se ubica entre el núcleo y la corteza.

Litósfera: Capa externa, relativamente rígida, de la Tierra.

Fallas geológicas: Fracturas entre dos bloques que registran movimientos relativos a través de un plano subvertical como producto de esfuerzos en la corteza.

Esfuerzo extensional: esfuerzo que surge del estiramiento y puede resultar en la generación de fallas (cuando el comportamiento es frágil) y adelgazamiento (cuando el comportamiento es dúctil). Los dos mecanismos operan conjuntamente en la **litósfera**.

Cuencas sedimentarias: Son regiones de la corteza terrestre afectadas por hundimiento y que permiten la acumulación de sedimentos que luego se transforman en rocas sedimentarias estratificadas. A veces acumulan miles de metros de espesor y contienen importantes yacimientos de petróleo, gas, carbón, uranio, litio, etc.; como así también, fuentes de agua subterránea.

Estratos sedimentarios: división de geometría planar en la que se separan por partición las rocas sedimentarias.

Basalto: roca volcánica, de color morado oscuro, pesada (densa) y que aparece en la superficie asociada con rocas sedimentarias, rellenando cuencas de *rift*.

Recursos: son riquezas potenciales o explotables de carácter económico (yacimientos) o paisajístico. Entre los recursos paisajísticos se encuentran los parques nacionales y provinciales, como es el caso del Parque Los Terrones en el extremo sur de la Sierra de Pajarillo, donde se exponen rocas del Cretácico.

Yacimientos: constituyen depósitos minerales en concentraciones suficientes como para resultar de interés económico y son explotados en forma de minas subterráneas o a cielo abierto (canteras).

Estratigrafía: rama de las Ciencias Geológicas que describe y estudia las rocas estratificadas.

Iridio: elemento químico (número atómico 77) perteneciente a los elementos de transición de la tabla periódica, muy raro en la corteza terrestre.

Rocas sedimentarias o sedimentitas: Son rocas relativamente blandas y desgranables de colores muy diversos que representan la transformación de sedimentos en rocas (litificación) producto de procesos de cementación y compactación asociados con el enterramiento que ocurre en **cuencas sedimentarias**.

Unidades: término genérico que utilizan los geólogos para denominar a grupos de rocas que de acuerdo a su distribución areal (en mapas) y espesores se clasifican siguiendo un código internacional de **Estratigrafía**.

Pelitas: término general para sedimentitas de granulometría fina (limolitas y arcillitas).

Evaporitas: término que engloba a todas las rocas sedimentarias de origen químico y resultantes de la precipitación de sales (por ejemplo, la halita o sal de mesa).

Rocas cristalinas: término genérico que incluye a las rocas metamórficas (que han sufrido intensa deformación y calor) y las de origen ígneo (producto de la cristalización de fundidos).

RB

Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

Astini, R.A. y Oviedo, N. del V. (2014). Cubierta sedimentaria mesozoica. En: R. Martino y A. Guerreschi (Eds.), Relatorio de la Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIV Congreso Geológico Argentino, Córdoba. 435-471.

Schmidt, C.J., Astini, R.A., Costa, C.H., Gardini, C.E. y Kraemer, P.E. (1995). Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation and Neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. En: A.J. Tankard, R. Suárez Soruco y H.J. Welsink (Eds.), Petroleum basins of South America. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 341-357.

Webster, R.E., Chebli, G.A. y Fischer, J.F. (2004). General Levalle Basin, Argentina: a Frontier Lower Cretaceous Rift Basin. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 88: 627-652.

Jóvenes científicos

Mateo A. Martini es geólogo y Dr. en Ciencias Geológicas egresado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Actualmente es Profesor Asistente en la carrera de Ciencias Geológicas de la misma facultad.



Congelando el tiempo: el estudio de los glaciares en el pasado

Su proyecto consiste en estudiar la actividad de los glaciares en el pasado, es decir, los registros geológicos de avances y retrocesos de los glaciares durante los últimos 50.000 años. Debido a que su comportamiento está fuertemente vinculado a las condiciones climáticas, su estudio brinda información muy importante para conocer cómo fue el clima en el pasado lo que, a su vez, ayuda a construir modelos para predecir el clima futuro.



