

# LOS MOVIMIENTOS EN EL PLANETA TIERRA

DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



# ESCRITURA EN CIENCIAS

DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED  
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



Instituto Nacional  
de Formación Docente  
**Ministerio de Educación**  
Presidencia de la Nación

**Presidenta de la Nación**  
Cristina Fernández De Kirchner

**Ministro de Educación**  
Alberto Sileoni

**Secretaria de Educación**  
Jaime Perczyk

**Secretario del Consejo Federal de Educación**  
Daniel Belinche

**Secretario de Políticas Universitarias**  
Martín Gil

**Subsecretario de Planeamiento Educativo**  
Marisa del Carmen Díaz

**Subsecretaria de Equidad y Calidad**  
Gabriel Brener

**Instituto Nacional de Formación docente**  
Verónica Piovani

**Dirección Nacional de Formación Docente e Investigación**  
Andrea Molinari

**Coordinadora de Investigación Educativa del INFD**  
Inés Cappellacci

# PRESENTACIÓN

Los libros que se presentan en esta edición completan la colección de 18 títulos que integran Escritura en Ciencias, el dispositivo de formación que desarrollamos desde 2010 en el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación. Con esta entrega culminamos un proceso de tres largos años de experiencia en llevar adelante acciones que tienen como protagonistas principales a profesores de institutos de profesorado de ciencias del país. En esta oportunidad los autores provienen de la Ciudad autónoma de Buenos Aires y de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Córdoba, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe y Tierra del Fuego.

En esta ocasión se agregan los siguientes seis títulos:

13. Biotecnología: entre células, genes e ingenio humano
14. Convergencia: electrónica, informática y telecomunicaciones
15. Nanotecnología Hoy: el desafío de conocer y enseñar
16. Alimentos: historia, presente y futuro
17. Radiaciones: Una mirada multidimensional
18. Los movimientos en el planeta tierra

Los libros publicados anteriormente<sup>1</sup> han servido de referencia en el trabajo de ajuste y de reescritura constante del dispositivo para mantener la pertinencia de su propósito, haciendo extensiva a nuevos lectores la invitación de acompañar este proceso. Así, el tercer ciclo del proyecto, que transcurrió entre 2013 y 2014, mediante el que se escribieron los volúmenes 13 al 18, estuvo enriquecido por diferentes instancias de difusión: en algunos casos, como consecuencia de que el proceso se hizo visible en las distintas provincias a través de los profesores autores que empezaron a utilizar el material publicado en sus clases y que difundieron, en el boca en boca, el trabajo con sus propios colegas.

---

1. Los plaguicidas, aquí y ahora; 2. H2O en estado vulnerable; 3. Del gen a la proteína; 4. La multiplicidad de la vida; 5. Cerebro y memoria; 6. La evolución biológica, actualidad y debates; 7. Ecosistemas terrestres; 8. Ecosistemas acuáticos; 9. El big bang y la física del cosmos; 10. Cambio climático; 11. Energía: características y contextos; 12. Epidemias y salud pública.

Otra instancia de promoción fue el resultado de la adhesión y acompañamiento que encontramos en las asociaciones de profesores tanto de biología (ADBIA), física (APFA) y química (ADEQRA), en cuyos foros específicos en diferentes provincias pudimos compartir y comunicar este proyecto con profesores de todo el país. Nuestra preocupación fue hacer dialogar la experiencia en contextos y ámbitos especializados diversos, como una manera de tomar contacto con inquietudes e intereses genuinos que provienen de los diferentes ámbitos vinculados a la enseñanza de las ciencias en el país. En este sentido, siempre una primera carta de presentación fue posible gracias al acompañamiento constante que hemos tenido de la Revista Ciencia Hoy y de la oficina de UNESCO en Montevideo, Uruguay.

En las presentaciones de los volúmenes anteriores hemos descrito la organización y dinámica del dispositivo así como las lógicas de funcionamiento y algunas estrategias fundantes del trabajo propuesto en Escritura. Pero no quisiéramos dejar de referirnos a otros componentes fundamentales que acompañaron el transcurso de este trayecto, sin cuya presencia no tendríamos los resultados que se pueden mostrar hoy con la colección completa: los aportes de los investigadores de referencia de cada uno de los temas, visibilizados no sólo en las conferencias magistrales de inicio, que resultan un valioso recurso didáctico del proyecto, sino en el acompañamiento temático a lo largo del desarrollo de los libros. Esta tarea se pone en diálogo todo el tiempo con el trabajo de los coordinadores de escritura que sostienen a los profesores en el proceso de escribir los libros.

En este dispositivo la escritura está concebida como una mediación relevante para los procesos de conocimiento, lo cual se traduce en un trabajo intelectual que requiere de planificaciones, ensayos, intentos, revisiones, rectificaciones, lecturas activas para buscar y construir conocimiento, y es por ello, que se propone esta práctica como un aprendizaje en cada nuevo contexto que la demanda. Pero la complejidad de la tarea de escribir supone además la puesta en escena de prácticas propias de una comunidad discursiva específica. En este punto se requieren siempre orientaciones expertas como parte fundamental de condiciones necesarias para sostener un proceso completo que permita llegar a las producciones finales.

En el dispositivo de Escritura en Ciencias el trabajo colaborativo fue un tejido de difícil trama entre diferentes instancias: Equipo INFD y coordinadores, para el diseño y la puesta en práctica de secuencias de escritura que se jugaron en procesos organizados en torno de la devolución y el intercambio entre pares y entre

profesores e investigadores de referencia sobre el tema del libro<sup>2</sup>.

Este punto requiere una explicitación particular: aprender en colaboración con investigadores ha sido mucho más que un enunciado de buenas intenciones, más bien un objetivo centrado en prácticas horizontales donde se suspende por un rato la investidura jerárquica de los roles de los especialistas que acompañan y se insta a que todos asuman un proceso continuo de intercambio y discusión. Este trabajo consiste en reproducir prácticas y modos de enunciación de las comunidades científicas de referencia, en las cuales la construcción del conocimiento se realiza por argumentaciones que se van consolidando mediante el estudio y consultas de fuentes bibliográficas actualizadas, que permiten a los profesores fortalecer las propias posiciones y el vínculo con el conocimiento.

Lo que entraña de relevante esta acción de innovación radica en ayudar a vincular perfiles y trayectorias profesionales que no se vinculan con frecuencia. Los profesores participantes muchas veces conocen a los investigadores a través de la bibliografía, pero nunca han pensado en sentarse a discutir un tema con ellos. Estos intercambios producen una fuerte motivación de los grupos participantes que los lleva a comprender la relevancia de ese vínculo.

El efecto producido por esta acción se evidencia en la apropiación que los grupos hacen del proyecto, y valoran positivamente la oportunidad de formar parte de él. Se observan claros indicios de trabajo colaborativo entre pares en variados gestos de recomendaciones de bibliografía o materiales y en sugerencias sobre el escrito de los colegas emulando, a veces, prácticas que han vivido durante este proceso de parte de los investigadores.

Las prácticas mencionadas representan una puesta en diálogo de dos lógicas institucionales que no siempre conviven y tampoco producen en conjunto. Pero este es sólo un camino entre tantos otros, que muestra articulaciones posibles entre saberes de las universidades y grandes centros de investigación con el trabajo de los profesores del sistema formador argentino. Se evidencia aquí una manera en que se actualizan y se recrean aprendizajes, que no corren nunca en una sola dirección, como sostiene el Dr. Crisci, sino que en este proceso el aprendizaje se fecunda en ambos sentidos.

---

2 Los investigadores que asesoraron a los profesores durante todo el proceso de escritura de los libros son: Dr. Raúl Alzogaray, Dr. Rubén Blesa, Dr. Alberto Kornblith, Dr. Manuel Muñoz, Dr. Jorge Crisci, Dra. Noel Federman; Dr. Esteban Hasson; Dr. Rolando León; Dr. Juan López Gappa; Dr. Alejandro Gangui; Dra. Marcela González; Dr. Jorge Natera; Dr. Mario Lozano; Lic. Alberto Díaz; Ing. Carlos Palotti; Dr. Galo Soler Illia; Dra. Laura Malec; Dr. Jorge Torga; Dr. Silvio Peralta.

El otro soporte ineludible en el proceso de escritura de los libros, lo constituyen los coordinadores de escritura. Los textos de Escritura en Ciencias llevan un tiempo de gestación y reelaboración, surgidos de un boceto inicial que sigue un itinerario de constante transformación de ideas preliminares hacia el camino del texto. Este avance no podría ocurrir sin la intervención de los coordinadores como figuras que reenvían todo el tiempo a la tarea de escribir y moderan los intercambios que van dando forma de texto a los incipientes borradores. Este trabajo contempla los posibles obstáculos y dificultades que emergen: un trabajo situado y pertinente que está hecho de oficio en la lectura de borradores, en devoluciones ajustadas al proceso, pero no pocas veces implicado en gestionar las zozobras y conflictos en que ingresan los participantes para poner en molde de escritura ideas, lecturas y argumentos.

Los seis últimos libros que completan esta colección tienen la estructura experimentada en la edición anterior, cada capítulo de autoría individual, al que se suma como cierre un capítulo dedicado a la enseñanza de las ciencias. Este apartado tiene autoría compartida y sus orientaciones son diversas: contiene propuestas, reflexiones o ideas para pensar la enseñanza de cada uno de los temas. También en su conjunto refleja un ensayo que amerita seguir intentando, toda vez que se vuelve un terreno donde se hacen visibles posibilidades, tensiones, vacancias en las oportunidades que los docentes suelen tener para reflexionar sobre sus prácticas.

Por el momento en que escribimos esta presentación, el proyecto Escritura en Ciencias ha sido distinguido con el premio “Paulo Freire” a la innovación educativa en enseñanza de las ciencias (PASEM). Por este estímulo, nuestro agradecimiento se anuda al deseo de que la autoría pueda ser visibilizada como parte constitutiva de la tarea docente y permita enriquecer propuestas formativas que procuran ligar el desarrollo a los aprendizajes profesionales, modulando con otras notas las representaciones sociales en torno de este complejo trabajo. Y una vez más, nuestra intención es aportar los libros y esta colección no para ser leídos como obra cerrada y terminada, sino para inspirar reescrituras posibles en otras ideas y proyectos que impliquen fuertemente las ciencias con la lectura y la escritura en la formación docente.

Liliana Calderón

Coordinación Escritura en Ciencias (Área Investigación INFD)

ESCRITURA EN CIENCIAS

# LOS MOVIMIENTOS EN EL PLANETA TIERRA

Autores:

Cristian Ariel Barrionuevo  
Bibiana Alicia Ayuso  
Natalia Alejandra Navarro Becerra  
Ángel Alejandro Baldovino  
María Julia Solari

Orientación y asesoramiento científico: Silvio Peralta  
Coordinación de Escritura: Marcelo Alejandro Diez

#### Autores

Cristian Ariel Barrionuevo  
Bibiana Alicia Ayuso  
Natalia Alejandra Navarro Becerra  
Ángel Alejandro Baldovino  
María Julia Solari

#### Equipo Escritura en Ciencias del Instituto Nacional de Formación Docente

Liliana Calderón, Carmen E. Gómez y Antonio Gutiérrez

#### Orientación y asesoramiento científico

Silvio Peralta

#### Coordinación de escritura

Marcelo Alejandro Díez

#### Diseño editorial

Renata Kándico, Gastón Genovese [www.estudiolate.org](http://www.estudiolate.org)

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

“Los textos de este libro son copyleft. El autor y el editor autorizan la copia, distribución y citado de los mismos en cualquier medio y formato, siempre y cuando sea sin fines de lucro, el autor sea reconocido como tal, se cite la presente edición como fuente original, y se informe al autor. La reproducción de los textos con fines comerciales queda expresamente prohibida sin el permiso expreso del editor. Toda obra o edición que utilice estos textos, con o sin fines de lucro, deberá conceder es-tos derechos expresamente mediante la inclusión de la presente cláusula copyleft.”

Los movimientos en el planeta Tierra /  
Cristian Ariel Barrionuevo ... [et.al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires :

Ministerio de Educación de la Nación, 2014.  
140 p. : il. ; 15x21 cm. - (Escritura en ciencias; 18)

ISBN 978-950-00-1047-4

1. Educación en Ciencias. I. Barrionuevo, Cristian Ariel  
CDD 507.11

Fecha de catalogación: 22/09/2014

## ÍNDICE

Presentación .....	5
Introducción .....	13
<b>Capítulo 1: El Planeta Tierra como Sistema .....</b>	<b>17</b>
Cristian Ariel Barrionuevo	
La Geología como Ciencia .....	17
El equilibrio de los sistemas .....	19
El planeta Tierra como sistema .....	22
La interacción de los subsistemas de la Tierra .....	27
Los ciclos de la naturaleza .....	30
<b>Capítulo 2: Composición y estructura de la Geosfera .....</b>	<b>37</b>
Bibiana Alicia Ayuso	
Geosfera, la esfera más importante .....	37
Estructura geoquímica .....	39
Estructura geodinámica .....	42
Los principales límites de la Tierra .....	44
El interior de la Tierra, una fábrica de calor .....	45
¿Cómo podemos conocer la composición y estructura de la Tierra? .....	48
Técnicas para monitorear los movimientos y evolución terrestres .....	49
Estudios paleoclimáticos y paleomagnetismo .....	52
<b>Capítulo 3: Consecuencias de la geodinámica global .....</b>	<b>57</b>
Natalia Navarro Becerra	
La Canica Azul. Nuestro planeta de agua .....	57
Un recorrido por la morada de Neptuno .....	59
El cambio se gesta en las profundidades del mar .....	62
La corteza se recicla silenciosa y lentamente .....	65
En nuestras pampas... un récord de antigüedad .....	68
Qhantir qullu qullu (en voz aymará Montaña que ilumina) .....	70
Un desierto volcánico digno de admirar .....	74
La morada de nieve: el Himalaya .....	74
Señales de humo: un mensaje desde las profundidades .....	76
Kamchatka al este de Java .....	79

<b>Capítulo 4: Geodinámica Global</b> .....	85
Ángel Alejandro Baldovino	
Del magma a las Rocas .....	85
Agentes modeladores del relieve terrestre .....	88
Procesos y formas litorales .....	93
Tipos de costas .....	94
¿En qué consiste la geodinámica externa? .....	97
<b>Capítulo 5: Movimientos... a lo largo de la historia de la Tierra</b> .....	103
María Julia Solari	
De cómo habrían sido los movimientos a lo largo de la evolución del planeta ..	103
El desmembramiento de Pangea y "otras pangeas"... .....	105
Supercontinentes .....	107
El supercontinente de Pangea .....	109
Después de Pangea... .....	111
¿Supercontinentes en el futuro? .....	113
¿Desmembramiento de Pangea? .....	114
Sobre los fósiles, radiactividad y formas de datación .....	117
<b>Capítulo 6: Enseñar Ciencias de la Tierra: un desafío constante</b> .....	123
Barrionuevo Cristian - Ayuso Bibiana - Solari María Julia - Navarro Becerra Natalia - Baldovino Ángel	
Del conocimiento científico al conocimiento escolar .....	124
La salida de campo: Una estrategia para la enseñanza de la geología .....	127
Antes de la salida .....	128
Durante la salida .....	129
Después de la salida .....	130
Enseñar a partir de problemáticas .....	130
Bibliografía .....	134

# INTRODUCCIÓN

*“Qué cosa más sorprendente es un libro. Es un objeto plano, hecho de un árbol, con partes flexibles en las que están impresos montones de curiosos garabatos. Pero, cuando se empieza a leer se entra en la mente de otra persona; tal vez de alguien que ha muerto hace miles de años. A través del tiempo, un autor habla clara y silenciosamente dirigiéndose a nosotros y entrando en nuestra mente. La escritura es, tal vez el más grande de los inventos humanos. Une a personas que no se conocen entre sí. Personajes de libros de épocas lejanas rompen las cadenas del tiempo. Un libro es la prueba de que los hombres son capaces de hacer que la magia funcione”.*

*Carl Sagan*

La escritura es una actividad intelectual compleja, requiere poner en letras las ideas, los pensamientos, los conceptos. Es además, entablar un diálogo íntimo con quien leerá nuestra producción y se apropiará de aquello que quisimos contar, relatar o expresar. No es una tarea fácil, teniendo en cuenta las diversas relaciones que como docentes, podemos haber tenido con la escritura. Es un proceso que involucra acciones como la lectura, el análisis, la reflexión, el hacer propio aquello que leímos para volver a plasmarlo en letras con coherencia, cohesión y claridad conceptual, acciones que propiciarán ese diálogo tan deseado con los futuros lectores.

En esta actividad compleja nos vimos implicados (y también complicados...) cinco docentes, desconocidos entre nosotros, de diferentes disciplinas, con distinta formación, con diferentes historias pero con un solo objetivo en común: escribir un texto sobre el Planeta Tierra. El comienzo del recorrido no fue fácil, debíamos acordar, debatir, discutir, negociar sobre ¿Qué? ¿Cómo? ¿Para quienes? Escribir sobre nuestro planeta resultaba interesante, era un desafío también, ya que había que definir temas, evitar superposiciones y lograr una continuidad a lo largo del libro, aun cuando cada capítulo fuera independiente.

Una vez lograda esta primera etapa, comenzaba otra más compleja...la escritura, tarea para nada sencilla, en donde tuvimos idas y vueltas, muchas veces navegamos en un mar de incertidumbre, pero poco a poco fuimos logrando dar forma a la idea original.

En el recorrido por los diferentes capítulos del libro, se propuso destacar que nuestro planeta es un sistema dinámico, que ha ido evolucionando en el tiempo

desde su origen y que lo continuará haciendo en el período que le reste de existencia como un integrante más del Sistema Solar. La dinámica interna de la Tierra está dada justamente por las características de los materiales que la componen y como se dispusieron en su proceso de formación. Los movimientos de la corteza terrestre derivados de las corrientes de convección del manto, han determinado lentos cambios en el tiempo. La evolución geológica de la Tierra está en íntima relación con su dinámica interna, procesos que justamente determinaron las variaciones en la distribución continental a los largo de millones de años, esa misma dinámica permitió el surgimiento de cordones montañosos, el ensanchamiento de los océanos, las manifestaciones externas a través de la actividad volcánica, sismos o tsunamis.

Esa dinámica fue el origen para las rocas, que sometidas a diferentes presiones y temperaturas, sufrieron cambios y transformaciones o quedaron expuestas a la acción de los agentes externos, como el agua, la atmósfera, y los seres vivos que habitan la superficie terrestre. Estos procesos geológicos externos fueron los que modelaron el paisaje, formaron accidentes costeros o produjeron el desgaste de montañas. Y aún continúan haciéndolo.

El capítulo final hace referencia a ciertas líneas de acción al momento de trabajar estos temas con los alumnos. La propuesta de una salida de campo, permite desarrollar con los alumnos la observación *in situ*, la descripción y la comparación. Capacidades que posibilitarán posteriormente un análisis más reflexivo de las actividades propuestas por el docente en el aula, facilitando la comprensión, el poder establecer relaciones, inferir o deducir a partir de las mismas.

Se ha intentado que el estilo de escritura sea ameno, no demasiado técnico, con un lenguaje sencillo, claro y preciso, sin dejar de lado la solvencia conceptual.

Ha sido un trabajo arduo, pero con la satisfacción de haber llegado a la meta final: un libro que pueda ser el inicio para despertar la curiosidad por conocer más sobre nuestro planeta, esa esfera azul que nos alberga en la inmensidad del universo, donde habitan nuestros sueños, nuestros miedos, nuestros anhelos y nuestros amores.

## CAPÍTULO I

# *El Planeta Tierra como Sistema*

Cristian Ariel Barrionuevo



### La Geología como Ciencia

Los seres humanos tenemos la costumbre de observar el firmamento: el sol, la luna, las estrellas. Así lo hemos hecho desde los primeros tiempos de la historia, preguntándonos a menudo por el origen de esa multitud de astros que contemplamos en las noches estrelladas. Las respuestas que se le han dado a este evento misterioso y enigmático sobre la formación del Universo son numerosas, aunque hasta el siglo XVI no tuvieron un carácter científico, basado en la experimentación. A partir de ese momento, las teorías astronómicas serían cada vez más seguras y fiables, pero fue recién en el siglo XX cuando el Universo dejó de ser un misterio para convertirse en un objeto constante de análisis y de estudio gracias a los aportes de la geología.

La geología, del griego *geo*, (Tierra), y *logos*, (discurso, estudio), es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. Según Tarbuck y Lutgens (2004) la ciencia de la Geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica.

La Geología física estudia los materiales que componen la Tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre.

Por su parte, la Geología histórica intenta comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo. Por ello procura ordenar cronológicamente los

múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico.

Entender la Tierra como un todo es fundamental, ya que nuestro planeta es una gran estructura dinámica con muchas partes que interactúan entre sí y además posee una historia larga y compleja.

En el transcurso de su larga existencia, la Tierra ha ido cambiando. De hecho está cambiando mientras te encuentras leyendo este libro y lo seguirá haciendo luego de finalizarlo. En algunos casos, los cambios que se suceden son violentos y rápidos, como cuando se producen deslizamientos o erupciones volcánicas. En otros casos, los cambios se producen de manera tan lenta y gradual que no se alcanzan a apreciar durante muchos siglos. Esto hace difícil el trabajo de los geólogos que algunas veces deben concentrarse en fenómenos submicroscópicos y en otras ocasiones tratar de determinar características a escala continental o global.

Si bien la geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el terreno; también se realizan estudios en el laboratorio con muestras de materiales que permiten comprender muchos de los procesos básicos y particulares de cada país, ciudad, región, localidad o simplemente de algún punto determinado del planeta.

La naturaleza de nuestro planeta (sus materiales y procesos) fue objeto de estudio durante varios siglos. Los escritos sobre temas como los fósiles, las gemas, los terremotos y los volcanes se remontan a los griegos, hace más de 2.300 años. (Tarbuck y Lutgens, 2004)

El filósofo más influyente fue Aristóteles, sus explicaciones sobre la naturaleza del mundo no se basaron en observaciones y experimentos astutos, sino más bien fueron opiniones arbitrarias. Aristóteles creía que las rocas se habían creado bajo la influencia de las estrellas y que los terremotos se originaban cuando el aire ingresaba con mucha fuerza en la Tierra, se calentaba por los fuegos centrales y luego se escapaba de manera explosiva.

Sin lugar a dudas las explicaciones de Aristóteles fueron adecuadas para su época y se la siguió aceptando durante muchos siglos, limitando de este modo la elaboración de explicaciones más racionales.

A mediados del siglo XVI, James Husser, publicó un importante trabajo sobre la cronología de la historia humana y de la Tierra. En dicho trabajo determinó que la Tierra tenía solo unos pocos miles de años, ya que se habría originado en el 4004 a.C. Este estudio consiguió la aceptación generalizada de científicos y religiosos de Europa y por sus influencias inmediatas logró que su cronología sea impresa en los márgenes de la Biblia con el nombre de catastrofismo.

Durante los siglos XVII y XVIII la doctrina del catastrofismo influyó en el pensamiento sobre la dinámica de la Tierra. Los representantes de dicha doctrina creían que los paisajes de la Tierra se habían formado inicialmente por grandes catástrofes. Por ejemplo, las montañas y cañones, cuya formación requiere mucho tiempo, se explicaban como el resultado de desastres inesperados a escala planetaria producidos por causas desconocidas que ya no actuaban. Este pensamiento era un intento por comprender la velocidad de los procesos terrestres con las ideas dominantes en ese momento sobre la antigüedad de la Tierra.