¿Qué son los glaciares y cuál es la importancia para nuestro planeta?

Los glaciares son cuerpos compuestos por agua en estado sólido (hielo). Para que se desarrollen glaciares debe haber temperaturas por debajo de 0°C, que permitan conservar el hielo, y precipitaciones suficientes para poder generarlos, por lo que están muy vinculados al clima. Existen glaciares desde los polos hasta el Ecuador y en cada lugar poseen condiciones climáticas muy diferentes. Su importancia radica en que en ellos se encuentra almacenada casi el 70% del agua dulce del planeta, lo que los convierte en una reserva hídrica de vital interés para las personas.

¿Por qué es importante entender el clima del pasado?

A través de la historia de la Tierra han quedado preservados numerosos "archivos" que registraron las condiciones climáticas en el pasado. Los glaciares son uno de ellos ya que durante sus avances y retrocesos producen modificaciones en el paisaje que podemos estudiar para comprender cómo fue su actividad. Por ejemplo, nos permi-

ten comprender qué transformaciones produjo un enfriamiento o un calentamiento y cuál fue su causa. Entender el comportamiento del clima en el pasado nos ayuda predecir escenarios futuros de cambio climático. Es a partir de las reconstrucciones del clima en el pasado donde se sustentan las bases para generar modelos predictivos hacia condiciones futuras.

¿Cómo surgió tu interés en estudiar Geología y particularmente los glaciares?

Me crié en La Carlota, un pueblo en el medio de la llanura pampeana donde no tuve mucho contacto con las montañas y la Geología. Siempre me gustaron las Ciencias Naturales y me empezó a interesar la Geología cuando de chico leí el libro de Julio Verne "Viaje al centro de la Tierra". Me vine a estudiar a Córdoba con muchas expectativas pero sin una firme decisión. Cuando comencé la carrera me gustó mucho e inmediatamente me interesé por la geomorfología y particularmente los glaciares por su interacción con el clima. Finalmente, durante mi primera experiencia laboral en mi Tesis Doctoral terminé trabajando con



depósitos glaciarios a más de 4000 m de altura!

¿Cuáles fueron tus hallazgos más relevantes hasta ahora?

Durante mi Tesis Doctoral pude identificar 6 expansiones glaciarias en el nevado de Chañi (5940 m), el cerro más alto de la provincia de Jujuy. Pero lo más importante es que pude asignarle una edad a cada uno de ellos. Para esto utilicé datación con isótopos cosmogénicos, una técnica que no se realiza en Latinoamérica por lo que hice una pasantía en la Universidad de Columbia en Estados Unidos. Del análisis de los resultados en un contexto regional y global, y su comparación con otros archivos paleoclimáticos pude ver que el comportamiento de los glaciares en el Nevado de Chañi estaría vinculado a cambios climáticos registrados en el Hemisferio Norte y

en especial a forzantes generados en el océano Atlántico Norte, algo llamativo teniendo en cuenta la ubicación del Nevado de Chañi en los Andes subtropicales de Sudamérica.

¿Cuál es tu rutina de trabajo?

Mi trabajo se divide entre investigación y docencia. Soy Profesor Asistente de Estratigrafía y Cartografía Geológica I, en la carrera de Geología de la UNC. Mi trabajo de investigación lo divido entre tareas en campo y en la oficina. Generalmente, realizo dos campañas de investigación al año donde junto con colegas y estudiantes vamos a la zona de trabajo a recolectar datos. Es la parte de mi trabajo que más me gusta ya que pasamos varios días haciendo campamento en medio de la montaña. Luego, llevo a cabo el análisis y procesamiento de esos datos en

mi oficina en el CICTERRA. Por último, junto con mis colegas realizamos la interpretación y discusión de los resultados obtenidos y los damos a conocer en congresos y revistas científicas.

¿Qué planes tenés para tu futuro laboral?