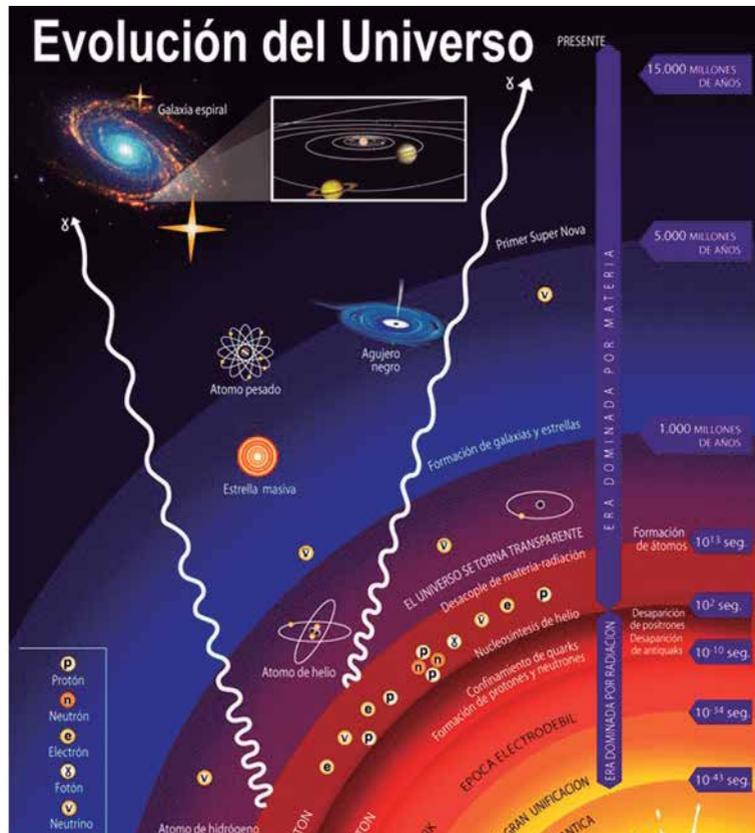
A finales del siglo XVIII se inició la geología moderna, cuando James Hutton publicó su *Theory of the Earth* (Teoría de la Tierra) estableció un principio que constituye el pilar de la geología actual llamada uniformismo. Este principio establece que las leyes físicas, químicas y biológicas que actúan hoy, lo han hecho también en el pasado geológico. (Tarbuck y Lutgens, 2004). Ello nos hace pensar que todos los procesos que ocurren en la actualidad también se produjeron a lo largo del tiempo en el pasado. Hutton sostenía que las fuerzas que parecen pequeñas producen a lo largo de lapsos prolongados de tiempo, efectos similares a los derivados de acontecimientos catastróficos súbitos.

Los procesos geológicos que se produjeron y se producen en nuestro planeta se pueden comprender mejor cuando se observan y analizan en el contexto de los acontecimientos muy anteriores a la historia de la Tierra.

## El equilibrio de los sistemas

Emprendamos un viaje al pasado e imaginemos lo ocurrido después de aquella primer y gran explosión denominada Big-Bang hace 15.000 millones de años; momento preciso donde se produce el origen del universo y posteriormente la formación de diversas estructuras, incluyendo nuestro planeta Tierra. Esa explosión lanzó hacia el exterior toda la materia existente en el universo a velocidades increíbles. Luego de esto y cuando la temperatura del espacio descendió, algunos restos consistentes en hidrógeno y helio comenzaron a enfriarse y condensarse dando origen a las primeras estrellas que luego se agruparían y acumularían formando las galaxias. En una de estas galaxias, la Vía Láctea, fue donde nuestro planeta Tierra y el sistema solar tomaron forma y posición. Remontándonos a tiempos geológicos, en la era azoica se origina nuestro planeta. Según Edward Tarbuck fue hace aproximadamente unos 4.600 millones de años.

Figura 1.1 Evolución del Universo.



Fuente: <http://pcdu.blogspot.com.ar/2010/11/evolucion-del-universo-formacion-del.html>

En un primer momento se trató de explicar este suceso desde la teoría del caos, que trabaja sobre ciertos tipos de sistemas dinámicos muy sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales; proponiendo que pequeñas variaciones en esas condiciones, pueden implicar grandes diferencias en el comportamiento futuro.

Los sistemas caóticos tienden a cambiar drásticamente en respuesta a pequeños cambios en las condiciones iniciales. Este es el llamado “efecto mariposa”, que sugiere metafóricamente que el simple aleteo de alas de una mariposa en la Patagonia puede perturbar la atmósfera y desencadenar una tormenta en Australia, o que un diminuto sonido en la caída de una rama en la selva misionera, provoque un tsunami o un terremoto en Japón.

Esta teoría nos remite a que la formación de todas las estructuras geológicas existentes en nuestro planeta, se produjeron por acumulación de cambios en las condiciones iniciales de un sistema originado con anterioridad.

En la actualidad se entiende por sistema al conjunto de unidades, elementos o partes relacionadas entre sí que interactúan funcionalmente con un fin u objetivo determinado, tendiendo a adquirir de este modo nuevos estados de equilibrios.

En este contexto, conviene aclarar algunas cuestiones sobre la correlación sistema-equilibrio:

Todo sistema sufre movimientos, cambios y modificaciones que pueden o no resultar de presiones o fuerzas externas provocando una crisis en la estructura, finalizando en una especie de caos.

El equilibrio es una situación en la que no hay trabajos netos: cada vez que aparece una desviación del estado de equilibrio (o lo que es lo mismo el desequilibrio) o una fluctuación, se crea un gradiente que genera una fuerza. Esa fuerza crea un trabajo que conduce nuevamente al equilibrio.

No existe un equilibrio, sino distintos tipos de equilibrio. Cuando se estudia el tipo de equilibrio de un sistema es fundamental atender la relación del sistema con el medio, ya que el tipo de equilibrio que alcanza un sistema y su modo de conservarlo dependen, en gran parte, de esta relación.

- *Un sistema es abierto* cuando intercambia materia y energía (en forma de calor) con su medio.
- *Un sistema es cerrado* cuando intercambia con su medio energía (en forma de calor), pero no materia.
- *Un sistema es aislado* cuando no existe intercambio alguno con el medio.

Ahora que tenemos en claro los conceptos de sistema y equilibrio, es importante analizar el carácter sistémico de nuestro planeta. Para ello debemos reconocer al Planeta Tierra como un conjunto de subsistemas, que se encuentran en continuo equilibrio y retroalimentación entre sus componentes.

La idea de sistemas no es nueva; si nos remontamos a los primeros filósofos griegos como Tales de Mileto y su discípulo Anaximandro, e incluso a civilizaciones anteriores, veremos que dejaron un legado sobre la formación de una gran estructura, que con el correr del tiempo se denominaría Teoría General de los Sistemas (TGS).

El biólogo y filósofo austríaco Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972) proporcionó un enfoque integrador y totalizador en la conformación de los subsistemas que conforman un sistema. Dicho enfoque apuntó a describir los factores y límites en todo sistema, incluso en el sistema Planeta Tierra. En este gran sistema se

producen circulaciones y recirculaciones de materia y energía que permiten la homeostasis de los subsistemas componentes. Por ello, se deduce que tanto las envolturas terrestres, sus componentes e incluso el pasaje y evolución en términos de los niveles de organización de la materia, sufren cambios que luego se vuelven a equilibrar por la acción de otro. Para clasificarlos conviene hablar de cambios o procesos por causas internas (endógenos) y cambios o procesos por causas externas (exógenos) que hacen factible los grandes movimientos estructurales y geológicos a diferentes escalas.

## El planeta Tierra como sistema

Analicemos algunos de los conceptos básicos acuñados por Ludwig Von Bertalanffy (1968), quien describe una serie de elementos o componentes para entender la dinámica de nuestro planeta como un sistema:

*Atributo:* hace referencia a las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan las partes o componentes de un sistema. Por ejemplo las formas triangulares de las montañas.

*Cibernética:* se trata de un campo interdisciplinario que intenta abarcar el ámbito de los procesos de control y de comunicación (retroalimentación) tanto en máquinas como en seres vivos. Es algo así como la construcción de máquinas por parte del hombre para sustentar su calidad de vida y confort como por ejemplo la construcción de casas, máquinas o refugios en las montañas.

*Circularidad:* concepto que nos refiere a los procesos de auto-causación. Cuando A causa B y B causa C, pero C causa A, luego A en lo esencial es auto-causado. Remitiéndonos al ejemplo anterior: A (individuo) – B (máquinas) y C (contaminación). Esto significa: el individuo produce máquinas, esas máquinas contaminan, la contaminación provoca daños al individuo y por consiguiente a su ambiente.

*Complejidad:* por un lado indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa), por otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). Este número de estados posibles que puede alcanzar el ambiente es prácticamente infinito. Por ejemplo las partes de un sistema urbano son mucho más complejas que las partes de un sistema rural, por su entramado de estructuras.

*Conglomerado:* Es igual a la suma de las partes, componentes y atributos en un conjunto que equivale o es igual al todo. Retomando el ejemplo anterior obtenemos conglomerado urbano – conglomerado rural.

*Elemento:* Se entiende por elemento de un sistema a las partes o componentes que lo constituyen. Estas pueden referirse a objetos o procesos. Una vez identificados los elementos pueden ser organizados en un modelo. Son ejemplos de ello cada uno de los elementos de la zona urbana y rural.

*Energía:* La energía que se incorpora a los sistemas se comporta según la ley de la conservación de la energía, lo que quiere decir que la cantidad de energía que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada menos la suma de la energía exportada.

*Entropía:* el segundo principio de la termodinámica establece el crecimiento de la entropía, es decir, la máxima probabilidad de los sistemas es su progresiva desorganización y, finalmente, su homogenización con el ambiente. Los sistemas cerrados están irremediamente condenados a la desorganización. No obstante hay sistemas que, al menos temporalmente, revierten esta tendencia al aumentar sus estados de organización.

*Equifinalidad:* hace referencia a que un sistema vivo a partir de distintas condiciones iniciales y por distintos caminos, llega al mismo estado final. Por ejemplo las formaciones de reservas de agua por lluvias intermitentes o por derretimiento de nieve de las montañas.

*Equilibrio:* el estado de equilibrio en los sistemas abiertos implica necesariamente la importación de recursos provenientes del ambiente y consisten en flujos energéticos, materiales o informáticos.

*Emergencia:* este concepto se refiere a la descomposición de un sistema en unidades menores y esta avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel de emergencia y conformando otro sistema totalmente diferente. Es ejemplo de ello la destrucción de partes a causa de un incendio o inundación.

*Estructura:* son las interrelaciones más o menos estables entre las partes o componentes de un sistema.

*Frontera:* es aquella línea que separa el sistema de su entorno y que define lo que le pertenece y lo que queda fuera de él. Por ejemplo las orillas de un lago.

*Función:* es el output (salida) de un sistema que está dirigido a la mantención del sistema mayor; como ejemplo predomina la energía emitida al ambiente.

*Homeostasis:* está referido a los organismos vivos en tanto sistemas adaptables. Estos procesos operan ante variaciones de las condiciones del ambiente para una finalidad: la de conservar su forma mediante el equilibrio.

*Información:* tiene un comportamiento distinto al de energía. La cantidad de información que permanece en un sistema es igual a la información que existe más la que entra.

*Input*: es la importación de los recursos (energía, materia, información) que se necesitan para dar inicio al ciclo de actividades del sistema.

*Output*: se denomina a la corriente de salida o exportación de recursos del sistema.

*Organización*: es la interdependencia de las distintas partes organizadas de un sistema determinado. Esto muestra un equilibrio por ejemplo en la flora y fauna del lugar.

*Morfogénesis*: se trata de procesos que apuntan al desarrollo, crecimiento o cambio en la forma, estructura y estado del sistema.

*Morfostasis*: son procesos característicos de los sistemas vivos. Hacen referencia a los procesos de intercambio con el ambiente, tendientes a preservar o mantener una forma, una organización o un estado de un sistema.

*Negentropía*: se refiere a la energía que el sistema importa del ambiente para mantener su organización y sobrevivir.

*Recursividad*: proceso que hace referencia a la introducción de los resultados de las operaciones de un sistema en el mismo (retroalimentación).

*Relación*: existen las internas y externas. Son de vital importancia las relaciones entre los elementos de un sistema y su ambiente.

*Retroalimentación*: son aquellos procesos mediante el cual un sistema abierto recoge información sobre sus efectos y sobre el cual regulan sus comportamientos.

*Retroinput*: se refiere a las salidas del sistema que van dirigidas al mismo sistema.

*Servicio*: son los outputs de un sistema que van a servir de inputs a otros sistemas o subsistemas equivalentes.

*Sinergia*: es el fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema.

*Sistemas abiertos*: son aquellos que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes y se trata de una característica propia de los seres vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir su viabilidad.

*Sistemas cerrados*: son aquellos en los que ningún elemento de externo ingresa y ninguno sale del sistema. Estos alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio.

*Subsistemas*: son los conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor.

*Teleología*: expresa un modo de explicación basado en causas finales. Aquí

debemos pensar en por ejemplo la teoría del caos.

*Variabilidad*: indica el máximo de relaciones hipotéticamente posibles producidas en un sistema.

*Variedad*: comprende el número de elementos discretos de un sistema, como ser variedad en la vegetación, en la fauna, las formas de montañas y otras.

*Viabilidad*: indica una medida de la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un sistema a un medio en cambio permanente.

Haciendo un análisis de todos los conceptos anteriores, podemos decir que son bien conocidos los hechos y acontecimientos de la naturaleza, que reflejan los desequilibrios traducidos en fenómenos naturales inestables e insistentes, en porciones terrestres bien delimitadas, donde parece ser que las condiciones normales de entrada (*input*) y salida (*output*) de sus componentes no son viables, y donde se provocan desequilibrios como terremotos, tsunamis, inundaciones, vulcanismo, deslizamientos de tierra, huracanes y otros, provocando rupturas o intermitencias en la sólida estructura del gran sistema planeta Tierra.

Los procesos naturales, ya sean estos de tipo geológico, geofísico, climático o biológico, apenas si comienzan a ser entendidos a la luz de teorías innovadoras, pero que en definitiva, constituyen los primeros intentos de comprender los orígenes y causas de la mayor parte de los denominados “fenómenos naturales”.

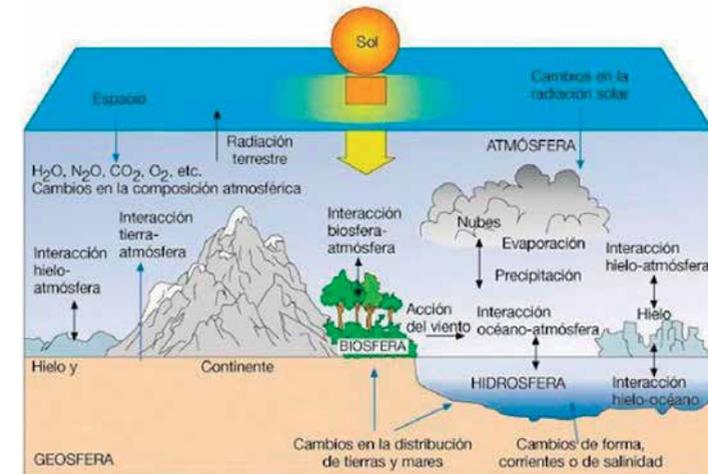
Los científicos han reconocido que para conocer mejor a nuestro planeta, debemos imaginar cómo están interconectados sus componentes (tierra, aire, agua y formas de vida). Esta tentativa de análisis e interpretación, corresponde a la denominada “Ciencia del Sistema Tierra”, que considera a la Tierra como un sistema compuesto por numerosas partes interactuantes, representadas por las cuatro capas que la cubren a modo de manto. Ellas, por su parte, se relacionan e interaccionan en forma armónica y ordenada.

Según Tarbuck y Ludgens (2004), los subsistemas de interés para el estudio de la Tierra como sistema son: Atmósfera, Hidrósfera, Criósfera, Geosfera y Biosfera.

- **Atmósfera**: Envoltura gaseosa más externa y menos densa que rodea la Tierra. Químicamente formada por anhídrido carbónico o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), vapor de agua, ozono ( $\text{O}_3$ ) y otros gases inertes, que funcionan como reactivos a las funciones vitales de los organismos vivos. Esta envoltura se divide en Tropósfera (capa inferior), Estratósfera (capa superior), Mesósfera (capa media), Ionósfera o termósfera (parte superior de la mesósfera cuyo límite superior se llama tropopausa) y Exósfera (se extiende por encima de la tropopausa).

- **Hidrosfera:** Extensiones de agua bajo y sobre la superficie de la Tierra. Se reparte en varios compartimentos según el mayor o menor volumen o caudal de agua:
  1. Océanos: cubren el dos tercio de la superficie terrestre y con una profundidad de 3.000 a 5.000 m.
  2. Mares: masas de agua salada de tamaño inferior a los océanos, incluyendo parte de estos y otros mares menores.
  3. La escorrentía superficial: formada por sistema dinámico de lagos y ríos.
  4. Agua subterránea: circula por medios porosos, tales como sedimentos arenosos o sedimentos no consolidados y se almacena en acuíferos.
- **Criósfera:** Parte de la superficie terrestre donde el agua se encuentra en estado sólido. Incluye el hielo de mares, lagos, ríos, glaciares y las capas de hielo y terrenos congelados (incluyendo el permafrost). La mayor parte de la criósfera se encuentra localizada en las regiones polares del planeta, principalmente en la Antártida, Groenlandia y en las islas del Océano Ártico.
- **Geosfera:** Es un término aplicado para referirse a la forma particular de la esfera terrestre, con ambos polos achatados, expansión del diámetro ecuatorial e inclinación del eje terrestre dando origen al movimiento de precesión y consecuentemente a los cambios estacionales. Se extiende desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente unos 6.700 km. Se caracteriza por tener una estructura rocosa que sirve de soporte tanto a la biósfera como a la atmósfera.
- **Biosfera:** También llamada -según algunos autores en la clasificación y descripción de los niveles de organización de los seres vivos- como el ecosistema mayor. Ocupa una estructura limitada para posibilitar la existencia de los seres vivos. Esta zona se extiende desde el suelo oceánico y continental hasta la atmósfera.

Figura 1.2 Modelo del clima según el Programa Global de investigación Atmosférica. Es un sistema en equilibrio dinámico.



Fuente: [http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a\\_ctma/u0\\_medio/u0\\_t1medio/las\\_relaciones\\_entre\\_los\\_sistemas\\_terrestres.html](http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/u0_medio/u0_t1medio/las_relaciones_entre_los_sistemas_terrestres.html)

## La interacción de los subsistemas de la Tierra

Los procesos característicos entre los subsistemas y su retroalimentación constante, se basan en modificaciones o cambios a nivel materia que es reciclada una y otra vez. Esto se desprende de la interacción entre todos y cada uno de los subsistemas.

El máximo grado de relación con respecto a los demás subsistemas, se encuentra en la biosfera, puesto que esta integra todos los seres vivos, al medio físico en que habitan, y el conjunto de relaciones que se establecen entre ellos. La tierra sólida o geósfera proporciona el sustrato y la fuente de nutrientes inorgánicos a los ecosistemas terrestres; la hidrosfera brinda retroalimentación a los ecosistemas acuáticos y la atmósfera interacciona con la biosfera en el intercambio gaseoso.

La biosfera a su vez puede modificar a los demás subsistemas como ha ocurrido por ejemplo con las drásticas modificaciones en la composición de la atmósfera. Otros ejemplos pueden ser: la regulación del clima terrestre (intervienen todos los subsistemas especialmente la atmósfera y la hidrosfera), el ciclo del agua (recorre la atmósfera, hidrosfera, la tierra sólida y la biosfera), los ciclos

bio-geoquímicos (los elementos van pasando de un subsistema a otro) y otros.

**La atmósfera en el sistema Tierra:** una de las principales acciones de la atmósfera consiste en modular la energía procedente del sol y regular la temperatura del planeta. La superficie del planeta se calentaría en exceso si no fuera porque cerca del 30% es devuelta, en parte, por la atmósfera.

La circulación general atmosférica contribuye en la distribución de la energía incidente desde las zonas ecuatoriales, hacia las zonas de latitudes más altas.

Los fenómenos climáticos, la formación de olas, las corrientes marinas y la distribución de las precipitaciones son consecuencia directa de la dinámica atmosférica.

Por otro lado, la atmósfera ejerce una acción directa sobre las rocas mediante la meteorización y los fenómenos meteorológicos (lluvia, viento, nieve y otros) son responsables del modelado terrestre.

Respecto a la biosfera, la influencia de la atmósfera es decisiva: las radiaciones nocivas se filtran, la temperatura terrestre es moderada y la presencia de agua líquida es posible.

**La hidrósfera en el Sistema Tierra:** para el conjunto del planeta, la hidrósfera tiene un papel esencial en la regulación térmica, en colaboración con la atmósfera, gracias al elevado calor específico<sup>7</sup> del agua (amortigua las variaciones bruscas de temperatura), a las corrientes marinas (redistribuyen el agua caliente hacia las zonas más frías) y a la reflexión de las radiaciones solares por las masas de hielo glacial. Por otro lado, el agua que circula por la superficie terrestre modela el relieve, disuelve o disgrega muchos minerales, arrastra materiales sueltos, los transporta y los sedimenta.

Por último, el agua es fundamental para la biosfera, puesto que forma parte de los seres vivos en una alta proporción, les aporta diversos hábitats (ríos, lagos, humedales, mares, etc.), y mantiene la temperatura global en los márgenes adecuados para el desarrollo biológico.

**La Geósfera en el Sistema Tierra:** la dinámica interna del planeta repercute en la superficie terrestre (orogénesis, fenómenos tectónicos,...) y tiene sus efectos sobre los otros subsistemas. Por ejemplo la liberación de gases en las erupciones volcánicas que modifican la composición atmosférica.

**La Criósfera en el Sistema Tierra:** es una parte integral del sistema climático global, con importantes vínculos y reacciones generadas a través de su influencia en los flujos de energía de la superficie y la humedad, la precipitación, la circulación atmosférica y oceánica.

Ahora veamos que ocurre con los seres vivos en estas interacciones:

- **Biosfera - Atmósfera:** En esta interacción los organismos autótrofos, mediante la respiración y el proceso fotosintético, y los organismos heterótrofos por medio de la respiración, intercambian constantemente gases con la atmósfera. De acuerdo a ambos procesos, los seres vivos nos nutrimos y obtenemos energía.
- **Biosfera - Geósfera:** esta interacción permite a los vegetales absorber agua y sales minerales del suelo, que junto al dióxido de carbono y a la energía solar producen la materia orgánica, que será consumida posteriormente por los animales. Los restos de animales y plantas terminan en descomposición y son devueltos al suelo en forma de materia orgánica.
- **Biósfera - Criósfera:** gran cantidad de diferentes organismos contenidos en la biosfera, cuentan con partes de la Criósfera para la obtención de agua y para su lugar de hábitat.
- **Biosfera - Hidrósfera:** permite a diversos organismos cumplir ciclos de vida alternados, nutriéndose de materia contenida en los ciclos hidrológicos.
- **Hidrósfera - Atmósfera:** la interacción se puede predecir claramente en el ciclo del agua o ciclo hidrológico, mediante la evaporación y las precipitaciones que con mayor frecuencia son propias de las zonas o regiones tropicales de nuestro planeta.
- **Hidrósfera - Geósfera:** la hidrósfera ejerce el rol de agente geológico externo sobre la Geósfera, modificando lentamente su relieve. Damos cuenta de ello, por ejemplo, en el modelaje que realizan los oleajes sobre los acantilados en las costas marinas.
- **Hidrósfera - Criósfera:** su relación es muy vinculante debido a que la saturación del agua en zonas frías provoca la formación de hielos o placas de agua helada para el sostenimiento de la vida animal propia de estas zonas.
- **Geósfera - Atmósfera:** en dicha interacción parte de la energía interna de la Geósfera es liberada al exterior como erupciones volcánicas, expulsando materiales a la corteza terrestre y vapor de agua y gases como dióxido de carbono a la atmósfera.
- **Geósfera - Criósfera:** su relación provoca movimientos de choques deslizamientos en la corteza terrestre, formando de esta manera otras estructuras o accidentes geográficos.
- **Atmósfera - Criósfera:** sus continuas relaciones hacen mantener en equilibrio el clima global. La Criósfera tiene la función de desconectar la atmósfera con los océanos, reduciendo así la transferencia de humedad y estabilizando por consiguiente las transferencias de energía en la atmósfera.

## Los ciclos de la naturaleza

La biósfera es un ente dinámico, sometido a cambios permanentes, tanto en sus componentes abióticos como en los de origen biológico. Mientras que las modificaciones provocadas por los procesos geológicos del planeta siguen un curso que a nuestra escala resulta extremadamente lento, los cambios que tienen lugar en los seres vivos se producen en forma más rápida.