Pretendo continuar con mis tareas de investigación y docencia y, en un futuro cercano, me gustaría poder hacer una estadía postdoctoral en otro país. Mi objetivo es ingresar a la Carrera de Investigador Científico de CONICET. Lamentablemente en los últimos dos años ha habido un recorte de cerca de un 50 % a los ingresos de investigadores al CONICET, lo que va a generar que muchos de nosotros tengamos que emigrar hacia otros países porque no vamos a tener lugar para investigar en Argentina.

¿Consumimos agua limpia o limpiamos el agua sucia para tomarla?

Por Ricardo A. Astini

¿Sabías que para potabilizar el agua se utilizan químicos diversos que pueden ser perjudiciales para la salud?

Sí, el agua de consumo (subterránea o de manantiales) generalmente nace limpia (incolora, inolora, insípida, neutra y sin contenido bacteriológico), pero lamentablemente el hombre con sus diversas actividades y descuidos termina por contaminarla. Contaminarla implica cambiar progresivamente estas propiedades, que la hacen potable. Esto es lo que sucede con nuestros reservorios y lagos artificiales, donde se llevan a cabo una diversidad de actividades altamente contaminantes (por ejemplo: actividades náuticas) y progresivamente se acumulan más y más residuos cloacales y tóxicos producto de actividad industrial y del desarrollo urbano. Esto hace que, con el tiempo, un reservorio se contamine y sus aguas deban ser tratadas para el consumo. En ocasiones el tratamiento se vuelve tan caro y el producto final tan artificial que, si bien, lo que ingerimos tiene aspecto de agua, constituye un caldo artificial relativamente cristalino y neutro pero ya no inoloro, ni insípido. Quienes toman agua en la ciudad de Córdoba saben de qué estamos hablando.

¿Sabías que los costos de tratar el agua son muy elevados y constituyen la razón principal del valor del agua? Si la contamináramos menos sería, no sólo más fácil limpiarla, sino también mucho más barato su tratamiento y su recuperación.

Por estas razones debemos:

- a) Salvar los reservorios de agua potable
- b) Destinar sólo algunos reservorios para actividades náuticas
- c) Evitar los proyectos desarrollistas descontrolados en el entorno de las cuencas hídricas que alimentan nuestros reservorios de agua

¡Podemos empezar a cambiar tomando conciencia y dando el ejemplo!

Figura. Comunidad de cianobacterias flotando sobre el pelo de agua del lago San Roque. Se forman en todos nuestros lagos en etapas de florecimiento y eutrofización y se distribuyen en la superficie por remolinos o turbulencias propios de la dinámica superficial del espejo de agua.

Si querés saber más sobre el cuidado del agua te recomendamos leer nuestra nota en CICTERRÁNEA 1: Del cometa a tu vaso. El largo camino del agua.

EL CICTERRA VA A LAS ESCUELAS



Muchos integrantes del CICTERRA participan año a año, periódicamente o eventualmente, en actividades en el ámbito escolar, tanto en la Provincia de Córdoba, como en otras regiones del país, compartiendo sus investigaciones con la comunidad educativa.

Durante una campaña paleontológica realizada en el mes de mayo del año pasado en el área de San Miguel de Los Colorados, Provincia de Jujuy, Diego Muñoz (CICTERRA) nos cuenta que junto a su grupo de campaña integrado en esta oportunidad por Nexxys C. Herrera Sánchez y Blanca A. Toro, también del CICTERRA, Cristian C. Solano Rodríguez del IANIGLA, y el estudiante de geología J. Matías Navarro, se alojaron en la Escuela Primaria n°350 "Malón de La Paz". Y que decidieron organizar una charla, invitando además a los alumnos de la Escuela Secundaria n°51 de la misma localidad. Como parte de la actividad, les contaron a los chicos, maestros y público en general, qué son las rocas, cómo y cuándo se formaron, cuál es el contenido fosilífero que contienen y cómo preservar su Patrimonio Paleontológico. Además, se proyectó un video, se realizó una actividad al aire libre, en donde se expusieron posters científicos, para mostrar cómo se comunican los resultados en diversos Congresos, y se obsequió material de divulgación de la muestra "500 millones de años de viaje submarino", cerrando la actividad con una entrevista que realizó un Profesor de la Escuela Secundaria en la Radio 90.1 Los Colorados.