Nuestro planeta consta de una gran variedad de elementos químicos que están presentes tanto en el sustrato sólido como en el medio líquido y en la atmósfera. Algunas veces aparecen en estado puro, como es el caso de algunos elementos de la atmósfera, pero por regla general están en forma de compuestos de mayor o menor complejidad.

Todas las relaciones entre los subsistemas de nuestro planeta se pueden explicar desde los llamados ciclos biogeoquímicos. Los más importantes en la circularidad de materia y energía son: el ciclo del agua, del oxígeno, del carbono, del azufre, del fósforo y del nitrógeno

**Ciclo del agua o hidrológico:** el agua se encuentra en la Tierra en tres estados: sólido (en forma de hielo o nieve), líquido y gaseoso (vapor de agua). Océanos, ríos, nubes y lluvia están en constante cambio y damos cuenta de ellos cuando el agua de la superficie se evapora, el agua de las nubes precipita y la lluvia se filtra por la tierra. Sin embargo, podemos predecir que la cantidad total de agua en el planeta no se modifica. El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua, proceso conocido como condensación. Luego las gotas se juntan formando las nubes que caerán a la superficie por acción de su propio peso, proceso llamado precipitación. Si en la atmósfera predominan temperaturas bajas, el agua cae a la superficie en forma de nieve o granizo; y por el contrario, si predominan temperaturas altas, el descenso se produce en forma de gotas de agua. Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos; otra parte se escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o un océano. Este último proceso es el llamado escorrentía. Otra porción de agua se filtrará a través del suelo formando capas de aguas subterráneas, proceso llamado percolación. Tarde o temprano, toda esa agua volverá a formar parte de la atmósfera por el proceso de evaporación. Al evaporarse, el agua deja atrás todos los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber como son los minerales, químicos y desechos. Por ello el ciclo del agua nos entrega un elemento vital puro. Pero hay otro proceso que también purifica el agua, y es parte del

mismo ciclo: la transpiración de los vegetales. En dicho proceso las raíces de las plantas absorben el agua, la que se desplaza hacia arriba de su estructura vegetal a través de los tallos o troncos, movilizándolo consigo a los elementos que necesita la planta para nutrirse. Al llegar a las hojas y flores, se evapora hacia el aire en forma de vapor de agua, fenómeno conocido como transpiración.

**Ciclo del Carbono:** el carbono es un componente esencial de los seres vivos. Se encuentra en minerales y rocas en forma de carbonatos, y en la atmósfera y el agua como anhídrido carbónico, y durante la fotosíntesis una gran parte se transforma en sustancias de reserva y en tejidos vegetales. Otra parte del carbono que llega a la planta, pasa nuevamente a la atmósfera durante los procesos de respiración vegetal y el resto, una cantidad mucho menor, llega al suelo a través de las raíces. Una vez que la planta ha muerto, el carbono se mineraliza y queda en el suelo. Pero si la planta es ingerida por un animal, la digestión la descompone en compuestos orgánicos más simples. Con estos últimos el animal fabrica su propia materia orgánica. Cuando el animal respira libera también anhídrido carbónico y cuando muere, su cuerpo se descompone y el carbono pasa a formar parte del suelo. La actividad de los organismos descomponedores del suelo y las erupciones volcánicas producen también anhídrido carbónico, que de modo paulatino llegan a la atmósfera.

**Ciclo del Oxígeno:** el Oxígeno constituye la quinta parte de la composición química de la atmósfera y es necesario para el metabolismo de los seres vivos, excepto para algunos microorganismos. Las plantas consumen una cierta cantidad de oxígeno que utilizan para su actividad metabólica. Sin embargo, la cantidad que generan durante el proceso fotosintético es superior a la consumida, así que el balance es positivo y el exceso de este elemento pasa a formar parte de la atmósfera. Los animales, en cambio, necesitan imperiosamente este elemento para obtener energía con la que poder llevar a cabo el metabolismo. El oxígeno atmosférico pasa así a través de los diferentes organismos y al final del ciclo, una parte vuelve a la atmósfera, donde puede utilizarse nuevamente. También se produce oxígeno en las actividades volcánicas, en las reacciones de oxidación que se producen en los procesos erosivos y en la disociación del vapor de agua de la atmósfera a causa de los rayos ultravioleta.

**Ciclo del Nitrógeno:** el Nitrógeno se encuentra libre en el aire y combinado en los minerales, nitratos, sales amoniacales y albuminoides de los tejidos vivos. Las plantas no pueden utilizar de manera directa el nitrógeno que hay en la atmósfera, por lo que deben absorberlo del suelo, donde se encuentra en forma de compuestos nitrogenados. El paso de nitrógeno inorgánico a orgánico lo llevan a

cabo organismos con capacidad fijadora, las bacterias nitrificantes que habitan el suelo y que en ocasiones viven en simbiosis con algunas plantas. Las plantas por su parte, transforman el nitrógeno del suelo en un componente orgánico de sus tejidos. Los animales herbívoros que se alimentan de estas plantas lo incorporan a su cuerpo en forma de tejidos que luego pasará a los carnívoros. Los animales eliminan el nitrógeno con sus deyecciones tanto en la orina como en sus excrementos. Además de esto, en las explosiones volcánicas se liberan grandes cantidades de compuestos nitrogenados.

**Ciclo del Azufre:** el azufre, aunque en cantidades muy pequeñas, desempeña un papel de gran importancia en la síntesis de proteínas. En la naturaleza se lo encuentra principalmente en el suelo formando sulfatos, que las plantas absorben por las raíces y lo convierten en aminoácidos. Al consumir materia vegetal o tejidos de sus presas, los animales lo incorporan a sus propios tejidos y al morir, las bacterias descomponedoras se encargan de reducir sus restos nuevamente a sulfatos. Estos pasan al suelo, enriqueciéndolo, y quedan nuevamente a disposición de las plantas que los utilizarán en la síntesis de aminoácidos.

**Ciclo del Fósforo:** el fósforo también desempeña un papel de notable relevancia en la síntesis proteica y en las reacciones energéticas del interior de los organismos. A diferencia de los otros ciclos, éste no es cerrado, lo que supone que una porción del fósforo queda fuera de él, sin que los seres vivos lo puedan aprovechar. Es un elemento presente en la corteza terrestre, que durante las reacciones que provoca la erosión química se transforma en fosfatos, que las plantas obtienen del suelo. A partir de aquí, el ciclo es análogo al de los restantes elementos, pasando de las plantas a los animales fitófagos, de éstos a los carnívoros y después a los descomponedores, que lo reintegran al suelo. Sin embargo, un determinado porcentaje se pierde en forma de sedimentos que acaban en los depósitos marinos o continentales (lagos).

**Ciclo del Ozono:** el ozono se genera durante las tormentas y se encuentra disperso por la atmósfera, presentando una zona de máxima concentración en la estratosfera, a unos 25 km de altura, en la llamada ozonfera. Se produce por la acción de los rayos ultravioleta, muy energéticos, sobre el oxígeno molecular del aire. En un primer momento, un fotón de la radiación ultravioleta disocia una molécula de oxígeno libre en la atmósfera ( $O_2$ ) en dos átomos (O), que reaccionan inmediatamente con otra molécula de oxígeno para formar ozono.

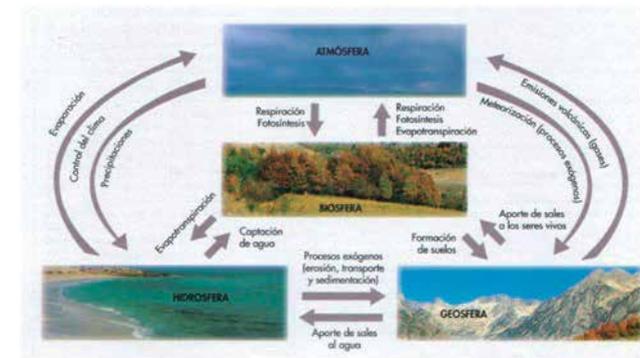
Simultáneamente los fotones de la luz visible o de la propia luz ultravioleta, disocian las moléculas de ozono. En la estratosfera se produce así una continua formación y destrucción del ozono.

En este proceso se consume aproximadamente el 3% de la energía de los rayos ultravioleta presentes en la radiación solar. Este efecto no es beneficioso, por cuanto los rayos ultravioleta, a causa de la gran energía que contienen, pueden romper moléculas biológicas como las del ADN y tienen por ello efectos letales en los seres vivos.

El ozono también se forma en la troposfera, cuando las emisiones procedentes de combustibles no quemados o de gases de pinturas, reaccionan bajo la luz solar con productos de dicha combustión, como los óxidos de nitrógeno.

Estos compuestos abundan en las zonas industriales y urbanas. En realidad el ozono es un componente importante de las nieblas bioquímicas o *smog* que afectan a la mayoría de las zonas urbanas e industriales.

Figura 1.3 Representación de las interacciones entre los subsistemas terrestres.



Fuente: [http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a\\_ctma/u0\\_medio/u0\\_t1medio/las\\_relaciones\\_entre\\_los\\_subsistemas\\_terrestres.html](http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/u0_medio/u0_t1medio/las_relaciones_entre_los_subsistemas_terrestres.html)

¿Qué podría ocurrir si alguno de los ciclos de la naturaleza fuese alterado?

- **Biósfera - Atmósfera:** los organismos tanto autótrofos, como heterótrofos no producirían su metabolismo necesarios para su existencia.
- **Biósfera - Geosfera:** no existiría la producción de materia orgánica, por lo tanto los animales no se podrían nutrir -como condición necesaria y suficiente para su existencia vital.
- **Biósfera - Criósfera:** los organismos que habitan en ellos perecerían por la carencia de temperatura y otras condiciones o factores influyentes en su ciclo vital.

- **Biosfera - Hidrósfera:** sus ciclos hidrológicos no serían constantes, lo que constituiría una amenaza por la desaparición en masa de varias especies.
- **Hidrósfera - Atmósfera:** el ciclo más importante a nivel mundial estaría limitado a grandes sequías o a grandes inundaciones en forma constante y sin regulaciones.
- **Hidrósfera - Geosfera:** el relieve mundial tendría una forma llana y sin posibilidad de realizar otros procesos necesarios para la subsistencia de organismos o la formación de continentes que sufrirían una deriva al azar.
- **Hidrósfera - Criósfera:** varios puntos del planeta se verían afectadas por grandes inundaciones y deshielos como formas de destrucción natural.
- **Atmósfera - Criósfera:** Los factores meteorológicos de temperatura y humedad en algunas zonas de nuestro planeta serían puntos imposibilitados de cualquier tipo de vida.
- **Geosfera - Atmósfera:** la existencia del planeta correría el riesgo de explosión y caos como producto de la acumulación de la energía interna de la Geosfera.
- **Geosfera - Criósfera:** la geografía terrestre sería llana y con posibilidades de subsistencia de organismos acuáticos y resistentes a diversos cambios de temperatura, presión y humedad.

Para comprender y determinar todas las interacciones que ocurren en nuestro planeta, tendríamos que tener presente la definición de medio ambiente. Para ello tomaremos como referencia la establecida en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio humano, celebrada en Estocolmo en 1972: *"el medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas"*. Es decir, podemos considerar medio ambiente a todo lo que condiciona el comportamiento de los seres vivos.

## CAPÍTULO II

# *Composición y estructura de la Geosfera*

Bibiana Ayuso

### **Geosfera, la esfera más importante**

Esta pregunta surge cuando observamos la diversidad de paisajes con que la naturaleza se presenta ante nuestros ojos: los cursos de los ríos que corren entre dos cordones montañosos, la cumbre de un volcán, el inmenso océano que separa los continentes, los desiertos. También vemos con asombro las transformaciones que sufren las ciudades donde vivimos tras la construcción de una represa, o cuando se cambia el curso de un río, se dinamitan montañas para construir rutas, se foresta o deforesta.

La acción del hombre y los movimientos que en la Tierra se dan conforman un maravilloso y sorprendente proceso.

Si pudiéramos entrar a través de un volcán hasta las profundidades de la Tierra, pasaríamos por lugares muy calientes, vapores que nos dificultarían la visión, lava haciendo burbujas, y al final del recorrido habríamos conocido ese universo vedado a nuestros ojos. Pero ¿cómo es posible saber todo eso sin haber entrado? Porque los geólogos, durante siglos, estudiaron la corteza terrestre por métodos indirectos, obteniendo asombrosos resultados. La Sismología es una de las disciplinas que permite conocer la estructura interna de la Tierra, utilizando como herramienta principal el estudio de las ondas de energía producidas por los terremotos o sismos (de donde deriva la palabra sismología).

Pensar en la Tierra sugiere pensar en la corteza, el núcleo, el manto, conceptos que desarrollaremos más adelante. Por el momento seguiremos transitando el túnel del conocimiento, intentando dar respuesta a la pregunta inicial ¿Qué hay dentro de la Tierra? Para eso tenemos que entender la estructura de la Geosfera.

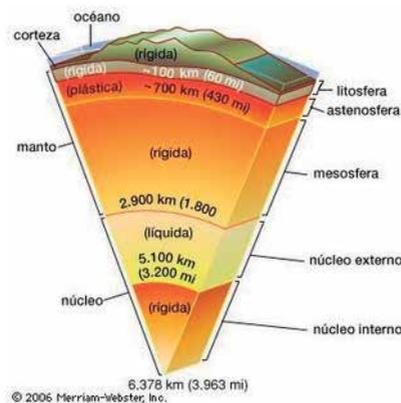
La Geosfera es la parte del planeta Tierra formada por material rocoso, y dentro de la Tierra, es el subsistema de mayor volumen, masa y densidad.

Como se verá en el capítulo V, la formación de la Tierra fue el resultado de impactos entre partículas, la desintegración de elementos radiactivos y el aumento continuo de masa, que produjeron altas temperaturas y la fusión de la materia.

Al rotar la Tierra los materiales se dispusieron según sus densidades, los de mayor densidad en el interior y los de menor densidad en la superficie. De esta manera se constituyó la actual composición de nuestro planeta y la disposición de sus materiales en capas definidas.

La segregación de dicho material sigue ocurriendo todavía, pero a una escala mucho menor. Podemos afirmar que debido a dicha diferenciación, el interior de la Tierra no es homogéneo. Ahora bien, a partir de dos criterios distintos pero en realidad complementarios: su composición química y su comportamiento, es que podemos hablar de la estructura geoquímica y la estructura geodinámica de la Tierra.

Figura 2.1 Capas de la Tierra



Fuente: <http://sedimentarios.blogspot.com.ar/2012/04/las-capas-de-la-tierra.html>

## Estructura Geoquímica

Al igual que Mercurio, Venus y Marte (los otros planetas interiores de nuestro sistema solar), la Tierra es como una “esfera” de rocas, formada principalmente por compuestos de los siguientes elementos: hierro, oxígeno, aluminio y silicio. Aunque la Tierra es un geoide -un cuerpo de formato casi esférico-, podemos rastrear datos sobre su estructura geoquímica al compararla con planetas similares en su composición.

El radio medio de la esfera terrestre es de 6.375 km. Casi todo este radio lo ocupan dos zonas: el núcleo y el manto, el resto pertenece a la delgada corteza terrestre.

A continuación desarrollaremos cada una de estas regiones:

**Corteza:** es la más estudiada, ya que los geólogos durante muchos años han aprovechado la posibilidad del estudio directo, perforando, explotando y martillando. Por eso sabemos que es la capa externa y fina de la Tierra. Tiene un espesor aproximado de 20 km, aunque su grosor varía oscilando entre 3 km bajo las dorsales oceánicas y más de 70 km debajo de algunos cinturones montañosos, por ejemplo Los Andes y el Himalaya.

Es muy importante destacar que la densidad de la corteza va desde 2,8 a 4 g/cm<sup>3</sup>.

Imaginemos como sería la Tierra sin océanos. Veríamos valles muy profundos, cadenas lineales de volcanes, cañones, llanuras, etc. (cuencas oceánicas) y zonas muchísimo más altas: los continentes. Podríamos reconocer como la corteza se divide en oceánica y continental. Las diferencias entre una y otra no sólo tienen que ver con su altura o profundidad, sino también en que las rocas de la corteza de las cuencas oceánicas profundas son diferentes en relación a su composición, de las continentales.

Según la clasificación de Tarbuck y Lutgens (2004), se puede decir que la corteza se divide en:

- **Oceánica:** de 3 a 15 km de espesor, se forma a partir de magmas basálticos procedentes del manto y tiene una antigüedad inferior a 180 millones de años, más joven que la corteza continental, y tiene una densidad aproximada de 3,0 g/cm<sup>3</sup>. Las rocas de la corteza oceánica se encuentran por debajo de 4 km o más de agua de mar y de grandes cantidades de sedimentos.
- **Continental:** de 20 a 70 km de espesor, está formada por rocas muy antiguas de hasta 4.000 millones de años y es de composición muy variada. Las rocas continentales tienen una densidad media de aproximadamente 2,7 g/cm<sup>3</sup>. A

partir de los estudios realizados podemos afirmar que la composición media de las rocas continentales es comparable a la de las rocas ígneas.

Ahora que sabemos cómo está formada la corteza, podemos comprender que límites existen entre los continentes y los océanos. Respecto de los continentes podemos decir que “son superficies extensas, planas y estables que se han erosionado hasta casi el nivel del mar, y regiones elevadas de rocas deformadas que en la actualidad forman los cinturones montañosos” (Tarbuck y Lutgens, 2004). Los cinturones montañosos tienen diferentes edades vinculadas con su formación, y su distribución no es aleatoria. Las montañas más jóvenes (100 millones de años o menos) se encuentran en el cinturón del Pacífico, incluyendo las montañas del oeste del continente americano, y continuando en el Pacífico occidental en forma de arco de islas volcánicas. Otro lugar donde encontramos un cinturón montañoso es desde los Alpes a través de Irán y el Himalaya, bajando hacia el sur y entrando en Indonesia. Encontramos montañas más antiguas en los continentes, como por ejemplo los Apalaches en EEUU y los Urales en Rusia.

Si pudiésemos observar las cuencas oceánicas sin agua, veríamos que el paisaje es más profundo, pero similar al que vemos en los continentes. Podríamos distinguir entonces, las márgenes continentales, las cuencas oceánicas y las dorsales oceánicas.

Ahora bien aunque el continente y el mar entran en contacto en la llamada “línea de costa”, podemos decir que a lo largo de la misma se extiende una formación, con un suave declive denominada plataforma continental.

Si bien estos temas serán desarrollados en los capítulos siguientes, debemos mencionar que el límite entre los continentes y la cuenca oceánica profunda se encuentra a lo largo del llamado talud continental, estructura que se extiende desde la superficie exterior de la plataforma continental, hasta el fondo oceánico profundo.

---

### **Política y plataforma continental**

Un dato curioso sobre la plataforma continental es que la Convención sobre el Derecho del Mar - CONVEMAR - estableció el régimen de la plataforma continental, diciendo

*“La plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a todo lo largo*

*de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental, o bien hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial, en los casos en que el borde exterior del margen continental no llegue a esa distancia”*

Si bien la misma sesión el 30 de abril del año 1982, recién entro en vigencia el 16 de noviembre de 1994. La República Argentina hizo expresa reserva frente a la CONVEMAR respecto del tema de la soberanía sobre las Islas Malvinas, reafirmando que ese tema se encuentra regido por resoluciones específicas de la Asamblea General de Naciones Unidas, adoptadas en el marco del proceso de descolonización. En dicha reserva se manifiesta que la Argentina no reconocerá el ejercicio de ningún derecho de jurisdicción marítima de ningún otro estado o comunidad sobre las áreas marítimas correspondientes a las Islas Malvinas, Sandwich del Sur y Georgias del Sur. El 21 de abril del 2009 la República Argentina presento sus estudios sobre la plataforma con los límites considerados, en tanto el Reino Unido presento sus estudios el 11 de Mayo del 2009.

Si bien este libro trata sobre los movimientos, aquí vemos un claro ejemplo sobre la importancia de conocer los límites, las formas y los orígenes de la Geosfera y como ello impacta en la vida de los habitantes de la Tierra.

---

**Manto:** es una capa rocosa y sólida que se extiende hasta una profundidad de unos 2.885 km y comprende más del 82 % del volumen de la Tierra. Está compuesto fundamentalmente por rocas silicatadas, que van desde la base de la corteza (limitada por la discontinuidad de Mohorovicic) hasta el núcleo externo. Se destacan principalmente peridotitas, a base hierro y silicatos ricos en magnesio, fundamentalmente olivinos y piroxenos junto con menores cantidades de granate. Podemos distinguir el manto superior o astenosfera que continúa hasta la base de la litosfera y el manto inferior o mesosfera que se extiende desde el límite núcleo manto hasta una profundidad de 660 kilómetros. De ambos mantos hablaremos más adelante, ya que los definimos a partir de sus propiedades físicas.

El límite entre el manto y la corteza nos muestra un cambio de composición, allí vemos mezclas de silicatos fundidos, gas, burbujas y cristales generados por la solidificación a partir de un fundido, el magma, que a su vez es originado por la fusión de las rocas. Dicha fusión de rocas o generación de magma no se da de manera homogénea en toda la base de la corteza. Esto se produce a profundidades que van desde los 20 a los 300 kilómetros.

**Núcleo:** es la esfera central y densa de la Tierra, comienza a los 2.900 Km por debajo de la superficie, esta principalmente formado por hierro metálico en aleación en un 10 % con níquel, azufre y tal vez algún otro elemento más, constituyendo la tercera parte del planeta. Se extiende desde los 3.486 km desde el borde inferior del manto, hasta el centro de la Tierra (6.375 Km). Allí las temperaturas pueden superar los 6.700 ° C.

Se divide en **núcleo externo** que es más líquido y **núcleo interno**, que a pesar de su temperatura elevada, se comporta como un sólido debido a la inmensa presión a la que está sometido. Si bien son similares desde el punto de vista de su composición, la diferencia reside en el cambio de estado, determinado por la presión que va de entre 3,3 y 3,6 millones de atmósferas, hecho que explicaría que el punto de fusión aumenta drásticamente con estas presiones.

Una de las principales características del núcleo es su gran densidad, siendo además la presión en el centro millones de veces mayor que la presión del aire en la superficie de la Tierra. En sus orígenes el núcleo era relativamente homogéneo. Durante un tiempo la Tierra incremento su masa, volumen y calor (acreción), llegando a un aumento de la temperatura lo suficientemente elevado como para fundir y movilizar el material acumulado. En ese momento gotas de materiales pesados muy ricos en hierro se unieron y hundieron dirigiéndose al centro de la Tierra, y las sustancias más livianas probablemente flotaron hacia la superficie generando la corteza.

Este proceso dio como consecuencia la formación de capas, que se asemejan mucho a las actuales.

Aunque nos parezca difícil de creer, hace millones de años durante la formación de la Tierra, **el núcleo** probablemente era líquido y formado por una aleación de hierro, el cual se fue solidificando a medida que la Tierra se fue enfriando y formando así el núcleo interno.

## Estructura Geodinámica

En el punto anterior explicamos la estructura de la Geosfera a partir de la composición de las capas. Aquí nos detendremos en las propiedades físicas y estudiaremos de qué forma las fuerzas que intervienen en los procesos dinámicos de la Tierra, dieron como resultado una estructura en capas, pero esta vez en función de su comportamiento mecánico.

**Litosfera (esfera de roca):** comprende toda la corteza y una parte del manto superior, la Astenosfera, que se comporta de una manera frágil y rígida a la vez,

y se fractura frente a los estiramientos. Es la capa externa de la Tierra y aunque en su conformación hay materiales cuya composición química es muy diferente, tienden a actuar como una unidad comportándose de manera similar frente a la deformación mecánica. Es una capa exterior de roca dura y quebradiza (frágil).

Se consideran, según el lugar donde se encuentre, una litosfera continental más gruesa y una litosfera oceánica más delgada, ambas se diferencian, también por la composición química.

La litosfera continental comprende una capa cortical superior de roca con una densidad menor que la media, por lo que tiene una flotabilidad mayor que la litósfera oceánica, favoreciendo la mayor altura de los continentes.

**Astenosfera (esfera débil):** se encuentra debajo de la litosfera, y hasta una profundidad de unos 660 km, es la capa blanda, relativamente débil y localizada en el manto superior. Esta capa es débil debido a su alta temperatura (1.400 ° C) y la proximidad a su punto de fusión. Destacamos la metáfora de Strahler (2004) donde la compara con el comportamiento de un lingote de hierro candente, que conserva su forma apoyado en una superficie plana, pero del que se modelan con facilidad barras o láminas si se lo comprimen mecánicamente. La Astenosfera es de consistencia plástica o viscosa como la de la miel o del dulce de leche, es por eso que aunque muy lentamente, puede fluir.

La temperatura aumenta en forma constante, desde afuera hacia adentro de la Tierra, por lo que el cambio de la **litosfera** a la **astenosfera** es gradual. Las particularidades de ambas capas permiten comportamientos tales que, la litosfera rígida y quebradiza forma una **"cáscara"** dura, capaz de desplazarse en bloque, al ser arrastrada por la astenosfera plástica y blanda. La astenósfera es responsable del movimiento de la litosfera, específicamente de las placas que la conforman. En su interior se producen corrientes de **convección** de los materiales

**Mesosfera o manto inferior:** se corresponde con el manto. Se ubica por debajo de la zona más débil de la astenosfera superior. En contacto con el núcleo tienen mayores temperaturas, pero la inmensa presión contrarresta los efectos de las elevadas temperaturas, determinando una viscosidad mucho más elevada que la astenosfera.

## Los principales límites de la Tierra

Hasta ahora hemos hablado de los continentes y los océanos, y de las diferentes capas que forman la Tierra. En este punto nos detendremos para explicar donde se encuentran los límites entre ambos. Es posible determinar dónde termina el continente y donde comienza el océano. Sólo hay que aprovechar los medios de estudio disponibles: los avances en sismología y mecánica de rocas han ayudado mucho para conocer cómo está formada la Tierra por dentro, ya que las técnicas que se aplican para el estudio de los sismos dan cuenta del funcionamiento dinámico del sistema que la conforma.

Recurriremos a la historia para conocer como fueron las diferentes propuestas del modelo terrestre a través del tiempo.

Del mismo modo en que se forman ondas cuando tiramos una piedra a un arroyo de agua mansa, la estructura del interior de la Tierra, permite que se propaguen las mismas. Cuando se producen grandes movimientos o perturbaciones, como por ejemplo en un terremoto, se generan ondas sísmicas que pueden ser medidas. Dichas ondas se propagan a través de las diferentes capas terrestres.

Haciendo uso de esa información en el año 1909, Andrija Mohorovicic pudo dar cuenta del límite entre los materiales de la corteza de las rocas, cuya composición es diferente del manto cercano. A esto se lo llamo **discontinuidad de Mohorovicic**.

Este descubrimiento se fundó en que la velocidad con que las ondas P llegaban a las diferentes estaciones sísmicas, era mayor que la velocidad de las ondas superficiales a medida que se alejaban del foco. Este dato le dio la idea de dos zonas diferenciadas, separadas por la **discontinuidad de Moho**. (Figura 2.2)

Para entender mejor este proceso, pensemos en un látigo agitado y las diferentes ondas que se producen desde el empuñamiento, donde se sostiene el mismo hasta la punta.

Unos años más tarde, en 1914, Beno Gutenberg dio cuenta de otro límite importante: el del núcleo y el manto. Aquí se observó que las ondas P, producidas por un sismo, disminuyen y finalmente desaparecen por completo desde unos 105 ° desde el epicentro de un terremoto, para reaparecer luego a los 140° pero unos dos minutos después de lo esperable por la distancia recorrida. Este descubrimiento dio origen a la **discontinuidad de Gutenberg**.

Tanto Gutenberg como otros investigadores propusieron que la zona de sombra de la onda P puede explicarse sólo si la Tierra tuviera un núcleo diferente al manto suprayacente.

A partir de los diferentes experimentos y observaciones, se concluyó que es posible la existencia de una capa líquida por debajo del manto rocoso.

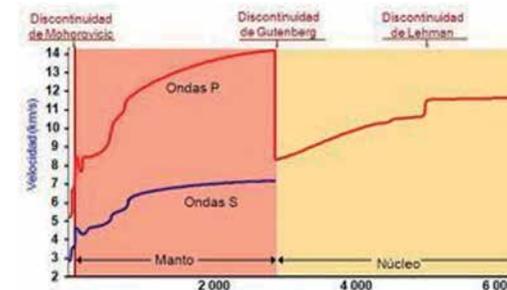
Por último, en 1936, Inge Lehmann descubrió una nueva zona dentro del núcleo con características diferenciadas, un núcleo dentro del núcleo, a la que se denominó **discontinuidad de Lehmann**.

A partir de los ecos de las ondas sísmicas que rebotaban del núcleo interior se pudo conocer el tamaño del mismo, y se supo que su espesor es de 1216 Km.

En síntesis:

La estructura interna de la Tierra suele dividirse en varias capas separadas por discontinuidades sísmicas. En estas superficies las ondas sísmicas experimentan un cambio en sus velocidades o condiciones de propagación, lo que demuestra que existe un cambio en la naturaleza o composición del interior terrestre.

Figura 2.2 Trayectoria de las ondas sísmicas.



Extraído de "Ciencias para el mundo contemporáneo" ([http://cienciasmc.blogspot.com.ar/2010\\_11\\_01\\_archive.html](http://cienciasmc.blogspot.com.ar/2010_11_01_archive.html))

## El interior de la tierra, una fábrica de calor

El núcleo terrestre es una máquina generadora de calor, una usina natural que produce cantidades inmensas de energía térmica. Sabemos que los procesos internos de intercambio de materia y energía son fundamentales para la vida en la tierra, por eso hacemos referencia a la **energía geotérmica**, palabra derivada del griego; geo (tierra) thermos (calor).

Se define a la energía geotérmica como la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra.

Como mencionamos anteriormente, la capa superior del manto bajo la corteza terrestre está compuesta por magma, roca líquida a muy altas temperaturas. Los magmas se forman en los bordes continentales activos, donde convergen

dos placas litosféricas, la llamada zona de subducción, en las dorsales oceánicas (zona de ruptura y divergencia de placas), todo esto asociado a puntos calientes (volcanes interplacas).

Recordemos que la litósfera es una parte de la corteza terrestre formada por 14 placas rígidas, y poseen movimiento independiente y que se desplazan sobre la astenósfera.

Las rocas que formarán el magma deben fundirse a una temperatura y presión determinadas para que logren un estado líquido.

El magma frente a determinadas condiciones puede ascender a la superficie, dicho ascenso puede ser rápido y sin interrupciones, así es como se produce una erupción volcánica caracterizada por su baja explosividad.

También puede que el magma no llegue a alcanzar la superficie y se detenga durante un período de tiempo, formando cámaras magmáticas. Se estima que, para una determinada cantidad de magma arrojado por un volcán, un volumen diez veces mayor permanece debajo de la superficie, formando cámaras magmáticas que calientan las rocas circundantes.

Las grandes temperaturas alcanzadas, a veces superiores a 140 grados Celsius, pueden llegar hasta lugares donde hay depósitos de aguas subterráneas, las que pueden emerger a través de fisuras en la corteza terrestre.

Los procesos geodinámicos internos que suceden en la Tierra son producto de la transferencia y generación de calor en su interior, proceso que va desde los volcanes, terremotos, formación de cordilleras y metamorfismo.

El calor es fundamental en el proceso de la tectónica de placas, involucrando a la litosfera y a la astenósfera. También se consideran otros procesos a mayor profundidad como los movimientos de convección en el manto y en el núcleo externo, desarrollados al comienzo del capítulo.

La energía geotérmica, es renovable y se produce permanentemente. Para conocer más sobre la misma veremos los procesos por los cuales se origina:

- La desintegración de isótopos radiactivos, aproximadamente el 50 % del flujo total de calor procede del proceso de desintegración de los isótopos radiactivos de vida larga que están en la corteza y en el manto.
- El calor inicial, o sea la energía liberada durante la formación de la tierra hace aproximadamente 4.500 millones de años. Dicha energía aún está llegando a la superficie.
- Los movimientos diferenciales, aquí consideramos a la energía liberada por los movimientos entre las diferentes capas que forman la tierra (principalmente los que se producen entre manto y núcleo). Estos movimientos

responden de manera diferenciada a la influencia de las fuerzas de marea generadas por el sol y la luna. Como consecuencia de este fenómeno es la disminución en la velocidad de rotación de la tierra.

- El calor latente de cristalización del núcleo externo, o sea la energía liberada en la continua cristalización del núcleo externo fluido.
- Teniendo en cuenta que determinadas zonas de la litosfera están sometidas a tensiones que generan gran cantidad de calor y presión, pueden producirse fracturas (por ej. fallas).

Como mencionamos en párrafos anteriores, por dichas fracturas de la corteza pueden ascender desde el manto, magmas, masas de rocas incandescentes, en estado de fusión total o parcial, con pequeñas cantidades de materias volátiles (agua, anhídrido carbónico, ácidos sulfúrico y clorhídrico, etc.).

Una de las consecuencias más conocidas de estas rupturas de la corteza es la formación de volcanes, donde si las condiciones tectónicas son favorables, los magmas, por su movilidad, pueden ejercer un empuje hacia arriba y romper la costra superficial de la Tierra, esparciendo lavas, cenizas y gases.

Si esas rocas son permeables o están fracturadas, y existe circulación de agua subterránea, esta última capta el calor de las rocas, pudiendo ascender hasta la superficie a través de grietas o fallas, dando lugar a la formación de aguas termales, géiseres, fumarolas y volcanes de fango., cuyo uso es común en terapias medicinales alternativas.

Nuestro país cuenta con varios lugares donde el aprovechamiento de la energía geotérmica genera ingresos relacionados con el turismo y la salud. Uno de ellos está ubicado en la provincia del Neuquén en la localidad de Copahue, aunque también debemos decir que a comienzos del año 2013 dicho volcán, mostró signos de continua actividad generando numerosos sismos en la región, lo que puso en alerta roja a toda la zona cordillerana limítrofe entre Argentina y Chile.

Los fenómenos vinculados con las aguas termales tienen características que los diferencian de los afloramientos de aguas comunes, ya que la estructura química es otra.

Por estar siempre asociados a las fases póstumas de los procesos magmáticos, además de la alta temperatura que presentan, están acompañados de gases, principalmente carbónicos o sulfurosos, produciendo estos últimos un olor fétido sumamente desagradable.

## ¿Cómo podemos conocer la composición y estructura de la Tierra?

Como mencionamos, durante años el hombre intentó llegar a las profundidades de la Tierra, imaginando grandes pozos que atraviesan todo el planeta. La profundidad mayor a la que se ha llegado es de 4 km en una mina en Sudáfrica, y de 12 km mediante una perforación en Rusia.

Para conocer más sobre la estructura y composición de la Tierra, tenemos que recurrir a diferentes métodos de estudio.

Coincidimos con Folguera y Spagnuolo (2010) cuando dicen que si quisiéramos entender el estado de la materia que se encuentra en las proximidades, la primera aproximación que ensayaríamos, sería la de un simple pozo. Durante años este método de estudio, fue la única forma de conocer la conformación de la Tierra.

Los avances en la metodología experimental nos permiten distinguir dos tipos de métodos de estudio:

- Los métodos directos que se basan en el análisis directo de los materiales extraídos de la Tierra.
- Los métodos indirectos donde se realizan pruebas de las que se obtienen datos que sirven para deducir cómo son los materiales que no vemos.

*Respecto de los primeros distinguimos:*

**Lavas expulsadas por volcanes:** se realizan análisis en el laboratorio de las sustancias y elementos que emergen desde el interior de la Tierra a través de los volcanes, de esta manera podemos estudiar el manto superior.

**Minas:** se pueden analizar y estudiar rocas que se encuentran hasta aproximadamente 4 km de profundidad y nos permiten observar la composición de materiales de la corteza terrestre.

**Sondeos:** en este caso se utilizan sondas que llegan hasta 10 km de profundidad, permitiendo también observar materiales de la corteza terrestre.

*Respecto de los segundos distinguimos:*

**Estudios gravimétricos:** Permiten estudiar la estructura de la corteza terrestre y el manto. Detectan la presencia de anomalías que se explican por las variaciones en la densidad de los materiales. Se compara el valor teórico de la gravedad terrestre en un punto y el valor real medido, utilizando un gravímetro.

**Estudios del campo magnético terrestre:** Nos permiten conocer la existencia

de un núcleo externo fluido, y la confirmación de la expansión del fondo oceánico. A través de aparatos adecuados se estudia la existencia de un campo magnético terrestre y los cambios producidos en los polos magnéticos terrestres.

**Estudio del flujo geométrico:** Mediante este estudio se puede conocer el calor que emite la tierra, el cual puede ser detectado en la superficie. Se reconocen zonas calientes que indican una gran actividad geológica en el interior. Las zonas calientes nos permiten identificar el ascenso de materiales procedentes del manto profundo, en las dorsales oceánicas y en los puntos calientes.

**Meteoritos:** Podemos estudiar la composición de la corteza, del manto y del núcleo. Debido a su origen común con la Tierra, nos permite observar y estudiar su estructura.

**Estudio de ondas sísmicas:** se estudian las ondas sísmicas que se transmiten en todas direcciones desde el punto en que se originan en la Tierra. Si la composición fuera homogénea se transmitiría a velocidad constante y de manera rectilínea, a las zonas del interior de la Tierra donde se observan variaciones en la intensidad y dirección de las ondas se las llama discontinuidad. Esto indica que la Tierra es heterogénea y está dividida en capas.

## Técnicas para monitorear los movimientos y evolución terrestres

La humanidad se ha preguntado muchas veces, ante eventos geológicos, si los mismos hubieran podido predecirse.

El Tsunami y terremoto del año 2011 en las costas de Japón, generó olas de hasta 40 m. La celeridad del mismo imposibilitó evacuar o prevenir la catástrofe. .

Cuando un evento geológico es destructivo suele llamárselo desastre natural y los elementos con los que contamos nos permiten hacer seguimiento del movimiento interno de la Tierra, a través de los métodos que ya explicamos.

Es importante informar sobre la génesis de estos procesos y sus causas, efectos, probabilidad de ocurrencia, predictibilidad, etc., para poder actuar en forma consecuente con la gravedad de los mismos.

Tomamos los conceptos de peligrosidad y riesgos geológicos de Montero, Garcia y Guzmán (2012) para introducirnos en las ventajas que nos proporciona saber sobre el funcionamiento del sistema Tierra en relación al peligro que acarrean los procesos geológicos, y como afectan a las poblaciones cercanas a los fenómenos.

Definimos **peligrosidad geológica** a “la probabilidad que ocurra, en un período de tiempo determinado y en un área específica, algún fenómeno geológico de

una magnitud determinada potencialmente perjudicial” (González y Bejerman, 2004).

Hablamos de los fenómenos que se dan en un determinado tiempo y en un lugar determinado, donde el hecho de que haya una población cercana lo hace relevante, por ejemplo una erupción volcánica, un sismo o terremoto, deslizamiento de tierra, tsunami, etc.

En nuestro país, “los mapas de Peligrosidad Geológica muestran las áreas sujetas a distintos procesos geológicos que potencialmente pueden afectar una zona, pero no su probabilidad de ocurrencia” (González y Bejerman, 2004). Es decir, los mapas muestran la vulnerabilidad de las diferentes regiones, pero carecen de datos estadísticos que permitan estimar el peligro geológico.

Entendemos por **riesgo geológico** “la magnitud de las pérdidas derivadas de un fenómeno geológico, lo cual tiene en cuenta el “riesgo específico”, o sea las pérdidas económicas esperadas, y los “elementos de riesgo” (o la vulnerabilidad) como población, propiedades, actividades económicas, servicios públicos, etc., sometidos a un fenómeno determinado en una zona dada” (definiciones estipuladas por la UNDRP-ONU, 1979, y la UNESCO, por Varnes (1984), en González y Bejerman (2004).

Clasificaremos los procesos geológicos según su origen en:

- Peligros geológicos internos: volcanes, sismos, tsunamis, diapiros
- Peligros geológicos externos: inundaciones, erosión, movimientos de laderas, subsidencias naturales.
- Los procesos mencionados se desarrollarán en el capítulo 3, aquí intentaremos estudiar si el saber sobre ellos nos permite “predecir” los fenómenos y mitigar sus consecuencias.

Una forma de comprender la evolución del interior terrestre es a través del **monitoreo de volcanes activos**. El mismo se lleva a cabo a fin de conocer su comportamiento y poder advertir una potencial actividad que implique un peligro geológico.

No es posible “predecir” con exactitud cuándo ocurrirá una erupción volcánica, ni su grado de explosividad, pero el monitoreo brinda una buena aproximación. En la actualidad existen variadas y complementarias técnicas de monitoreo. Como explicamos en un apartado anterior, existen diversos métodos de estudio que permiten detectar áreas con anomalías térmicas, presencia de cenizas o zonas en donde la emisión de un determinado gas (ej. dióxido de azufre) es elevada, de esta manera, aún sin esperar que un volcán inactivo o uno nuevo pueda tener

actividad, estas herramientas ayudan a reconocer la presencia de un potencial volcanismo.

Un primer acercamiento para evaluar la peligrosidad de un volcán consiste en “confeccionar mapas de peligrosidad volcánica, en base a las características de los depósitos volcánicos encontrados y a su recurrencia en el tiempo, así se puede conocer cuál ha sido la mayor explosividad que un volcán ha tenido y por lo tanto conocer el comportamiento que éste puede tener”. (Montero, García y Guzmán 2012)

Los volcanes pueden cambiar sus estilos eruptivos a lo largo de su historia, lo que hace más difícil la predicción.

Existen muchos volcanes a nivel mundial como por ejemplo el Stromboli y el Etna en Italia, el Tungurahua y el Cotopaxi en Ecuador, el Galeras en Colombia, el Popocatepetl en México, y el Yasur en la isla de Tanna, que tienen varias erupciones durante el año o que muestran una elevada actividad (emisión de gases, sismicidad relacionada a la cámara magmática); en estos casos el monitoreo da cuenta de dichos movimientos.

Podemos reconocer diferentes técnicas de monitoreo:

- la observación del volcán a través de cámaras fotográficas
- las imágenes satelitales
- las cámaras ultravioletas e infrarrojas
- los sensores químicos
- el muestreo directo de gases y de composición de aguas
- los sensores infrasónicos
- los espectrómetros
- los radares de apertura sintética
- los sistemas de posicionamiento global
- los sismómetros

En muchas ocasiones la combinación de los datos obtenidos a partir de sismómetros junto con otras herramientas de monitoreo, como por ejemplo un incremento súbito de emisión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), permite emitir alertas de una posible erupción y estimar con cierto grado de certidumbre cuándo se producirá la erupción.

Retomando el ejemplo, en el año 2013, el volcán Copahue mostró una marcada actividad, previéndose una posible erupción, pero ya en diciembre del año 2012 comenzó un proceso en el cual hubo ceniza, gases y humo negro que se extendió más allá del kilómetro y medio. En ese momento las autoridades del

Comité Operativo de Emergencia del Neuquén pusieron el alerta amarilla en la zona. El gobierno Chileno declaró el alerta naranja.

Las cenizas que emanaban del volcán pusieron en riesgo las zonas de Cavihue, Loncopué, Zapala y Cutral Co, aunque las mismas llegaron más allá de la ciudad de Neuquén localizada a 340 km del volcán.

La actividad volcánica estuvo acompañada por una gran actividad sísmica. Ambas fueron monitoreadas permanentemente. De ese monitoreo surgieron datos que hicieron a las autoridades de ambos países bajar el alerta a fines de diciembre. En el mes de enero del 2013 se volvió a elevar el alerta a naranja debido a la actividad sísmica registrada en profundidad. En mayo del mismo año las autoridades de Argentina y de Chile establecieron el alerta roja, debido a una posible erupción del volcán. Se evacuaron en forma preventiva las localidades cercanas al mismo. “Si un volcán entra en actividad, sus signos premonitores pueden ser percibidos si está siendo debidamente monitoreado” (Ortiz y García, 2000), aunque y coincidiendo con Carniel (2012) debemos tener en cuenta que también los mismos datos, por ej., los sísmicos, se pueden analizar de maneras muy distintas y solo algunas técnicas revelan determinados cambios.

## Estudios Paleoclimáticos y Paleomagnetismo

Hasta ahora tratamos de entender la manera como los estudios sobre geofísica y geoquímica de la Tierra nos podrían ayudar a “comprender” los fenómenos naturales que se producen como consecuencia de la dinámica terrestre.

Los métodos y herramientas son abundantes pero no suficientes, por eso seguimos en el camino de encontrar información que la Tierra nos brinda para lograr entenderla.

En 1915 Alfred Wegener esbozó la idea de la deriva continental. Como meteorólogo, buscaba datos que apoyaran su hipótesis en los estudios **paleoclimáticos**. Al desarrollar la teoría de la deriva continental, incorporó información sobre los grandes cambios climáticos que se produjeron en la Tierra, cuando estuvo cubierta de hielo como en las épocas glaciares de hace unos miles de años o cuando sin casquetes polares y un clima cálido y uniforme, como en la época hacia el fin de la era de los dinosaurios.

Esto da cuenta de la historia cambiante de nuestro clima y como el mismo se vincula con la biodiversidad.

Sabemos que hace unos cien millones de años, había muchos organismos

diferentes en nuestro planeta, donde el clima y el paisaje eran muy distintos a los de la actualidad. También era diferente la forma en que estaban distribuidos los océanos y continentes los cuales al evolucionar dan como consecuencia los actuales mapas.

Para ejemplificar decimos “hoy también sabemos que el clima, tal cual lo conocemos en la actualidad es, en realidad, sólo una coyuntura, y que estas condiciones actuales no duraran mucho tiempo, ya que la naturaleza, inexorablemente, irá transformándolo” (Recalde *et al.*, 2013)

Estudiando el pasado, la geografía nos enseña que el proceso de cambio es una constante en nuestro planeta. Hace unos 280 millones de años, durante el periodo Pérmico, los continentes se encontraban unidos (tema que será desarrollado más adelante), en un súper continente conocido como Pangea con un gran océano que lo rodeaba. La historia del rompimiento, los movimientos de separación y formación de nuevos océanos, forma parte de la teoría de la **deriva continental**.

Años después de la muerte de Wegener, comenzó una nueva línea de investigación sobre el funcionamiento de la Tierra, el **paleomagnetismo**.

Este hace uso de una “memoria” magnética de las rocas que permite conocer como era el campo magnético terrestre, como un sistema de orientación, cuando se formó dicha roca. Estos estudios han brindado soporte al desarrollo de la teoría de la **tectónica de placas**, la cual se basa en la hipótesis de que la capa exterior del planeta, o litosfera, está dividida en grandes porciones o placas que están en movimiento relativo, una respecto a otra. Como resultado de estos movimientos se generan los temblores, la actividad volcánica, la formación de montañas, la formación de nuevos continentes y la deriva de los mismos.

Los estudios paleomagnéticos han permitido hacer inferencias o predicciones sobre los movimientos de placas en el futuro, y visualizar una geografía cambiante en los millones de años por venir, tan cambiante como en los millones de años del pasado geológico. En las siguientes líneas, en una forma resumida, se comentan algunos de los aspectos de los estudios paleomagnéticos relacionados con la deriva continental y la tectónica de placas.

La brújula es una herramienta muy usada para orientar a todo aquel que esté en busca de los puntos cardinales, así la aguja siempre nos marcará el norte con un sencillo sistema de imanes. Dicho instrumento utiliza para su funcionamiento el **campo magnético terrestre**. Este se aproxima al campo producido por un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra, y es similar al de una barra imantada. No podemos percibir el campo magnético, sólo se manifiesta por el movimiento

de la aguja en la brújula. De la misma forma que el imán que se encuentra en la brújula reacciona al campo magnético, hay ciertas rocas que contienen minerales que sirven de brújulas naturales fósiles, entre ellos se destaca la magnetita, que es uno de los minerales más abundantes en la lava basáltica.

Cuando estos minerales se calientan a una temperatura mayor al llamado punto de Curie, pierden su magnetismo. Estos minerales (ricos en hierro) si se enfrían por debajo del punto de Curie (aproximadamente 585 ° C para la magnetita), se van magnetizando gradualmente según una dirección paralela a las líneas de fuerza magnéticas existentes en ese momento.