Otra de las actividades del año 2017 fue realizada en el marco del Programa Ciencia para Armar de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad

Nacional de Córdoba, por un grupo de integrantes del CICTERRA: M. Sol Bayer, Gabriela Boretto, Sandra Gordillo y Gisela Morán, junto a otros miembros del IDEA, quienes llevaron el taller "Sopa de caracol" a las escuelas Víctor Mercante, de la ciudad de Córdoba, República Italiana de Alta Gracia y Gral. José María Paz de Tancacha. El taller, orientado a niños y niñas de cuarto grado, aborda diferentes temáticas centradas en los moluscos y que incluye las especies nativas de Córdoba, los moluscos fósiles, los cambios climáticos, la pérdida de hábitats y contaminación, entre otros temas. Al final de cada taller se le obsequió a cada docente coordinador un CD con el Libro "Breviario Malacológico Cordobés" con contribuciones de diferentes autores del CICTERRA y de otros centros de investigación del país.

Además los integrantes del CICTERRA participaron del programa Científicos con Voz y Vos del Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de Córdoba como Federico Dávila que habló de terremotos y volcanes de Córdoba en una escuelita rural de Dumesnil, y además el taller "Sopa de Caracol" que fue llevado por este equipo de trabajo (del CICTERRA y del IDEA) al Museo de Ciencias Naturales, donde participaron varios



grupos de nivel primario de escuelas de la ciudad de Córdoba.

También Andrea Sterren, otra integrante del CICTERRA, dio una charla sobre "Huellas del Pasado" a los alumnos y alumnas de los grados iniciales de la Escuela Gobernador Manuel López de la ciudad de Córdoba.

ESPACIO DE ARTE DEL CICTERRA (EAC)

El EAC es un lugar de exposición de producciones visuales: fotografías, dibujos, pinturas, entre otras, cuya finalidad es la apertura de canales de diálogo entre la ciencia y el arte. El espacio promueve la interacción de los miembros del instituto y la comunidad a través de las prácticas artísticas.



Espacio de Arte del CICTERRA

Muestra 1: Dibujos

Título: “Tiempo de hobby”

Autores: Pablo Alfredo Heredia Barión y Jeremías R. A. Taborda

Descripción:

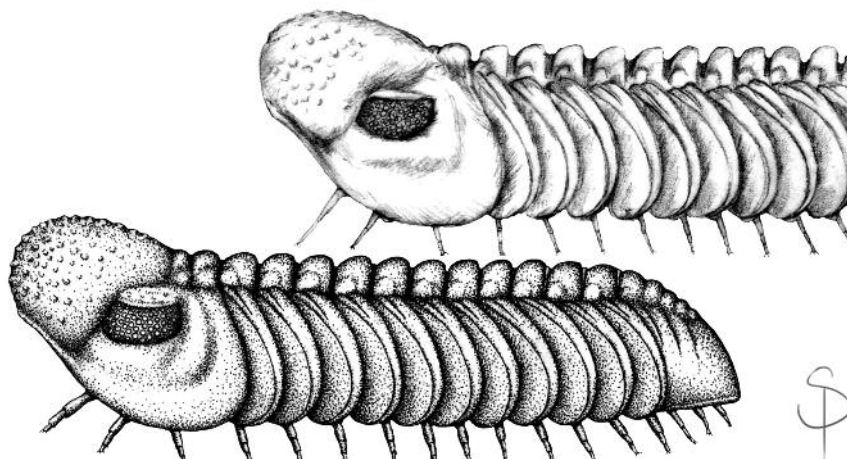
Dibujos realizados por integrantes del CICTERRA en su tiempo libre.

Diciembre 2016



DIBUJOS CICTERRÁNEOS Ilustraciones Paleontológicas

H. Santiago Druetta



Muestra 2: Ilustración 2D tradicional y digital

Título: “Dibujos CICTERRÁNEOS - Ilustraciones Paleontológicas”

Autor: H. Santiago Druetta

Descripción: Ilustraciones científicas realizadas para publicaciones de miembros del CICTERRA desde 2008 hasta 2017.

Septiembre 2017

HUMOR

Por Santiago Druetta

La Revolución Marina
del Paleozoico Medio