Al solidificarse la roca, dichos minerales adquieren el magnetismo existente en el momento en que se formaron, indicando la posición de los polos magnéticos. Esto es lo que se conoce como magnetismo remanente.

El paleomagnetismo estudia el campo magnético del pasado (Folguera, A., Spagnuolo, M. 2010)

Es así que llamamos **paleomagnetismo o magnetismo remanente** a la capacidad que tienen rocas que se formaron hace miles o millones de años y que poseen un registro magnético de la dirección de los polos en el momento de su formación.

Cualquier cuerpo magnetizado, en este caso rocas, dejado en libertad de movimiento dentro de este campo tenderá a orientar sus respectivos polos magnéticos. De esta manera, es posible conocer la dirección en la cual se encuentra el polo geomagnético en cualquier lugar de la superficie terrestre. Esto nos ayuda a orientarnos en cualquier lugar del planeta en el que estemos.

Estas propiedades del campo magnético pueden ser utilizadas en un gran número de problemas geológicos y geofísicos. Por ejemplo, las lavas que se forman en Hawaii en la actualidad a 20° N de latitud, se encuentran alrededor de 70° del polo magnético N, esto suponiendo que la posición media del polo N magnético es la misma que la del polo N geográfico, o sea de 90° N de latitud. Por lo tanto, las rocas formadas en el pasado que poseen magnetización, y que se formaron a una latitud de 40° N se habrían encontrado a 50° N del polo magnético al momento de su formación.

Podemos afirmar asombrados que si estas mismas rocas se encontraran hoy en el ecuador, al medir su magnetismo determinaríamos que se movieron 40° hacia el S desde su formación. O sea, que las rocas al poseer la propiedad de magnetismo nos proporcionan un registro de la dirección y distancia a los polos magnéticos en el momento en que fueron magnetizadas.

## CAPÍTULO III

# Consecuencias de la geodinámica global

Natalia Alejandra Navarro Becerra

### La Canica Azul. Nuestro planeta de agua

*“Cuando el niño y su padre alcanzaron por fin aquellas cumbres de arena, después de mucho caminar, la mar estalló ante sus ojos. Y fue tanta la inmensidad de la mar, y tanto su fulgor, que el niño quedó mudo de hermosura. Y cuando por fin consiguió hablar, temblando, tartamudeando, pidió a su padre: -¡Ayúdame a mirar!”*

*Eduardo Galeano*

No recuerdo cuando fue la primera vez que lo vi, pero seguramente el sentimiento fue muy parecido al que describe Galeano a través de ese niño. La inmensidad azul, su olor inconfundible, aquel horizonte lejano que se pierde ante nuestros ojos y que nos hace sentir tan pequeños. El vaivén constante, incansable, de las olas que acarician suavemente la arena dejándola cubierta con una tenue estela blanca, que desaparece lentamente sobre nuestros pies. El mar...grandioso, misterioso, secreto...huella digital de la Tierra.

El agua marina nos lleva a nuestros orígenes. Estamos hechos de agua, cada una de nuestras células alberga aquel mar ancestral en el que surgieron las primeras formas de vida, que luego evolucionaron y le dieron la impronta a nuestro planeta.

El mar guarda misterios en sus profundidades, fondos desconocidos, enigmáticos, que pocos hombres se atrevieron a desafiar, conocer y explorar. Algunos, con una imaginación prodigiosa, se dieron el gusto de describir con minuciosos detalles, paisajes fantásticos del fondo oceánico. Julio Verne en la piel del legendario capitán Nemo, nos condujo a bordo del Nautilus, por esos ambientes oscuros, llenos de misterios y habitados por miles de seres marinos. Describió avanzados inventos para la época, como el uso de las escafandras autónomas o de máquinas que producían aire respirable, permitiendo a sus hombres, realizar la exploración submarina de las profundidades. No podemos dejar de mencionar al incansable y aventurero oceanógrafo francés Jaques Cousteau, pionero en desentrañar los secretos de los océanos, cuyos viajes e investigaciones científicas, fueron la inspiración que definió la vocación de muchos biólogos de nuestra generación.

Cousteau nos descubrió el mar, nos develó los "secretos" de las profundidades frías y silenciosas, consideradas como ambientes hostiles, misteriosos y peligrosos, hasta aquel momento. Sus investigaciones y excursiones submarinas fueron el inicio de una nueva visión de los fondos oceánicos.

La proporción de agua que posee nuestro planeta en relación a la superficie de tierra emergida, es la que justamente lo hace particular y lo hizo entrañable aquel 7 de Diciembre de 1972, para los tripulantes de la nave espacial Apolo 17, cuando pudieron observar y fotografiar a nuestro planeta a una distancia de 45.000 km. En la fotografía, puede observarse a la Tierra con un color azul intenso, pincelada con grandes nubes blancas, semejante a una gigantesca canica de vidrio, totalmente iluminada por el Sol. De ahí el nombre de La Canica Azul.

El 71 % de la superficie terrestre está cubierta de agua en estado líquido. Pero ¿cómo se originaron esas enormes masas de agua que son una característica exclusiva de nuestro planeta y lo distinguen entre el resto de planetas del sistema solar?

Los océanos primitivos, muy diferentes en cuanto a composición y distribución a los actuales, se formaron en un período de tiempo comprendido entre la fecha en que la Tierra misma se originó hace 4.600 millones de años, aproximadamente. Ese mar naciente, primordial, surgió de las entrañas del planeta al ser expulsado en forma de vapor de agua a más de 200 °C por los volcanes o grietas de la corteza. Retenido en la atmósfera, en el momento en que la temperatura de la superficie terrestre disminuyó lo suficiente, el vapor de agua se condensó y precipitó, cubriendo y rellenando lentamente, las partes más profundas de la superficie terrestre, disolviendo o arrastrando diferentes materiales a su paso. Las precipitaciones arrastraban hacia la Tierra gases atmosféricos como el amoníaco, el dióxido de carbono, el metano y el ácido clorhídrico, que mediante las reaccio-

nes químicas fueron integrando los compuestos característicos tanto de la tierra como de las aguas.

Las partes más elevadas del relieve, quedaron solitarias, aisladas, asomadas como testigos silenciosos de aquel impetuoso surgimiento inicial. La proporción de aquellas aguas marinas incipientes, era muy pequeña, quizás entre el 5 y 10 % del volumen actual. Aquel océano primitivo tal vez era semejante a las aguas termales de las regiones volcánicas: humeante, ácido, caliente, poco propicio para la aparición de las primeras formas de vida, aún. Las lluvias ácidas reaccionaron con las rocas de la superficie, las fueron fragmentando, degradando sus componentes más inestables, generando así diferentes tipos de sales, que al ser transportadas por los cauces incipientes de la corteza, regresaban hasta los océanos nuevamente. Mediante este ciclo, cantidades crecientes de cloruro de sodio, bicarbonato de calcio, bicarbonato de sodio, de sulfatos, fósforo, magnesio, fueron incorporándose a las cuencas oceánicas, haciéndolas progresivamente más saladas. La evolución de la salinidad marina es mucho más compleja, pero en estos ciclos constantes que evaporan las gotas, las precipitan, las arrastran, las infiltran, las sumergen a las profundidades, las arrojan nuevamente a la superficie o las regresan al mar. En un lento equilibrio, comenzaron a producirse las reacciones químicas que propiciaron la aparición de la vida.

## Un recorrido por la morada de Neptuno

Según la mitología romana, Neptuno, hermano de Júpiter, era el dios de los mares. Impetuoso, inestable, iracundo, podía provocar desde terribles tormentas, sismos y tempestades hasta las olas más tranquilas y pacíficas, con solo agitar su tridente. Temible y caprichoso, nadie se atrevía a provocarlo, fue el arquitecto de las costas, siempre escoltado por sus fieles caballos. Podía arrancar trozos de montañas para crear acantilados o dejar suaves playas con abrigadas bahías para que jueguen sus delfines, con solo pasar la mano por el litoral.

A través de estos relatos mitológicos, el ser humano buscaba encontrar respuestas a los fenómenos naturales, interpretar el universo y encontrar explicación a la realidad. Eran explicaciones arbitrarias, donde lo sobrenatural estaba presente. Los fenómenos catastróficos o propicios, eran atribuidos a los inestables estados de ánimo o voluntad antojadiza de los dioses.

El orden natural necesita explicaciones y respuestas más racionales. La campaña realizada por la corbeta real británica HMS *Challenger* en 1812, es considerada

como la primera investigación oceanográfica con un “sello” científico por las evidencias concretas que obtuvo. A bordo de la misma, un grupo de científicos recorrió durante 3 años, 120.000 km. Surcaron los océanos Atlántico, Pacífico, Índico y Antártico. El informe resultante de esos años de investigación, contribuyó con grandes aportes sobre el conocimiento de la salinidad, temperatura y densidad del agua de mar. Se obtuvo una idea más precisa de los fondos marinos y de las grandes cuencas oceánicas. La expedición descubrió la fosa de las Marianas y demostró la existencia de la dorsal mesoatlántica. Realizaron medio millar de sondeos en aguas profundas, cientos de dragados y catalogaron aproximadamente 4.700 especies nuevas de vida marina, recogidas a más de 5.500 m de profundidad.

El nombre de esta expedición fue inspiración para denominar al transbordador espacial *Challenger* y al abismo ubicado en el extremo sur de la fosa de las Marianas, en el Pacífico. El *Challenger* es el punto más profundo medido en el océano. El primer registro de profundidad fue de 8.184 m. Unos 75 años después, la parte más profunda de la fosa fue medida mediante sondeo por eco, estimando una profundidad de 10.900 metros. Estudios posteriores, usando sonar, determinaron la profundidad actual en 10.923 metros con una presión 1095 veces mayor a la de la superficie terrestre. En el 2012, el director de cine canadiense James Cameron, se convierte en el primer hombre en descender sin acompañantes, a 10.898 m dentro del abismo a bordo del *Deepsea Challenger*. Durante seis horas permaneció solo, acompañado únicamente por sus sentimientos, alejado de la humanidad entera, observando y filmando por primera vez, uno de los puntos más desconocidos, más profundos, oscuros y solitarios de la Tierra.

El hombre ha logrado realizar mayor número de misiones espaciales para explorar y conocer el universo, que expediciones oceanográficas para conocer las profundidades de los océanos de su propio planeta. Cameron describe aquellas profundidades como “*un paisaje casi lunar... desolado... alienígena...*”.

La medición de las profundidades oceánicas y el reconocimiento de la forma o la topografía de la superficie submarina dio origen a la batimetría (bathos: profundidad; metros = medida). Las primeras sondas utilizadas fueron muy simples y rudimentarias: pesos atados a largos cables que se bajaban hasta el fondo marino, los que muchas veces se untaban con grasa para obtener muestras del suelo. Las mediciones eran puntuales, bastante imprecisas ya que dependían de los movimientos del barco, las mareas o las corrientes marinas que podían afectar los cables lanzados. Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1940, durante la segunda guerra mundial que se desarrolló el sonar, lo que permitió los primeros sondeos acústicos del fondo oceánico. La onda de sonido se emitía hacia el fondo

y el tiempo que tardaba en recorrer el agua, rebotar y volver, es lo que informaba la profundidad real. En la actualidad se usan sonares de barrido ancho, con lo que pueden cubrirse un abanico de 180°, facilitando el mapeo de los fondos oceánicos.

La investigación oceanográfica, recién comenzó a desarrollarse científicamente a partir de 1945, los océanos Atlántico, Ártico, Pacífico e Índico fueron intensamente estudiados. Los resultados de aquellas investigaciones demostraron que, a pesar de que grandes áreas del fondo oceánico son extensas llanuras, relativamente planas, existen también regiones extremadamente elevadas y de muchos kilómetros de extensión, que constituyen las mayores “cadenas montañosas” del globo terrestre.

El geólogo norteamericano Harry Hess, fue durante la Segunda Guerra Mundial, comandante de un barco que transportaba tropas por el Pacífico. Aprovechó esta situación, para estudiar en detalle el fondo marino, mediante el análisis de mapas realizados con sonares. Llegó a la conclusión, que el fondo del océano no era una región tranquila e inmóvil, teniendo en cuenta las investigaciones realizadas a fines de 1950 por su amigo, el geofísico Maurice Ewing

Ewing, con otros científicos del Observatorio Geológico Lamont de Nueva York, habían realizado una expedición para cartografiar la Dorsal Mesoatlántica. La describieron como una extensa cadena de montañas cuyo origen son las mismas entrañas de la Tierra, situada exactamente en el centro del Océano Atlántico. Ésta dorsal oceánica posee un conjunto de volcanes en actividad, un estrecho valle y un escarpado en el centro, a lo largo del cual se registran frecuentes sismos submarinos. A partir de 1950, la cantidad de conocimientos adquiridos teniendo en cuenta estudios paleomagnéticos y sismológicos, posibilitaron plantear las primeras hipótesis globales para interpretar las distintas partes de la corteza, el origen de los continentes, el vulcanismo y los terremotos. Para esa época se habían descubierto las anomalías paleomagnéticas en los fondos oceánicos, había evidencia sobre su posible expansión y se bosquejaba un modelo de la existencia de un supercontinente.

En 1962, Hess propone que es el propio fondo oceánico el que se mueve, empujando las placas tectónicas y por lo tanto, modificando la distribución continental. Determina que el fondo se expande continuamente, a través de las dorsales oceánicas, mediante procesos dinámicos divergentes que desplazan las placas tectónicas lentamente en direcciones opuestas, alejándolas poco a poco.

El precursor de esta teoría fue el naturalista alemán Alfred Wegener, quien mostró evidencias paleontológicas y geológicas, publicadas en 1915 en “El origen de los continentes y de los océanos”, pero esto no fue suficiente para convencer

a los colegas de la época, que simplemente ignoraron sus ideas. Fue Hess quién fundamentó la deriva continental a través de su trabajo de investigación llamado *Historia de las Cuencas Oceánicas* publicado en 1962. Robert Dietz, un año antes, había publicado una teoría semejante denominada "Expansión del piso oceánico", pero en el ambiente científico Hess ya era conocido como el autor de tal hipótesis. Lo notable es que ambos llegaron a desarrollar la misma idea de modo independiente y con fundamentos.

## El cambio se gesta en las profundidades del mar

El fondo oceánico es una de las regiones geológicamente más activas del planeta. A partir de la geodinámica global, se han producido lentos cambios evolutivos, establecidos en millones de años, que continúan modificando la distribución de la tierra emergida en relación a las masas de agua que cubren la Tierra. Los océanos, así como la atmósfera, han sufrido una constante transformación desde su origen.

Los movimientos de las placas tectónicas son el origen de los cambios en la distribución de los continentes, la aparición de montañas, el vulcanismo, los sismos y la evolución de los océanos.

Para comprender los procesos dinámicos hay que hacerlo a la luz de la Teoría de la Tectónica de Placas. Si por un instante, pudiéramos imaginar a la Tierra sin la cubierta de los océanos, observaríamos que la corteza terrestre está constituida por grandes placas que se ensamblan como las piezas de un rompecabezas. Quedarían expuestos ante nuestros ojos, una gran variedad de relieves como enormes picos volcánicos, altiplanos extensos, grandes llanuras y fosas muy profundas. La mayor parte del fondo de los océanos está formado por extensas llanuras abisales, que cubren en algunos casos millones de kilómetros cuadrados. Son las zonas más llanas, planas y menos exploradas de todo el planeta. Cubren más del 50 % de la corteza terrestre y son elementos geológicos clave de las cuencas oceánicas.

También serían visibles extensas suturas, por donde brota la lava desde el magma, originando kilométricas dorsales oceánicas, que bordean en algunos casos, los límites entre las placas. Quedarían expuestas ante nuestros ojos, las enormes fracturas y fallas de la corteza marina, con las rugosidades del fondo, como si fuera una gigantesca alfombra arrugada. Estos "pliegues" son las estrías de crecimiento que se forman debido a la fuerza ejercida por el surgimiento de ese magma interior, que al solidificarse continuamente, origina corteza nueva.

Este afloramiento, provoca el lento pero constante movimiento de las placas de la corteza en direcciones divergentes, generando así, el desplazamiento de unos pocos centímetros, de las superficies continentales que emergen sobre el nivel del agua. Se produce así, un cambio muy lento pero continuo en el tiempo, de la distribución continental. La velocidad de desplazamiento de las placas es variable, según las diferentes regiones del planeta, puede alcanzar una velocidad de expansión de 2 centímetros al año en la Dorsal Mesoatlántica, 7 cm en la fosa de Galápagos a 15 cm por año en la del dorsal del Pacífico oriental.

En las zonas de las dorsales oceánicas, comienza la expansión del fondo oceánico. Allí surgen constantemente nuevas capas de basalto desde el interior del manto, que van originando dos alineaciones montañosas con una fosa en el medio de aproximadamente 1,5 km de ancho, denominada eje de la dorsal o valle del rift. El rift es un valle profundo y escarpado, con un corte de V, con mucha actividad volcánica, movimientos sísmicos de poca profundidad y totalmente fracturado, mediante fallas que se van "escalonando", debido a la expansión provocada por la lava saliente. La lava fluye lentamente por las fracturas, se enfría rápido al entrar en contacto con el agua, adquiriendo una forma típica de sección esférica, por lo que reciben el nombre de lava en almohadas. Estas rocas presentan una superficie vítrea pero el interior continúa caliente por mucho tiempo. La diferencia de temperatura provoca la formación de estrías, arrugas concéntricas muy características. Estas rocas pueden adquirir formas diversas: bulbosas, alargadas o tubulares, son abundantes en las zonas activas de la dorsal meso-atlántica, comenzando así, un nuevo ciclo en el fondo oceánico. Han nacido nuevas rocas, que se integran a la litosfera, en este continuo proceso de formación.

El estudio de estas lavas, ha permitido conocer en mayor detalle el fondo oceánico y su dinámica. Estas nuevas rocas basálticas, poseen pequeños cristales de magnetita y otros minerales de hierro, que se imantan y se alinean con el campo magnético terrestre existente en el momento de su formación. A este fenómeno se lo denomina paleomagnetismo y ha permitido conocer que el campo magnético terrestre sufrió varias inversiones en el transcurso del tiempo geológico, desde el inicio de la formación de la Tierra. Si bien, aún no se conocen en profundidad las causas de este fenómeno, en el fondo oceánico, se ha detectado un sistema de bandas magnéticas paralelas al eje de la dorsal oceánica, que son como los anillos de crecimiento de un árbol. Las evidencias demuestran que las "huellas magnéticas" de estas rocas de basalto muestran de manera alternada polaridad normal y polaridad inversa sucesivamente, lo que permite afirmar que fueron originadas unas después de otras y que la lava que fluye continuamente



la fricción entre las placas y mucha actividad volcánica, debido al flujo ascendente de magma a través de las calderas volcánicas, producto de la fusión parcial de la corteza. Debido a que la temperatura y la presión van aumentando con la profundidad, los materiales de la placa que subduce, se funden al alcanzar los 100 km de profundidad aproximadamente.

La formación de los volcanes, las montañas, los arcos insulares y las fosas oceánicas tiene estrecha relación con los procesos de subducción.

Las zonas de la Tierra donde existen placas subduciendo debajo de otras se encuentran en el cinturón de fuego del Pacífico, costa Oeste de América del Sur, América Central, América del Norte, Japón, Indonesia y partes del Mar Mediterráneo. En estas zonas ocurren fenómenos sísmicos de gran magnitud.

Las zonas de subducción son evidencias geológicas muy importantes para conocer y comprender la dinámica de los materiales terrestres. Todo parece tener lógica: en la medida en que importantes cantidades de materiales magmáticos ascienden desde la astenósfera por las fallas de las dorsales oceánicas, tienen que existir necesariamente zonas en donde los materiales reingresen nuevamente en el manto terrestre.

Esta idea fue planteada por el geólogo canadiense Tuzo Wilson, en 1964, quién intenta explicar el origen de los océanos y de las montañas, mediante la teoría de Tectónica de placas. Los océanos comienzan a formarse a partir de un sistema de rift continental, lo que provoca la fractura de la placa en nuevas dos placas, independientes, separadas por una dorsal oceánica. Si esta zona de divergencia, continúa evolucionando, se desarrolla un nuevo océano con dos márgenes continentales pasivos a los lados.

Debido a que la Tierra en cuanto a superficie es constante, no se puede generar corteza oceánica de manera ininterrumpida, por lo que la corteza debe ser “consumida” en algún lugar del planeta. Entonces, uno de los bordes pasivos puede convertirse en activo mediante una zona de subducción, donde la corteza oceánica reingresa al manto, originando profundas fosas marinas. Esta acción puede provocar dos grandes fenómenos: la formación de una cadena montañosa o el estrechamiento y posterior desaparición de una cuenca oceánica, en las fosas marinas.

Debido a que el desplazamiento de las placas se produce en una superficie esférica, esta dinámica es una historia sin fin: las placas tectónicas están reciclándose de un modo continuo, lento en el tiempo, modificando en millones de años la disposición de la corteza terrestre. Algunas placas se alejan debido a las dorsales oceánicas, otras subducen hasta alcanzar el manto y fundirse nuevamente.

De este modo las placas permanecen, se unen, se fragmentan. Nacen océanos, montañas, se cierran océanos y se unen continentes. Esta dinámica es la que ha determinado que los continentes hayan cambiando su distribución a lo largo del tiempo. Este ciclo se ha repetido continuamente desde hace millones de años, a lo largo de la historia geológica de la Tierra. En los diferentes continentes hay vestigios de esta dinámica constante continua, que recicla y origina corteza desde hace millones de años, evidenciados por los restos de la corteza oceánica atrapada dentro de viejas zonas de colisión.

La elevación de la corteza para formar una montaña se debe a su deformación, producto de las grandes presiones horizontales, en las zonas de subducción. Mediante la **isostasia** se pueden comprender los mecanismos de ajustes de los bloques de la corteza relacionados con los movimientos verticales de la misma. Las montañas resultantes de estos movimientos, son producto de un delicado balance entre los factores endógenos que la originaron y los factores exógenos a los que quedan expuestas. Por ejemplo, una nueva montaña una vez en la superficie terrestre, comenzará a ser erosionada, el sedimento será movilizad y la montaña perderá volumen y masa, por lo tanto su base o raíz, se elevará. Porque en realidad, es un equilibrio dado por las diferentes densidades que posee la corteza continental y la corteza oceánica, al disminuir la masa de la montaña, su volumen cambia y por lo tanto su densidad también, entonces su raíz ahora será menos profunda, para compensar la pérdida de material por la acción de factores geológicos externos como la erosión.

Las cadenas montañosas activas serán las más altas, con actividad sísmica y volcánica, en tanto que aquellas donde los procesos que las originaron se han interrumpido, serán montañas inactivas, que terminarán siendo arrasadas por los factores erosivos. En los continentes pueden observarse montañas en distintos momentos de evolución: algunas muy activas como los Andes e Himalaya, que se elevan miles de metros sobre la superficie continental y otras inactivas o “fósiles”, como por ejemplo las de Tandilia y Ventania, en la provincia de Buenos Aires, que se encuentran actualmente, en un avanzado proceso de destrucción. Los movimientos de las grandes placas tectónicas y la cercanía o lejanía a los bordes de las mismas, determinan la actividad o inactividad geológica de las diferentes regiones de la corteza terrestre continental o marina.

## En nuestras pampas... un récord de antigüedad

Las regiones del planeta de escasa actividad tectónica, se caracterizan porque en ellas la corteza continental adquirió un grado tal de rigidez en el pasado geológico que desde ese entonces, no ha sufrido cambios ni deformaciones por diferentes movimientos orogénicos. En nuestro país, se puede mencionar por ejemplo el cratón del Río de La Plata, ubicado en el extremo sur de la plataforma Sudamericana. Los cratones son las partes más antiguas de la corteza continental. En ellos es posible reconstruir los procesos ocurridos en los ciclos orogénicos precámbricos. El cratón del Río de la Plata es el más austral, abarcando el sector del continente que no ha sido afectado por la tectónica andina o caribeana. Es un relicto residual de Gondwana. Incluye Tandilia, el oeste de Uruguay y la isla Martín García en el Río de La Plata. Se puede diferenciar litosfera granítica precámbrica del Archaico y del Paleozoico y Mesoproterozoico, rodeadas de orogénias del Neoproterozoico. Analizando las características físicas y los fenómenos que se han producido a lo largo del lento tiempo geológico, es posible distinguir en la provincia de Buenos Aires, dos zonas claramente diferenciadas: una de llanuras y otras de serranías de escasa altura. Las rocas proterozoicas más australes de América del Sur se extienden sobre la región bonaerense de Tandilia, indicando una prolongada evolución geológica, principalmente dentro de dos ciclos geotectónicos el Transamazónico (Paleoproterozoico 2200 a 1800 ma) y el brasiliano (Neoproterozoico) de poca representación. Las rocas precámbricas que prevalecen allí son gneis, dioritas, granitos además de cuarcitas y calizas paleozoicas. Este sistema también denominado Sierras Septentrionales, se dispone en sentido Noroeste Sudeste, se extiende unos 300 km desde Olavarría llegando hasta la región de la costa en Cabo Corrientes en Mar del Plata, donde se introduce suavemente en el Océano Atlántico. Este sistema junto con el Escudo Canádico (Canadá) y el Escudo Báltico (Finlandia y Suecia), son los más antiguos de nuestro planeta.

La región oriental posee sierras aisladas con mesetas de 400 msnm, cerros bajos y lomas, separados por abras y llanuras onduladas con valles y pequeñas quebradas. También son numerosos los manantiales, las lagunas y arroyos. Sobre los sedimentos precámbricos, emerge la Formación Balcarce, constituida por bancos de ortocuarcitas (arenisca de granos de cuarzo) estratificadas, los que por acción hídrica, forman oquedades que favorecieron la deposición de sedimentos donde es posible encontrar trazas fósiles.

Hace aproximadamente 340 ma, el macizo precámbrico se dividió en dos: Brasilia al Norte y Patagonia al sur, ambos separados por un sinclinal, donde se

fueron acumulando los sedimentos de las eras geológicas posteriores, aquí al SO de la provincia de Buenos Aires, aparece una orogenia sigmoidal que se denomina Sierras Australes y que ocupa además el sistema de la provincia geológica de Ventania. Esta provincia geológica constituye el afloramiento más importante dentro de la placa sudamericana, de una extensa cuenca paleozoica desarrollada en la margen de Gondwana. Otros afloramientos de esta cuenca pueden observarse actualmente en la Antártida, Sudáfrica y Australia, todos ellos sufrieron deformaciones en el Permotriásico. En Ventania los sedimentos de la cuenca, datan del Paleozoico Inferior y Superior, los que sufrieron deformaciones en un único evento, en condiciones moderadas de presión y temperatura. Las Sierras Australes se presentan como cordones subparalelos orientados de NO a SE, con una longitud de 180 km con un ancho de 50 km en la parte central, están cruzadas por números abras. Comienzan al NO en las sierras de Puán y Pigüé. En la parte central, los cordones de Lolén, Mambacher y Esmeralda conectan los cordones orientales y occidentales. En el último tramo, los cordones occidentales que son los más antiguos, que rodean el valle, se transforman en serranías aisladas, finalizando en la parte oriental con la Sierra de La Ventana. En la región sur, los cordones occidentales (más antiguos) y orientales se encuentran separados por el río Sauce Grande. Estudios recientes indicarían que las sierras ya existían en el Cretácico, cuando se consideraba que habían sido elevadas por los movimientos andinos, las investigaciones sobre la evolución geológica de las sierras sigue siendo controversial en la actualidad.

Con respecto al registro fósil de esta región, estudios realizados en las sierras de Tandilia oriental han posibilitado conocer la composición y antigüedad de la paleofauna de los últimos 11.000 años. Esto, además ha permitido, proponer hipótesis sobre los modelos de subsistencia de las sociedades indígenas, ya que el registro fósil se encuentra en regiones que fueron habitadas. La reconstrucción de los posibles paleoambientes de esta zona, se ha bosquejado en base a la información proveniente de cuevas, aleros y abrigos bajo la roca. Esto denota el inicio de una posible actividad humana desde el límite Pleistoceno Holoceno, abarcando el Holoceno medio y tardío. Debido a las características de las sierras, el movimiento y posterior deposición de los sedimentos se ha producido por acción del agua y el viento. Los restos óseos encontrados en algunas regiones dan cuenta de la acción de predadores y del hombre, esto pudo deducirse por los lugares donde fueron hallados y las características que presentaban. El registro corresponde a micromamíferos: como roedores, marsupiales, murciélagos y también ofidios anfibios y aves paseriformes.

En la sierra de la Ventana se ha encontrado restos de fósiles marinos (valvas de conchillas) del paleozoico medio con una antigüedad aproximada de 400 millones de años. Investigaciones de la División de Paleobotánica del Museo de la Plata, encontraron en la formación Lolén de la Sierra de la Ventana registros de Licochytas en sedimentitas de grano fino intercaladas con areniscas finas. Se observaron improntas de tallos herbáceos correspondientes al género *Haplostigma* y micrófilos característicos del género *Haskinsia*, constituyendo el primer registro de plantas fósiles en esta formación del devónico. El hallazgo es muy importante ya que constituye el registro gondawánico más austral de hojas bien preservadas.

### Qhantir qullu qullu (en voz aymará Montaña que ilumina)

*Tengo unas ganas locas de gritar*

*Viva la Cordillera de los Andes*

*Muera la Cordillera de la Costa.*

*La razón ni siquiera la sospecho*

*Pero no puedo más:*

*¡Viva la Cordillera de los Andes!*

*¡Muera la Cordillera de la Costa!*

Nicanor Parra

La cordillera de los Andes es la cordillera más larga de la Tierra, se extiende serpenteante con sus cimas abruptas y afiladas, por 7.240 km de longitud por el lado oriental del continente americano, desde Venezuela hasta Chile, hasta sumergirse en las aguas del Atlántico Sur. Sus elevadas cimas parecen en muchos puntos tocar el cielo, densas nubes y nieves perpetuas las cubren como un velo etéreo. Esta inmensa pared de piedra, ha sido testigo mudo del desarrollo de maravillosas civilizaciones, épicas campañas militares que desafiaron sus escarpadas laderas y numerosas expediciones científicas que quisieron develar sus secretos.

Su origen está relacionado con la ruptura del continente de Gondwana, finalizando el Mesozoico, lo que produjo la apertura del océano Atlántico sur. Este evento separó definitivamente a África de América del Sur, originando un importante proceso de subducción en el borde occidental de la placa, de una placa litosférica oceánica que aún continúa subduciendo por debajo de una placa litosférica continental. La placa de Nazca al ser oceánica, es más densa por lo tanto se introduce

desde el Oeste por debajo de la placa Sudamericana, que es menos densa y más gruesa. Cuando esto sucede, los sedimentos depositados en el fondo oceánico, no subducen, sino que se deforman y se apilan, formando lo que se denomina prisma de acreción, donde los materiales sufren procesos de metamorfismo, debido a la presión a la que están siendo sometidos. Este tipo de orógeno presenta rocas volcánicas, volcanes activos y presenta rocas deformadas por la presión ejercida por la subducción que origina el plegamiento. Si la subducción se detuviera, esta montaña dejaría de ascender y quedaría expuesta a la acción de agentes erosivos. En este proceso de origen, también se forma una fosa oceánica, que evidencia la subducción. Ésta fosa se encuentra cerca de la costa continental, separada de la misma por una zona denominada cuenca antearco de naturaleza sedimentaria.

La subducción provoca el levantamiento y engrosamiento de la corteza continental dando así origen a la cadena montañosa de los Andes. Este tipo de orógeno activo, se conoce con el nombre de tipo andino, cordillera periocéánica o de borde continental. Sus principales componentes son sedimentos marinos plegados y empujados por la placa hacia la superficie, por un lado, y los materiales magmáticos, producto de la fundición de la placa oceánica que se hunde, por el otro. La intensa actividad volcánica y sísmica en algunas zonas de la cordillera, es consecuencia de la subducción. Durante este proceso, se forma un arco volcánico continental donde se encuentran más o menos alineados una gran cantidad de volcanes. Las lavas liberadas son las rocas de la placa oceánica, fundidas en el proceso de subducción.

La zona sísmica de los bordes de las placas se denomina zona de Benioff, debido que fue éste sismólogo quién sistematizó los datos de todos los terremotos que se producen en una zona de subducción (junto a uno de los lados de la fosa oceánica) y al unir los puntos de los focos, comprobó que dibujaban un plano inclinado. Este plano indica la inclinación con la que subduce la placa oceánica por debajo de la placa continental menos densa. Los hipocentros de los sismos se presentan a mayor profundidad a medida que aumenta la distancia a la fosa oceánica. La inclinación del plano de Benioff no es la misma en las diferentes zonas de subducción de la Tierra, pero el ángulo entre el plano y la horizontal suele ser siempre menor a 45°. Cuanto mayor es el ángulo, mayor es la intensidad de los sismos, debido a esto, cuanto mayor es el ángulo del plano de Benioff en las márgenes continentales, mayor es la posibilidad de actividad volcánica, ocurrencia de Tsunamis, como por ejemplo en la costa sudamericana desde Chile hasta Colombia.

En el caso de la cordillera de los Andes el ángulo del plano es de 20° y 30°, existiendo zonas en particular, donde el fondo del océano subduce en forma casi

horizontal en una longitud de cientos de kilómetros, retomando su ángulo inicial de 30°, casi 600 kilómetros más allá de su punto de origen. Por lo tanto, la evolución del proceso de subducción entre las placas a lo largo de la cordillera andina, no es tan uniforme como se pensaba. Se han producido muchos cambios en las velocidades de convergencia y en la naturaleza de las rocas oceánicas que subducen, esto le ha dado características muy variadas y particulares a las diferentes secciones de la cordillera en toda su extensión.

Esa subducción horizontal, hacen que existan a lo largo del cordón montañoso puntos de gran altura como el Aconcagua (6.962 msnm) en la Argentina, el Huascarán (6.746 msnm) en la Cordillera Blanca en el Perú y el pico Bolívar (4.978 msnm) en la cordillera de Mérida en Venezuela.

El proceso de subducción viene ocurriendo desde hace unos 130 millones de años aproximadamente, pero esas montañas altas son relativamente más jóvenes, solo tienen unos 20 millones de años. En todo este tiempo, las velocidades de convergencia han sido variables, por lo que esta cordillera presenta características variadas en toda su extensión.

Si se analizan diferentes secciones de la cordillera en Argentina y Chile, es posible notar como esas diferencias de ángulo, determinan las características del relieve a lo largo de la misma.

En el sector norte de los Andes Centrales, desde el límite con Bolivia hasta los 27° S en Catamarca, por ejemplo, el ángulo de subducción, es de 30° de inclinación. La compresión originó una zona plegada y corrida que se extiende hasta 700 km de distancia del borde continental. Esta zona, coincide con el levantamiento de la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas. La faja activa de deformación, apilamiento y contracción marca el límite entre la zona de piedemonte con capas plegadas y falladas y la llanura chaco-salteña, donde las capas sedimentarias más jóvenes se disponen horizontales y sin deformación. En la cordillera catamarqueña, sobre el límite argentino chileno, se encuentra el volcán más alto del mundo, el Nevado Ojos del Salado con 6.891 msnm. Si bien no hay registros de erupciones recientes, la actividad volcánica se manifiesta por la presencia de numerosas fumarolas, emisión esporádica de gas y cenizas. Es probable, que su principal erupción haya ocurrido hace unos 1500 años. Resulta muy difícil un seguimiento de su actividad debido a su ubicación, así como también fue polémica la determinación oficial de su altura. Es un estratovolcán que se encuentra en la parte media de una línea volcánica de este sector, su cráter ha sucumbido y del lado argentino, uno de sus cráteres presenta un pequeño lago que sería el más alto del mundo al ubicarse a los 6.390 msnm.

El sector de los Andes Centrales del sur, presenta características geológicas particulares entre los 28° S en Catamarca y 33° S en Mendoza. El ángulo de subducción es de entre 2° y 5°, por lo cual el plano de subducción tiende casi a horizontalizarse, por ello se denomina zona de "flat slab" o subducción plana. Esto, junto con el fuerte acoplamiento entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana explican la ausencia de un vulcanismo activo. La litosfera oceánica se hunde, se calienta y se "seca" sin entrar en contacto con las rocas fundidas del manto, por lo tanto no hay producción de magma al entrar en contacto con la litosfera continental, lo que genera la falta de una cadena volcánica activa. Esta sección, abarca el sur de Catamarca, La Rioja, San Juan y Norte de Mendoza, también se caracteriza por presentar una importante faja plegada y corrida de la Precordillera, que casi está en contacto con las Sierras Pampeanas, montañas de bloques de basamento cristalino del Precámbrico y del Paleozoico superior delimitadas por fallas inversas, que son una evidencia de una contracción importante durante la orogenia andina.

El segmento de subducción horizontal se caracteriza por una intensa actividad sísmica por debajo de las Sierras Pampeanas, que estaría indicando que el basamento cristalino se está fallando y apilando por fallas inversas, lo que ha provocado terremotos en el pie de monte cuyano destruyendo en el pasado las ciudades de Mendoza en 1861, La Rioja en 1899 y San Juan en 1944.

En la sección sur a los 33° 21' S el plano de Benioff vuelve a denotar una subducción normal, donde la litósfera oceánica se hunde con un ángulo de 30° por debajo de la continental. La faja plegada y corrida, avanza solo 300 km del borde continental, aún cuando el ángulo de subducción es similar al del sector norte, los efectos son más reducidos debido a una edad más joven de la corteza oceánica, lo que genera una menor deformación y una sismicidad activa de menor magnitud que los sectores norte y central. Aquí se encuentra otro de los volcanes más altos del mundo, el Tupungato, de 6.570 msnm, que en voz huarpe significa "mirador de estrellas". Este volcán extinto en el pleistoceno, marca el inicio de una cadena volcánica que se extiende hacia el sur.

## Un desierto volcánico digno de admirar

Más al sur y aún en la provincia de Mendoza, se encuentra el volcán Payún Matrú, dentro de la reserva natural La Payunia. Esta región se caracteriza por presentar un paisaje casi lunar, bello, solitario con extensas planicies basálticas y campos de bombas volcánicas y piedra pómez casi intactas, debido a la juventud de sus últimas erupciones, ocurridas hace menos de 10.000 años. La aridez del paisaje invita a trasladarse en el tiempo e imaginar los procesos volcánicos que dieron lugar a ese lugar imponente. Desde el punto de vista geológico, ha sido clasificada como una provincia volcánica basáltica neogena cuya antigüedad puede ser de unos 23 millones de años. Las características tectónicas están asociadas como ya se ha descrito, a la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana y es considerada la faja volcánica más oriental ubicada entre la placa continental y la de subducción, llamada retroarco.

El Payún Matrú se eleva por sobre la planicie unos 1.500 metros. Es un volcán escudo y el de mayor altitud y dimensión de toda la región, su base tiene un diámetro aproximado de 28 km. Presenta numerosos volcanes adventicios en sus flancos que le imprimen características particulares, así como también, la diversidad de formas de sus lavas. Posee una enorme caldera de 8 km de diámetro producida por el desplome y hundimiento de la porción superior, donde se forma una laguna en épocas lluviosas. Presenta más de 300 centros eruptivos a lo largo de una fisura que corre de Este a Oeste, a lo largo del escudo.

En 1982 fue declarada reserva natural, al ser un sitio geológico privilegiado debido a la variedad de procesos volcánicos y la conservación de las formas, ha sido declarada Parque Volcánico, a los fines de promover la enseñanza del vulcanismo en todos los niveles.

Las diferencias en la subducción a lo largo de la cordillera de los Andes, es lo que le imprimen las características propias y distintivas en toda su extensión. Si bien aquí se han analizado solo algunas de ellas a modo de ejemplos de nuestro país, habría muchos más para tener en cuenta.

## La morada de nieve: el Himalaya

Hace 45 millones de años, se produjo la "colisión" de la placa continental que contenía a la India contra la placa euroasiática, fenómeno que originó una de las regiones más elevadas de nuestro planeta, con casi 9 km de altura sobre el nivel

del mar. El nacimiento del Himalaya surgió de un modo impetuoso, si consideramos los tiempos geológicos de nuestro planeta.

Este sistema montañoso se extiende formando un arco de Este a Oeste de 2.500 km de longitud, con un ancho de Norte a Sur de 350 km.

Hace millones de años la India se encontraba unida a Australia, la Antártida conformando con África y Sudamérica el bloque continental del hemisferio sur: Gondwana. Como una hija rebelde que se desprende de sus raíces, la India se fragmentó del gran continente y se movilizó hacia el Norte, a una velocidad de 11 metros por siglo, hasta no poder detener su viaje y colisionar finalmente contra Asia e introducirse debajo de ella. La velocidad y la distancia recorrida en el desplazamiento, se atribuyen a la delgadez de la placa. La presión originada por este choque, se alivió empujando, lanzando y elevando hacia la superficie, una enorme cantidad de sedimento oceánico del antiguo mar de Tethys. La caracterización de las rocas del Himalaya es importante para conocer su historia geológica, ya que permite la reconstrucción de la historia de una de las colisiones tectónicas más espectaculares del planeta. Tal fue así, que en la actualidad se pueden encontrar restos de fósiles marinos a 5.000 m de altura.

El análisis de la composición de las rocas de dos regiones del Himalaya, muestran evidencias que hubo dos colisiones por separado. En su impetuoso viaje hacia el Norte, habría tenido una primera colisión con un grupo de islas, previo a embestir a Eurasia, 10 millones de años después. La parte del océano de Tethys que separaba ambas placas, desapareció completamente hace casi 50 ma. Después de este hecho, la subducción de la placa se volvió más lenta, aunque aún se puede medir un desplazamiento de 2 centímetros al año. Los espectaculares picos aserrados del Himalaya, son una consecuencia de este "brutal" proceso geológico. Allí se agrupan 9 de las 14 montañas más altas de la Tierra. Entre ellas se encuentra el punto más elevado de la corteza terrestre: el monte Everest con 8.848 metros sobre el nivel del mar. El Himalaya se extiende cerca de 2.800 km y presenta la mayor tasa de elevación tectónica: 1cm/año en el Nanga Parbat, la montaña más alta de Pakistán con 8.125 msnm.

Hacia 1850, la montaña más elevada de la Tierra era conocida con el nombre de Pico XV, los indúes la denominaron *Sagarmartha* cuyo significado es "Cima del cielo" y los tibetanos *Chorno Lugma* o "Diosa Madre de la Tierra". Los ingleses, en 1862 la denominaron Everest, en honor a sir George Everest, quien años anteriores había encabezado una expedición para cartografiar las alturas de las montañas. El Himalaya posee numerosos glaciares como el Siachen que es el más grande del mundo fuera de una región polar, el Khumbu en el Monte Everest y

el Gangotri donde se origina el Ganges, que recorre las llanuras del Norte de la India hacia el Sureste. En Bangladesh el Ganges se une con el Brahmaputra, para desembocar en el Golfo de Bengala originando el delta más grande del mundo.

Al sur, del Himalaya se ubican las tierras bajas de la India y al Norte la meseta del Tibet y Nepal. La meseta tibetana es la más grande y alta del mundo, con una superficie de 2,5 millones de km<sup>2</sup>, casi del tamaño de nuestro país, se conoce también como el “techo del mundo” con una altura media de 4.500 msnm. La meseta del Tibet resitió cuatro períodos glaciaciones y tres interglaciares. En el Himalaya se han encontrado restos fósiles marinos como equinodermos, braquiópodos y cefalópodos, con una antigüedad de 450 ma, corresponderían al período Ordovícico.

### Señales de humo: un mensaje desde las profundidades

*“Creo que el Principito aprovechó la migración de una bandada de pájaros silvestres para su evasión. La mañana de la partida, puso en orden el planeta. Deshollinó cuidadosamente sus volcanes en actividad, de los cuales poseía dos, que le eran muy útiles para calentar el desayuno todas las mañanas. Tenía, además, un volcán extinguido. Deshollinó también el volcán extinguido, pues, como él decía, nunca se sabe lo que puede ocurrir. Si los volcanes están bien deshollinados, arden sus erupciones, lenta y regularmente. Las erupciones volcánicas son como el fuego de nuestras chimeneas. Es evidente que en nuestra Tierra no hay posibilidad de deshollinar los volcanes; los hombres somos demasiado pequeños. Por eso nos dan tantos disgustos”.*

*Antoine de Saint Exupery “El Principito”*

Básicamente, los volcanes podrían definirse como la comunicación del interior terrestre, más precisamente la astenósfera con la litósfera, ya sea oceánica o continental. Por los volcanes surge a la superficie terrestre el magma en forma de gases, lava y cenizas. La actividad volcánica permite la génesis de nueva corteza terrestre y conocer las características de la astenósfera, ya mencionadas en el capítulo 2.

Los volcanes, así como otros procesos naturales, han despertado la curiosidad humana desde tiempos muy remotos, tal es así que muchas culturas antiguas incluyen su presencia entre sus dioses. En la mitología romana se denominaba Vulcano, al dios del fuego y los volcanes, era el creador de las armas y las armaduras forjadas en hierro. Se lo reconoce como hijo de Júpiter y esposo de Venus,

la diosa del amor, los romanos consideraban que su fragua se encontraba debajo del monte Etna en Sicilia.

La presencia de volcanes está asociados a los bordes de las placas tectónicas, reafirmando lo que señala la teoría de tectónica de placas que la corteza terrestre no es uniforme, sino que está constituida por placas de diferente tamaño que se mueven lentamente por las corrientes de convección producidas en el manto como ocurre en las zonas de subducción en los bordes convergentes o en las zonas de dorsales oceánicas en los bordes divergentes. Aunque es posible encontrar algunos volcanes en regiones distantes de los bordes de placas, principalmente debajo de los océanos en zonas denominadas puntos calientes. Los puntos calientes pueden originar en las placas oceánicas arcos de islas volcánicas como es el caso de Hawaii, en el Océano Pacífico Norte, Galápagos en el Pacífico medio, Pascua en el Pacífico Sur o las islas Kerguelen en el Océano Índico, siendo este último, el más antiguo de la Tierra con una edad aproximada de 130 ma.

Los volcanes, por lo general, presentan un cono volcánico constituido por lavas solidificadas a lo largo de millones de años, en su interior la cámara magmática comunica directamente con el manto y que puede alojar magma y gases que saldrán al exterior por la chimenea que desemboca en el cráter del volcán.

Los volcanes pueden clasificarse teniendo en cuenta diferentes criterios. Si se considera la frecuencia de su actividad, para los vulcanólogos existen volcanes activos que son aquellos que muestran algún tipo de actividad como emisión de gases, movimientos sísmicos, fumarolas, aguas termales, aún cuando su última erupción de lava haya ocurrido hace unos 10.000 años. El Vesubio, es uno de los ejemplos más dramáticos y recordados de la historia de las erupciones, cuando en el año 79 dejó sepultadas las ciudades de Pompeya y Herculano. Es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo. Existen registros de aquella terrorífica erupción realizados por Plinio el joven, quién describió con asombroso detalle, como la densa y gigante nube piroclástica se precipitaba por las laderas de la montaña, cubriendo todo lo que hubiera a su paso, sembrando la desesperación y el horror en los habitantes de Pompeya y Herculano. Plinio el joven se encontraba distante en Miseno, en cambio su tío Plinio el viejo, decidió que era más interesante observar este fenómeno más de cerca, arribando a la zona desde el mar. Su misión también permitió el rescate de varias personas, pero Plinio el viejo y algunos de sus hombres no pudieron regresar y murió en el lugar probablemente por la inhalación de ceniza volcánica y gases sulfurosos despedidos por la montaña. Su cuerpo fue encontrado intacto, dos días después.

Los geólogos han analizado las características magnéticas de las rocas encontradas en Pompeya, determinando que las mismas alcanzaron una temperatura entre los 240 °C y 340 °C, lo que indicaría que la nube piroclástica alcanzó una temperatura de 850 °C al momento de ser expulsada por el cráter del volcán. Este tipo de erupción tan violenta, con una gran cantidad de gases, fragmentos de rocas ígneas y con mucha liberación de cenizas, que pueden originar plumas orientadas hacia la atmósfera de varios kilómetros de extensión, se conocen como plinianas en honor a los dos Plinios, tío y sobrino.

En nuestra cordillera en el parque nacional Nahuel Huapi se encuentra un ejemplo de volcán activo: el Tronador ubicado a unos 3491 msnm, predomina sobre los demás cerros. Se cree que su última erupción habría ocurrido en el Holoceno. Su nombre hace referencia a los ruidos semejantes a truenos producidos al desprenderse enormes bloques de hielo de los 7 glaciares que posee. Una característica llamativa es que en su base existe una región donde los hielos se tiñen de negro debido a los sedimentos y arenas que transportan, esa zona se ha denominado el Ventisquero Negro.

Un ejemplo más reciente es la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle en Chile el 4 de Junio de 2011. Hubo una impresionante expulsión de cenizas, arena y piedra pómez, alrededor de cien millones de toneladas, que cubrieron regiones chilenas y argentinas. El viento orientó la pluma volcánica hacia el Este, llegando cenizas hasta la ciudad de Buenos Aires. Casi veinte días después, comenzó a fluir lentamente una lava viscosa con dirección hacia el Oeste. Al mismo tiempo que los vientos hicieron que las cenizas alcanzaran la ciudad de Auckland en Australia. Este complejo volcánico está ubicado en el parque Nacional Puyehue, está constituido por el estratovolcán Puyehue, un sistema volcánico fisural el Cordón Caulle, un volcán del plioceno el Mencheca y una caldera volcánica Cordillera Nevada, estos dos últimos fuertemente erosionados por la acción de los glaciares. Éste complejo es uno de los principales lugares de explotación geotérmica de Chile.

Los volcanes inactivos o también llamados “dormidos”, son aquellos que manifiestan alguna actividad volcánica como las mencionadas anteriormente pero que no ha presentado períodos eruptivos de lava en los últimos milenios. En nuestro país no hay volcanes inactivos, la bibliografía menciona al Cerro Escorial, ubicado en Salta en el límite con Chile, a unos 5.454 msnm, el cual no ha presentado erupciones en los últimos 342.000 años.

Y finalmente existen los denominados volcanes extintos que son aquellos que no han presentado ningún tipo de actividad volcánica ni eruptiva que mani-

fieste cambios en los registros geoquímicos y geotérmicos en períodos mayores a 25.000 años. El Kilimanjaro en Tanzania es un estrato volcán que posee tres cráteres extintos, se considera que no ha entrado en actividad desde que los primeros homínidos habitaron África. Su altitud de 5.897 msnm, lo convierten en la montaña más alta de África, los primeros registros de su existencia datan del siglo II DC y fueron realizados por el astrónomo egipcio Ptolomeo quién la describe como una “gran montaña blanca”, haciendo alusión quizás a los famosos campos de hielo que poseen en su cumbre, que han reducido dramáticamente su superficie desde el año 1900, estimándose que podrían desaparecer totalmente hacia el año 2020. Su nombre en voz suajili *Kilima Njaro* significa “montaña brillante” o “montaña del resplandor”. Fue declarado patrimonio de la humanidad por la Unesco en 1987. África es el continente con más volcanes inactivos.

## Kamchatka al este de Java

El Cinturón de Fuego del Pacífico o Cinturón Circumpacífico se ubica en el Océano Pacífico, siguiendo los bordes de la placa del Pacífico que es la más grande de la Tierra y una serie de placas de menor tamaño, que en conjunto determinan una dinámica característica de esta zona. Se denomina Cinturón de Fuego debido a la distribución de una gran cantidad de volcanes siguiendo los bordes de las placas oceánicas. El fondo del Pacífico es una zona muy activa desde el punto de vista tectónico, aquí hay gran actividad sísmica y volcánica, lo que produce periódicamente terremotos, tsunamis y erupciones de lava o de nubes piroclásticas. El cinturón se extiende alrededor del Océano Pacífico y las costas de América, Asia y Australia. Existe una verdadera línea volcánica desde la península rusa de Kamchatka a Japón y a Nueva Zelanda y desde la cordillera de los Andes a México, a California hasta Alaska. Este camino de volcanes tiene una extensión de 40.000 km y en su recorrido concentra el 75% de los volcanes activos e inactivos de la Tierra. El fondo del océano está formado por 4 grandes placas: la placa de Juan de Fuca que subduce desde el este por debajo de la placa Norteamericana dando origen a las sierras californianas y a la cadena volcánica de Cascadia. Hacia el oeste limita con la placa del Pacífico, de la que se aleja lentamente originando en el fondo marino la dorsal Juan de Fuca. Hacia el sur limita con la falla de San Andrés, que es un límite transformante entre las placas del Pacífico y la Norteamericana, donde no se producirá el surgimiento de montañas, ni volcanes o mares, pero si existirá una gran actividad sísmica debido a la fricción de una placa

con otra, generando fallas de desgarre como la de San Andrés. La placa Juan de Fuca, junto con la placa de Cocos y la de Nazca, son los fragmentos remanentes de la placa Farallón.

La Placa de Cocos diverge de la placa del Pacífico y de la placa de Nazca, para subducir por debajo de la placa Norteamericana y la placa del Caribe, cuya zona emergida corresponde a América Central. En el límite sur con la placa de Nazca se van originando dos dorsales oceánicas: la de Cocos que corre entre Panamá y las Islas Galápagos y la dorsal de Galápagos. El terrible terremoto de 1985 en la ciudad de Méjico es producto de la subducción por debajo de la placa Norteamericana y los terremotos de El Salvador en el 2001 y de Guatemala en el 2012, fueron consecuencias de la subducción por debajo de la placa del Caribe.

La placa de Nazca, subduce como ya se ha explicado por debajo de la placa Sudamericana y ha originado la cordillera de los Andes y la fosa peruano-chilena o fosa de Atacama, que delimita el contacto de litosfera oceánica de Nazca con la litósfera continental de la placa Sudamericana y que tiene una profundidad aproximada de 8000 metros.

Hacia el Norte la placa del Pacífico subduce por debajo del arco de las islas Aleutianas, hacia el oeste se introduce a lo largo de la península volcánica de Kamchatka y la isla de Japón, generando la fosa de Japón. La ciudad de Tokio está ubicada encima del punto de convergencia de tres placas tectónicas, por lo que son sumamente frecuentes los movimientos sísmicos. En Marzo de 2011, Japón sufrió uno de los terremotos más devastadores de su historia. Con una magnitud 8,9 en la escala de Richter, el epicentro se localizó en el mar a unos 130 km de la costa y a una profundidad de 24 km al Noreste de la isla de Honshu, la principal isla de Japón. El tsunami producido, impacto de lleno con la ciudad costera de Sendai, con olas que alcanzaron los 10 metros de altura, las que arrasaron y destruyeron todo lo que encontraron a su paso, dejando muerte y desolación. Más de 16.000 japoneses fueron víctimas mortales de las grandes olas. Desde 1973 la zona de subducción del Japón ha producido nueve terremotos de magnitud 7 o superiores. Se cree que el terremoto del 2011 se produjo por un desplazamiento ocurrido en la zona de interfase donde la placa del Pacífico subduce por debajo de la placa Norteamericana. Mediante el análisis de imágenes satelitales, se determinó que la isla de Honshu sufrió un desplazamiento hacia el Este de un poco más de 2 metros. Las alertas de posibles tsunamis, como secuelas de la gran magnitud de energía liberada, a raíz de este movimiento, también se hicieron para las costas de Alaska, Sudamérica, la Polinesia y Australia, donde llegaron olas de menores dimensiones, que no produjeron mayores problemas. Como consecuencia de la

magnitud del tsunami la central nuclear de Fukushima Daiichi, provocó una fuga radioactiva, que agravó aún más la situación. A pesar que muchas veces se intenta minimizar estos accidentes, se encontraron niveles de lodo radioactivo en el agua marina 1000 veces más altos de lo normal, así como también se detectó Plutonio fuera de los reactores nucleares, a pesar que solo uno de ellos trabajaba con este elemento. En diversos lugares de Europa y en la costa Californiana se detectaron lodo y Cesio radioactivos proveniente de Japón. Finalmente las autoridades japonesas debieron reconocer que era el accidente nuclear más grave después del ocurrido en la central de Chernobyl, en Ucrania en 1986 y declararon que la central no pudo volver a ser funcional y será desmantelada cuando se logren controlar los niveles de radioactividad. El conocimiento de la situación geológica y tectónica de Japón, ¿no es suficiente para ser prudentes en el uso de la energía nuclear como fuente de suministro de energía eléctrica? Japón es el tercer país en el mundo con mayor número de centrales nucleares ¿Es inevitable la existencia de 17 plantas con 55 reactores en funcionamiento? ¿Existen otras alternativas energéticas eficientes y sostenibles? Esto sería tema de debate y discusión, para otro libro, pero no se puede desconocer la dinámica de nuestro planeta y que los movimientos seguirán ocurriendo como lo vienen haciendo desde el inicio de su formación hace aproximadamente 4.600 millones de años.

Retomando con los movimientos que se producen en la placa del Pacífico, al suroeste subduce por debajo de la placa Filipina, originando una serie de arcos volcánicos insulares, en esta región es donde se encuentra la fosa de las Marianas, a la que se hizo referencia al principio de este capítulo.

El océano Pacífico tuvo su origen a partir de Panthalassa (del griego “todos los mares”) que rodeaba al supercontinente de Pangea (del griego “todas las tierras”), cuando comienza su fragmentación hace unos 200 millones de años aproximadamente, lo que produce el origen de las cuencas del Atlántico, del Índico y del mar Ártico. El posterior ensanchamiento de estos océanos delimitó el tamaño del Pacífico. Esta fragmentación se explica en detalle en el capítulo 5.

*“Desde tan lejos, puede que la Tierra no parezca muy interesante. Pero para nosotros es diferente. Fíjate de nuevo en ese punto. Eso es aquí. Es nuestro hogar. Somos nosotros.*

*Ahí viven o han vivido todos tus seres queridos, todas las personas a las que conoces, todo aquel de quien hayas oído hablar alguna vez, todos los seres humanos que han existido jamás. La suma de todas nuestras alegrías y sufrimientos. Miles de religiones, ideologías y doctrinas económicas tan seguras de sí mismas, todos los cazadores y recolectores, todos los héroes y todos los cobardes, todos los creadores y destructores*

*de civilizaciones. Todos los reyes y todos los campesinos, todas las parejas de jóvenes enamorados, todas las madres y padres, todos los niños esperanzados, todos los inventores y exploradores, todos los profesores de ética, todos los políticos corruptos, todas las superestrellas y todos los líderes supremos, todos los santos y todos los pecadores de la historia de nuestra especie vivieron allí. En la mota de polvo. Suspendida en un rayo de Sol.*

*La Tierra es un escenario muy pequeño en la inmensidad del cosmos. Piensa en los ríos de sangre que han hecho correr todos esos generales y emperadores para que, entre el triunfo y la gloria, pudiesen proclamarse los amos fugaces de una pequeña parte de un punto. Piensa en las incontables crueldades cometidas por los habitantes de un rincón de este punto sobre los habitantes, apenas distinguibles, de alguna otra parte del punto. Cuán frecuentes sus malentendidos, cuán ávidos están de matarse los unos a los otros, con cuánto fervor odian. Nuestros "postureos", nuestra supuesta importancia, el espejismo de que ocupamos una posición privilegiada en el universo, todo eso quedan en entredicho ante ese punto de luz pálido.*

*Nuestro planeta es un solitario grano de polvo en la gran penumbra cósmica que todo lo envuelve. En nuestra oscuridad, en toda esa inmensidad, no hay ningún indicio de que nadie vaya a venir en nuestra ayuda para salvarnos de nosotros mismos. La Tierra es el único mundo conocido hasta ahora que alberga vida. No hay ningún otro lugar, al menos en el futuro próximo, al cual nuestra especie pudiera migrar. ¿Visitar? Sí. ¿Colonizar? Aún no. Tanto si nos gusta como si no, en este momento la Tierra es donde nos vamos a quedar.*

*Se dice que la astronomía es una experiencia de humildad, y que forja el carácter. Puede que no haya mejor demostración de la locura de la soberbia humana que esta distante imagen de nuestro minúsculo mundo. Para mí, recalca la responsabilidad que tenemos de tratarnos los unos a los otros con más amabilidad y compasión, y de preservar y querer ese punto azul pálido, el único hogar que jamás hemos conocido, el punto azul pálido".*

Carl Sagan (ver <http://www.poramoralaciencia.com/2013/10/21/carl-sagan-un-punto-azul-palido-2/>)

Ese punto azul pálido como lo describe Carl Sagan en su relato, hace referencia a una fotografía de la Tierra tomada por la sonda Voyager I en 1990 a unos 6.000 millones de km. La Tierra se observa como un punto de luz casi insignificante en la oscuridad del Universo. Las reflexiones de Sagan nos permiten identificar a ese planeta azul como nuestro lugar en el Universo, sobre el que se desa-

rolló la humanidad, la que intenta develar preguntas sobre el origen y evolución de la Tierra, comprendiendo los procesos globales que se sucedieron desde su génesis hasta la actualidad y que determinan su funcionamiento como un sistema, donde las interacciones entre los diferentes subsistemas terrestres: geosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera son como los engranajes de un mecanismo que continuará funcionando por algún tiempo más.

## CAPÍTULO IV

# *Geodinámica Global*

Ángel Alejandro Baldovino

### Del magma a las rocas

Cuando se habla de la Geodinámica global, es inevitable hacer referencia a la descripción de los procesos que han provocado y continúan provocando cambios en el modelado de nuestra superficie terrestre. Es decir, que todos los movimientos que son producidos en su interior y exterior, son componentes de lo que se denomina geodinámica global.

En nuestro planeta podemos apreciar la dinámica exógena, o bien llamada dinámica externa, representada por los ciclos de la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y en gran parte la litósfera y sus interacciones. Esto se conoce como ciclo geológico, y entre este ciclo, el más conocido, es el ciclo de las rocas. Entre las rocas, la más preponderante es la roca ígnea, ya que la mayor parte de la corteza terrestre está formada por ella, y cubierta por una delgada capa de rocas sedimentarias

El magma es el material fundido, que una vez enfriado y solidificado, por procesos de cristalización, puede producirse debajo de la corteza terrestre o bien en la superficie externa) dando como resultado a las rocas ígneas (o de fuego).

Existen diferentes tipos de rocas, y pueden ser clasificadas en tres grandes grupos, según su origen: ígneas, (plutónicas, volcánicas, filonianas), metamórficas y sedimentarias.

*Rocas ígneas:* estas se forman cuando el magma o las rocas fundidas se enfrían. Esto sucede rápidamente en la superficie o lentamente en el interior de la corteza terrestre,

*Rocas plutónicas:* se forman al enfriarse el magma en el interior de la Tierra y presentan cristales grandes, compuestos principalmente de cuarzo, feldespato y micas.

*Rocas volcánicas:* se generan cuando el magma se enfría a baja temperatura y presión. Tienen aspecto esponjoso, como el basalto.

*Rocas filonianas:* a diferencia de las rocas plutónicas y volcánicas, estas se forman en el interior de grietas o fracturas, donde las presiones y temperaturas no son tan elevadas.

*Rocas metamórficas:* se forman a partir de cambios en la composición mineralógica y textural de otras rocas, debido a cambios en la presión y temperatura, las que aumentan con la profundidad. Para que se desarrolle el proceso de metamorfismo en la roca, esta debe recibir una presión de 2 Kilobar (Kb), un bar = 1 atmósfera.

*Rocas sedimentarias:* Se forman sobre la superficie terrestre, cuando se depositan materiales formando capas. En caso de formarse por trozos de otras rocas, por compuestos químicos y orgánicos, se la reconoce como detríticas o clásticas, clasificándose de acuerdo a los tamaños de los trozos que las componen:

- Conglomerados (Psefitas): constituida por fragmento de tamaño mayor a 4 mm.
- Areniscas (Psamitas): granos de tamaño entre 1/16 (0,062 mm) y 4 mm. En ellas las partículas con tamaños entre 2 y 4 mm se denominan gránulos.
- Limos y arcillas (Pelitas): granos menor a 1/16 mm.
- Químicas y orgánicas: se forman a partir de precipitaciones de determinados compuestos químicos o bien por acumulaciones de sustancias orgánicas. Las calizas formadas por restos orgánicos de corales y algas, son ejemplo de ello.

Muchas veces contemplamos bellos paisajes, o simplemente los vemos por diversos medios, como revistas, televisión, películas, etc. La novela "Viaje al centro de la Tierra" de Julio Verne, cuenta la historia de un profesor, su sobrino y un guía, que ingresan por un volcán, hacia el interior de la Tierra. Allí viven increíbles experiencias. Descubren, por ejemplo, un mar interior y un mundo mesozoico enterrado en las profundidades. A medida que avanzan en su viaje, encuentran agua, vegetales en formas de hongos, esqueletos de animales y hasta restos humanos. Pero en un determinado momento, cuando la expedición parecía haber

llegado al centro del Tierra, despertó el volcán y fueron expulsados al exterior de la superficie terrestre

Veamos qué encierran los paisajes endógenos y qué son las fuerzas desde el interior de la Tierra que van originando nuevas formas de relieve. Los procesos endógenos son corrientes continuas de materias, que van en forma de corrientes de convección, y una vez que alcanzan la superficie terrestre irán generando nuevos procesos geológicos, como los movimientos orogénicos, que determinan el surgimiento de las montañas, y la formación de océanos. El fenómeno de la orogénesis está dado por un conjunto de procesos que van formando las cordilleras. La misma se origina por una fuerza desde el interior de la Tierra, esta causa un plegamiento y la deformación de los materiales de la corteza terrestre debido a movimientos compresivos.

En síntesis, una cordillera representa un peso sobre la litósfera continental. Muchas veces, una inflexión de la placa genera una depresión, que se llena de los productos de la erosión de los sectores montañosos, que son acarreados por los ríos, glaciares y los vientos hacia los sectores más bajos. Para hablar de "cordillera", tomaremos como ejemplo a una de las más espectaculares: la cordillera de Los Andes. Esta cadena de montañas es muy variable en altura y desarrollo longitudinal (la cual actúa, en el caso de nuestro país, como límite natural con Chile). Mientras que los Andes patagónicos son cadenas montañosas de 2000 a 3000 m de altura y que excepcionalmente llegan a los 3500 m. Los Andes del norte y centro de Argentina y Chile son murallas que sobrepasan los 6000 m de altura.

Un acontecimiento sorprendente es lo que está sucediendo en el Himalaya. La misma se halla en un proceso de colapso, en los lugares que han superado los siete kilómetros de altura. Esto también ocurre en el segmento de subducción normal de Cordillera principal, en la Cordillera de Los Andes, al sur de la Provincia de Mendoza, en la zona de subducción normal. Por el contrario, en el segmento del "flat-slab" (subducción plana), en San Juan, La Rioja, Catamarca y norte de Mendoza, se está produciendo una elevación de la cordillera.

## Agentes modeladores del relieve terrestre

El colapso de una montaña se da por las modificaciones que surgen en su régimen de interacción. Entre las placas que se van a aproximando, y entre las partes del sistema de subducción. Ahora bien, si se produce una disminución de la velocidad de convección de una placa en proceso de subducción, puede que provoque una caída en la compresión que dio origen a un sistema montañoso y entre en un colapso. Es por estas circunstancias que las cordilleras montañosas pueden sufrir derrumbes ante ciertas condiciones, ya que sus raíces pueden tornarse inestables y arrancarse de la litósfera. Es decir, que a medida que crece una cordillera, también deben crecer sus raíces. Durante el proceso de crecimiento, va descendiendo en el manto y de este modo, los materiales que las forman son sometidos a condiciones de temperaturas y presiones extremas. A medida que esto sucede, los minerales que se hallaban alojados en la raíces de las montañas se van transformando en más densos, y esto puede provocar la inestabilidad de las mismas. Por este motivo, muchos sistemas montañosos pierden sus raíces durante este proceso, que se conoce con el nombre de delaminación. En esta circunstancia analicemos la analogía del barco carguero como lo describen Folguera y Spagnuolo (2010), quienes manifiestan que “si súbditamente volcamos la enorme carga de un barco en el mar, este que se encuentra deprimido en las aguas debido al enorme peso que soportaba, tenderá rápidamente a alzarse. Eso pasa exactamente, con las cordilleras que pierden sus raíces por delaminación, se alzan al haber perdido el peso que las anclaba al manto.”

Entre los agentes modeladores del relieve, se hallan la meteorización y la erosión. Son dos procesos que tallan y pulen lentamente las rocas, convirtiéndolas en grandes obras arquitectónicas. Es de vital importancia destacar que tanto la meteorización como la erosión, son independientes una de la otra. La meteorización es la fractura y fragmentación de las rocas por diferentes agentes químicos y físicos. Este fenómeno hace más pequeño el material sobre el que después actúan los procesos erosivos. La erosión es la que arrastra los fragmentos restantes del proceso de la meteorización. Estos dos agentes modeladores del relieve terrestre realizan una acción en conjunto, creando maravillas naturales, como por ejemplo: las altas rocas de montañas o desiertos, pasando por los acantilados que son golpeados por las aguas violentas de los océanos.

**Meteorización:** es un factor que produce que las rocas no cambien sus características químicas, pero sí las físicas. Es causada por las condiciones ambientales (agua, calor, sal, etc.).

El agua también ocupa un lugar importante en la modelación terrestre, ya que puede penetrar por las grietas y hendiduras de las rocas. Al bajar la temperatura, se transforma en hielo, y al aumentar de volumen, puede terminar partiendo la roca. Con el calor del sol, el hielo se derretirá y arrastrará los fragmentos restantes. Si se producen cambios de temperaturas también se van a fragmentar las rocas, es decir que se dilatan con el aumento de temperatura y con la desintegración, este fenómeno puede transformar piedras, en arena del desierto. De la misma forma que los cambios de ciclos secos y húmedos, pueden desmenuzar la arcilla con este tipo de proceso (meteorización química).

Además de los mencionados, se dan otros dos fenómenos producidos por el agua, uno es por oxidación y el otro por disolución. El primero se da cuando el agua produce la alteración de un componente mineral, como sucede por ejemplo, en la oxidación del hierro en la meseta misionera, lo que da al suelo ese color rojizo, tan característico de la zona. El segundo es por disolución. Este fenómeno se produce cuando el agua de lluvia o de deshielo se infiltra en terrenos calcáreos, los disuelve hasta formar grutas o galerías, en las que se puede encontrar estalactitas estalagmitas (debido al continuo goteo de agua cargada de carbonatos como sustancia caliza en disolución es la roca). Estas formas de relieve subterráneo constituyen el paisaje cárstico. Es el lugar donde el agua se esconde rápidamente entre las grietas.

**Erosión:** la erosión actúa como principal factor de modelación y creación del relieve. Es la acción de desgaste que va provocando una pérdida del relieve y una disminución del volumen de la roca. La misma tiene lugar cuando el agua, el hielo o el viento arrastran el material meteorizado.

La acción del agua es uno de los agentes con mayor poder de desgaste y transporte, ya que actúa principalmente cuando el caudal de los ríos aumenta, y es donde más se evidencia la acción erosiva y de acarreo. Otro factor es la acción del agua de los ríos, ya que ayuda a transportar toneladas de sedimentos hacia zonas donde el nivel es menor, de este modo, llegan hacia las profundidades del mar. El hielo es otro agente erosionante, aunque es de acción lenta y sus efectos son relativos, ya que solo puede transportar partículas finas del tamaño de la arena. Las avalanchas, los desprendimientos de tierra y barro, son movimientos repentinos causados por acción de la gravedad.

**Erosión o abrasión marina:** la acción de la erosión o abrasión marina modifica permanentemente las costas, ya que el agua llega con fuerza, arrastrando arena y canto rodado. Cuando las olas pierden fuerza regresan al mar, formando playas. A su vez, la acción es constructiva y destructiva al mismo tiempo, porque si sus

costas son altas, el agua del mar produce derrumbe de la parte superior, como en el caso de los acantilados del sur de Mar del Plata y las costas patagónicas. En caso que las rocas contengan carbonato de calcio, se van formando cuevas como las de Quequén. Si son rocas resistentes forman puntas o cabos.

**Erosión Eólica:** su nombre proviene de Eolo, el Dios del viento de la mitología griega. El viento, con su cabalgar melodioso actúa modelando cada parte del relieve terrestre, pero es más evidente en las zonas áridas donde las rocas no se hallan protegidas por la vegetación, y ya han sido desintegradas por la acción de la meteorización mecánica. A lo largo de su desplazamiento, el viento realiza diferentes acciones: transporta partículas que al chocar con las rocas las pulen y van formando verdaderas esculturas. Un ejemplo claro y bello es el Valle de la Luna, en la provincia de San Juan. El viento también va acumulando materiales donde halla obstáculos. A veces deposita todo ese material formando dunas o médanos (elevaciones de arena), tan comunes en los desiertos arenosos o en las playas. A comienzos del siglo pasado, la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires fue testigo de este fenómeno.

Los agentes erosivos son varios y entre ellos podemos mencionar a la erosión pluvial, que es la acción de las aguas de lluvia. Depende mucho del declive del terreno y de la dureza de las rocas, estas acciones de desgaste se aprecian mucho más donde no hay cubierta vegetal y las precipitaciones son escasas. En ocasiones, las lluvias torrenciales dejan en los suelos arcillosos surcos en las laderas de los cerros. Esto se debe a que cuando los suelos son muy permeables, el agua se escurre lentamente hasta llegar a encontrar una capa impermeable que le permita acumular agua y formar ríos subterráneos. La erosión fluvial es el desgaste producido por el agua de lluvia o de deshielo, que va formando corrientes de agua dulce, como por ejemplo un río, que arrastra los materiales que encuentra a su paso. Esto desgasta las rocas en el curso del recorrido superior y la parte media, formando valles o quebradas como la del Cañón del Atuel en Mendoza y la quebrada de Humahuaca en Jujuy, los cuales transportan y depositan sedimentos en su curso inferior, formando en zona de pocas pendientes, islas con flechas como la del río Paraná y la flecha de arena en la desembocadura del río Negro.

**Erosión Glaciaria:** los glaciares son masas de hielo que se originaron por acumulación, compactación y cristalización de nieve. Es por ello que una vez formados, se desplazan pendiente abajo por la acción de su propio peso (gravedad). A su paso transportan arcilla, limos, arenas e inclusive rocas de todos los tamaños. Con este accionar, el hielo y las rocas van erosionando el paisaje, de esta manera quedan formados los circos y los valles en U. Para que se forme un glaciar no hace

falta mucha acumulación de nieve, ya que el principal factor es que la temperatura media anual permita la conservación de la nieve caída y su acumulación en el medio, con una permanencia de 2 o más años.

En la actualidad se cree que los glaciares ocupan, aproximadamente, el 10% de la superficie terrestre, y que en el pasado, habrían cubierto enormes superficies, en forma de casquetes de hielo de gran espesor. Existen lugares como los Alpes, que forman una larga cordillera que recorre Europa Central incluyendo parte de Francia, Suiza, Austria, Eslovenia y Alemania; el valle de Yosemite que se encuentra ubicado al este de San Francisco, en el Estado de California Estados Unidos, y el Cape Cod que es una península del extremo oriental del estado de Massachusetts, al noreste de Estados Unidos, que fueron labrados minuciosamente por masa de hielo glaciar. Otros que deben sus características a la formación de los glaciares, son los fiordos de Noruega y Alaska. En nuestro país se destacan los glaciares Perito Moreno y Upsala.

Al hablar de los fenómenos glaciares debemos decir que se originan por dos ciclos de la naturaleza. El primero es el ciclo hidrológico. Como hemos visto, el ciclo del agua de la hidrósfera se da en un ciclo dinámico por la atmósfera, la biosfera y la tierra sólida. Una y otra vez, el agua se evapora desde los océanos a la atmósfera, precipitándose en zona de altitud o latitudes elevadas (en estos casos el agua no puede abrirse camino inmediatamente hacia el mar). Pero lo curioso de esto, es que puede convertirse en parte de un glaciar, ya que puede almacenarse en forma de hielo glaciar por muchos años o decenios. Ahora bien, el agua que permanece en un glaciar puede guardar una fuerza erosiva muy potente, ya que el hielo en movimiento modifica el paisaje a medida que se va acumulando, y también transporta y deposita sedimentos.

Existen miles de glaciares pequeños, que se han formado en zonas de montañas. Los mismos suelen seguir los valles que en un momento dado estaban ocupados por corrientes de agua. Otra característica de los glaciares es que avanzan muy lentamente debido a su localización (a estas masas de hielo se las denomina glaciares de valles o glaciares alpinos,). Tanto los ríos como glaciares de valles pueden ser largos, cortos, anchos, estrechos o bien poseer afluentes. Por lo general, el ancho de los glaciares alpinos es pequeño, teniendo en cuenta su longitud. Existen otros que se extienden por kilómetros, como en el caso de glaciar Hubbar con 112 kilómetros de extensión en territorios de Alaska y Yukón.

A pesar de que existen miles de glaciares, vamos a detallar los dos tipos más importantes, como son los de manto o casquetes y los de valles. Los primeros se extienden a mayor escala, ya que en el pasado su existencia era muy frecuente.

Hoy solo quedan reducidos a dos aéreas bien diferenciadas. Groenlandia contiene un casquete de hielo de 1,7 millones de kilómetros, cubriendo el 80 % de la Isla con un espesor de 1500 m, y Antártida, con un espesor de 4.300 m y un área de 13,9 millones de km<sup>2</sup>. Estas dos grandes extensiones de hielo se diferencian debido a la poca radiación solar anual, haciendo favorables la acumulación de hielo. Debido a sus enormes estructuras de cascos congelados se los llamó glaciares continentales o de casquetes.

**Pequeños glaciares de Valles:** así como hemos descripto los glaciares de valles y los glaciares de casquetes, también existen glaciares denominados glaciares de mesetas. Estos tipos de glaciares entierran por completo su paisaje, pero son más pequeños que la escala continental, aparecen en muchos lugares, entre ellos Islandia y otras islas del Ártico.

**Erosión Biológica (Bioerosión):** cuando hablamos de la erosión biológica, hacemos referencia a las actividades que realizan los seres vivos que van modificando el paisaje (construyendo nidos, hábitat, etc.). Tanto los animales, como los vegetales, realizan cambios en el ambiente. A veces imperceptibles y otras veces de modo rápido y violento. Los vegetales con sus poderosas raíces pueden destruir las rocas, pero también pueden proteger el suelo, ya que las raíces forman una red que conserva porosa la tierra y la protege de la erosión de la lluvia y del viento formando una película para no dejar desnudo el suelo.

Los animales también contribuyen a la erosión biótica, ya que pueden arrancar la vegetación de raíz y de este modo favorecer la erosión del suelo. Los roedores, al mover la tierra; los castores, al desviar el curso de los ríos; las hormigas y los gusanos, al airear el suelo; son agentes modeladores de la superficie terrestre. El hombre es uno de los mayores modificadores de la superficie terrestre ya que genera áreas de cultivos, construye viviendas, desvía cursos de ríos, forma lagos artificiales, desmorona cerros, traza caminos, explota minerales y aguas subterráneas.

## Procesos y formas litorales

En los procesos de meteorización haremos referencia a la Provincia del Chaco. De ese famoso Chaco pujante, tierra del quebracho colorado y del algodón, poco queda. Donde hubo un monte, hoy hay una escuela, un paraje, un pueblo o una ciudad.

La región chaqueña argentina forma parte de la llanura o depresión del gran Chaco Sudamericano, la misma se extiende por el norte hasta el Mato Grosso y hacia el sur con la llanura pampeana, por el oeste va hasta las sierras orientales de la Cordillera, y por el este se encuentra con el macizo brasileño y, por ende, con las fracturas de los ríos Paraguay-Paraná. El Gran Chaco, está dividido por los ríos Pilcomayo y Bermejo, en tres zonas: una norte o Chaco Boreal en el Paraguay y Bolivia, otra media o central y por último el Chaco Austral.

El Chaco presenta una riquísima diversidad biológica, y aunque alberga una notable región de tierras secas, también presenta grandes humedales. El Chaco argentino, como lo conocemos, está situado en el área Centro- Norte del país. Presenta una precipitación variada que va desde el Chaco Subhúmedo con lluvias de 1200 a 700 mm en proximidades del río Pilcomayo, el chaco semiárido cuenta con una precipitación que va entre los 750 y 500 mm y el Chaco árido con lluvias entre los 500 y 300 mm por año, en el extremo occidental de la provincia. La temperatura oscila entre los 18° C y los 29° C, pero en los últimos años, la temperatura máxima ha registrado marcas de 50° C.

**Procesos erosivos externos del Chaco:** el territorio del Chaco es muy vulnerable, ya que presenta procesos de degradación de los recursos naturales, y los mismos tienen impactos negativos. Esto se debe a que los ecosistemas son muy frágiles y la actividad del hombre fue avanzando en el impenetrable chaqueño, con el fin de extender la siembra de granos como soja, trigo, girasol y muy pocas hectáreas de algodón. Además se han hecho talas indiscriminadas de los montes chaqueños para lograr extender estas actividades y la ganadería.

El mayor inconveniente que presenta el ecosistema chaqueño es el tipo de suelo que por lo general es arenoso y muy pobre en nutrientes. Sumado a eso, las escasas precipitaciones de los últimos años, los fuertes vientos y las altas temperaturas, que en conjunto hacen que sea más difícil la recuperación de la vegetación nativa y la producción de biomasa. A pesar de que cuenta con una baja densidad poblacional, la degradación ambiental se manifiesta disminuyendo la cobertura vegetal y empobreciendo los suelos, así como también una menor población de fauna y de los recursos hidrobiológicos.

Otras de las características de la degradación en la región son el excesivo pastoreo y las inadecuadas prácticas del manejo de los pastizales, la tala de árboles para hacer carbón y durmientes. La tierra presenta una gran salinidad, por lo tanto sus bosques no pueden ser talados en las áreas donde haya una alta concentración de sal, ya que esta provocaría una desertificación por salinización del suelo.

## Tipos de costas

Otros paisajes llamativos son los costeros, que es donde las aguas se ponen en contacto con las costas. El mar las modifica constantemente. A consecuencia de esta acción se forman los accidentes costeros, que son entradas y salientes de las tierras en el mar. Esto lo podemos apreciar en los contornos de los continentes, tal cual se expresa en cartografía.

La costa es la zona de contacto entre las tierras emergidas y los mares y océanos. A simple vista se observa que presentan dos tipos fundamentales: de inmersión y emersión.

Las **costas de inmersión** son líneas en que una costa ha estado sumergida en el pasado, esto es generalmente irregular porque el mar inunda los tramos inferiores de los valles fluviales inclusive el océano. Lo curioso de ello, es que las lomas que separan a los valles permanecen por encima del nivel del mar y se van proyectando como frente de tierra. Por lo general a estas desembocaduras se las denomina estuarios, son características de las costas del Atlántico. La Bahía Chesapeake y Delaware, son grandes estuarios que se han formado por inmersión.

**Fiordos:** son golfos estrechos, profundos y muy sinuosos entre montañas. Se hallan en las costas marinas formando golfos en forma de V. En la actualidad se extienden sobre la Antártida, Groenlandia y algunas áreas montañosas muy elevadas. Ocupan en total el 10% de la superficie terrestre, se han formado por el avance de los glaciares. La palabra fiordo es un término noruego (fjord), que se adoptó como algo universal para nombrar un brazo de mar con cierta extensión. Se trata de zonas glaciares sobre-excavadas, que son inundadas por el mar, y luego por el ascenso postglacial se abren al mar por su extremo menos elevado (por donde se halla un umbral rocoso sumergido) y en su interior se desarrolla una pared rocosa muy escabrosa.

Los fiordos se encuentran por lo general a lo largo de las costas marinas, con relieves elevados y modelados por glaciaciones pleistocenas. La ubicación de los fiordos en la actualidad está dada solamente en las altas latitudes como por

ejemplo: Noruega, Escocia, Groenlandia, Islandia, Canadá, Alaska, Kamchatka, Patagonia Chilena, Isla Sur de Nueva Zelanda, Tasmania, Antártida y archipiélagos como las islas Kerguelen, Georgia del Sur, Shetland del Sur y otros grupos de menor consideración.

**Firth:** tienen el mismo origen que los fiordos. Los glaciares han penetrado en los valles fluviales, en consecuencia en todos ellos desemboca en río. Son menos ramificados y presentan forma de V. Se encuentran en Escocia, Norte de Irlanda, etc.

**Rías:** son valles fluviales hundidos, que fueron penetrando en el mar. Se ubican entre montañas perpendiculares a la costa, resultando entonces golfos y penínsulas más o menos regulares, hasta 10 km de extensión. Son típicas del norte y noroeste de España. También se hallan en Irlanda y en sur de China.

**Dálmatas** son costas donde montañas paralelas a ellas han sufrido un movimiento de descenso, que formaron islas y golfos paralelas a ellas. Es un litoral muy accidentado con cantidad de golfos, penínsulas, e islas. Son propias de Dalmacia, Yugoslavia, de donde proviene su nombre; también se encuentran en el oeste de Canadá y sudoeste de Chile.

En las **costas de emersión** la tierra se eleva, o bien el nivel del agua que muchas veces desciende, forma acantilados litorales y las plataformas de abrasión quedan por encima del nivel del mar. Ejemplos de estas costas son las costas de California, ya que en ella se ha producido levantamiento en el pasado geológico reciente.

En síntesis, son costas que se han levantado por diferentes motivos. Uno de los agentes que más contribuye a formarlas son aluviones que son depositados constantemente en las desembocaduras, donde forman bancos de arena sumergidos, luego barras, islas, y con el transcurso del tiempo, llanuras.

**Haffen :** son barras de arenas en forma de flechas. Constituyen una de las primeras formaciones del río. Estas flechas se llaman “*nehrungs*”, y encierran un golfo bien comunicado con el mar. Son típicos de la costa sur del Mar Báltico, en Alemania y Polonia. **Lidios:** han llegado a formar barras de arena, y entre estas y la costa, islas. Encontramos Lidios en el Golfo de Venecia (Italia).

**Albuferas:** son lagunas litorales más cerradas, que se comunican con el mar por estrechos canales. Se encuentran en el Este de España, Golfo de Valencia; en la Costa Sur de Brasil y en la Costa Atlántica de Buenos Aires (Mar chiquita).

**Limanes:** son lagunas litorales de agua marina organizadas por un descenso de los valles de los ríos y una acumulación de arena transportada por estos, que los ha aislado del mar. Se encuentran en la costa Noroeste del Mar Negro.

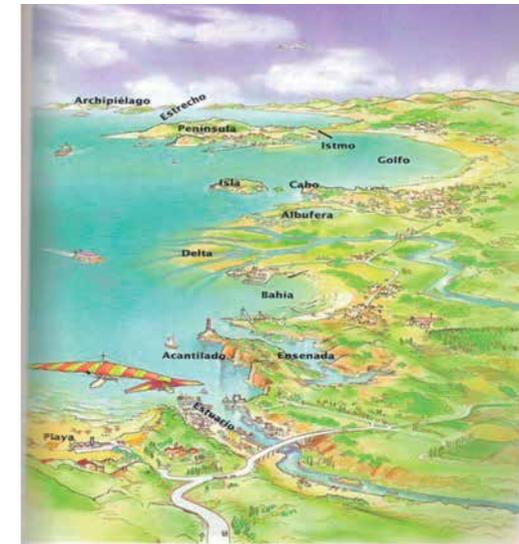
**Coralinas:** se forman por acumulación de los corales, que viven en colonias.

Solo se encuentran en aguas cálidas, intertropicales y limpias. Su consistencia calcárea se mantiene en aguas tibias, ya que su esqueleto formado por carbonato y calcio se disuelve en agua fría. Llegan a formar archipiélagos y hasta grandes islas. Este es el origen de las islas Bahamas (Antillas), y de numerosas islas de Oceanía.

Los principales accidentes costeros son:

- **Acantilados:** son costas de pendiente escarpada y altura variable, que retroceden continuamente bajo la acción de las olas.
- **Archipiélagos:** son un conjunto de islas que se sitúan generalmente en mar abierto, los archipiélagos suelen ser de origen volcánicos, muchas veces forman dorsales oceánicas.
- **Atolón:** son arrecifes de coral circulares, que encierran una laguna
- **Bahía:** es una entrada del mar de extensión considerable
- **Cabo:** es el saliente de tierra o promontorio que penetra en el mar.
- **Delta:** son costas formadas por sedimentos aportados por un río que en su desembocadura origina islas.
- **Ensenada:** es la entrada del mar en la costa, de extensión menor que una bahía.
- **Estrecho:** es un brazo marino entre dos porciones de tierra firme, que comunica dos masas de aguas mayores.
- **Estuario:** es la desembocadura abierta de un río (en forma de V) en el mar.
- **Golfo:** es la entrada del mar en la costa, entre dos cabos. Suele considerarse de extensión mayor que la bahía.
- **Isla:** es la porción de tierra (más pequeña que un continente) que emerge de las aguas y está rodeada por ellas. Los orígenes de las islas pueden ser:
  - Desprendimientos de masas continentales: Madagascar
  - Afloramientos de cimas de cordilleras o volcanes submarinos: Ascensión, Hawaii
  - Acumulación de corales: Marshall
  - Depósitos de sedimentos aportados por los ríos como los deltas del Paraná, Nilo, Misisipi
- **Istmo:** es la extensión de tierra, relativamente estrecha, que une una península con tierra firme o dos islas entre sí.
- **Península:** es la porción alargada de tierra que se adentra en el mar.

Figura 4.1 Principales accidentes costeros.



Extraído de: Folguera, A.; Ramos, V. y Spagnuolo, M. Introducción a la Geología. El planeta de los dragones de piedra. Eudeba, 2006.

## ¿En qué consiste la geodinámica externa?

Al recorrer zonas de montaña, podemos apreciar el majestuoso paisaje que nos brinda la naturaleza, con subidas y bajadas, de altura variable. Esas grandes elevaciones se originaron por orogénesis, debido a la acción de fuerzas en sentido contrario, provenientes del interior de la Tierra.

Esto lleva a pensar que los materiales que formaron las montañas han estado sometidos a fuertes presiones laterales, capaces de cambiar su primitiva posición horizontal. Estas fuerzas de deformaciones se denominan fuerzas orogénicas. En definitiva, el fondo de dicha cuenca se hunde, por un movimiento epirogénico a medida que se depositan los materiales. En otras palabras, para que una montaña se forme, previamente se necesita que una depresión se rellene con sedimentos, lo que ha recibido el nombre de geosinclinal.

Los movimientos geosinclinales, se han ido formando en los bordes de los continentes, ya que son lugares de mayor aporte de materiales. Por consiguiente, los geosinclinales son cuencas alargadas y paralelas a las costas, en vía de

hundimiento, en las cuales se van acumulando gran cantidad de sedimentos que por acción de las fuerzas orogénicas, van a dar lugar a cordilleras de plegamiento u orogénicas. Estas fuerzas orogénicas ejercen presiones laterales (compresión) sobre los sedimentos del geosinclinal para provocar su plegamiento y la causa de estas fuerzas es el movimiento de las placas litosféricas.

A consecuencia de estos desplazamientos de placas, podemos decir que existen dos grandes tipos de cordillera. Las originadas entre placas oceánicas y continentales por un proceso de subducción, denominados orógenos periocéánicos, como por ejemplo, los Andes. Otra de tipo alpino, como los Alpes o el Himalaya.

En el paisaje de la corteza terrestre, sus características van variando constantemente según los espacios geográficos, ya que los agentes externos que participan del modelado del medio ambiente son muy variados (el viento, el agua, el sol, la nieve, etc.). Podemos clasificarlos como procesos destructivos y constructivos, y también como superficiales o externos, y procesos internos.

Los procesos superficiales pueden deberse a la fuerza de la gravedad. Es decir, las rocas descienden debido al desplazamiento masivo de los terrenos, o bien ser transportadas a miles de kilómetros mediante las corrientes fluviales, hasta que son depositadas en el mar. En otras palabras, las rocas viajan desde una zona alta a una baja. En los procesos destructivos y constructivos, pueden actuar los factores geográficos donde el relieve puede ser afectado tanto por factores bióticos, como abióticos.

Los factores exógenos son participes del modelado del relieve del suelo. El clima, la temperatura y el viento van favoreciendo los procesos erosivos. En cuanto a los factores bióticos sobre el relieve suelen oponerse a los procesos de modelado, especialmente la vegetación, pero existen algunos animales que colaboran con el proceso erosivo (como por ejemplo, los caprinos, típicos de nuestra zona). Existen otros factores que actúan en la geodinámica externa, como los factores geológicos. Esto tiene que ver con las placas, la orogénesis y el vulcanismo, que son procesos constructivos y de origen endógenos, que también se oponen al modelado del ciclo geográfico.

Por último el factor antrópico, el cual es muy variable dependiendo de la actividad que se desarrolle (puede incidir a favor o en contra, del proceso erosivo). En general, el aspecto de la superficie terrestre va acompañado de la proporción entre tierras emergidas y mares.

Al hablar de relación entre la Geodinámica Global y la Geodinámica Externa, debemos pensar en un vínculo inseparable. Los procesos exógenos o externos, son consecuencia de los procesos endógenos o internos. Estos últimos son los causa-

les de la gran actividad silenciosa, que se desarrolla debajo de la corteza terrestre. El manto interior se desplaza hacia el exterior de la corteza donde comienza a manifestarse el modelado terrestre y a conformar mega estructuras naturales, que tiene como protagonista a las tectónicas de placas.

Por lo tanto esta relación tiene a la litosfera como el resultado de la acción, por un lado, de una serie de fuerza internas (geodinámica interna), como, por ejemplo la tectónica y el vulcanismo, y por otro, de la fuerzas externas (geodinámica externa), como la lluvia, el hielo, el viento, etc. Estas fuerzas, que actúan de forma distinta según su localización en el espacio y en el tiempo, crean un sistema de interacciones, en muchos casos contrarias.

Un ejemplo de este antagonismo lo constituye la elevación de una cadena montañosa por una acción tectónica (fuerza internas) que desencadena una acción erosiva (fuerzas externas), que tiende a reducir relieve. La acción de la tectónica, que provoca la elevación, y de la erosión, que reduce el relieve, es un sistema cuyo equilibrio o evolución dependerán de la intensidad de las fuerzas puestas en juego. Es decir, si es más potente la acción tectónica que la erosiva, la montaña o montañas, se seguirían elevando.

Si el levantamiento tectónico disminuye o cesa, la erosión puede llegar a ser dominante y la altura de las montañas se iría reduciendo. Por último, si las dos acciones están igualadas, el levantamiento será compensado por la erosión y se alcanzará cierto equilibrio en que la altura no variará. Es evidente que las fuerza externas que operan sobre un relieve ya existente, cuya causa son, en general, las deformaciones tectónicas. Si a partir de un momento dado no se produjeran deformaciones tectónicas, el relieve de los continentes llegaría a desaparecer en un período de tiempo bastante largo.

Este equilibrio es establecido por el rango de alzamiento de un orógeno contra la tasa de erosión que actúa sobre el mismo.

De esto se desprende que las deformaciones tectónicas jueguen un papel muy importante en la génesis del relieve. En primer lugar, está el aspecto dinámico de la deformación, es decir, los movimientos de la corteza terrestre. En segundo lugar, los productos resultantes de las deformaciones. Por último, el desarrollo o desaparición de un determinado relieve puede repercutir sobre los fenómenos que se producen tanto en la hidrosfera, como en la atmósfera.

En cuanto a los productos resultantes de las deformaciones, son importantes en el modelado posterior. Es decir, la acción de los agentes externos será muy distinta, si, por ejemplo, el producto final de las deformaciones es un flexuramiento de gran radio, o si se trata de una fracturación interna. También existirán diferencias

notables frente a la erosión según sea la naturaleza y la disposición de las rocas deformadas. Es fácil imaginar que los modelados de una gran masa de granito, de una potente serie margosa o de una alternancia de arcillas y areniscas, serán diferentes, debido al comportamiento mecánico de cada uno de estos conjuntos frente a los agentes externos.

En resumen, el relieve terrestre es el resultado de la interacción de una serie de fuerzas externas (condicionadas o no por el clima) e internas (actúan de manera combinadas).

## CAPÍTULO V

# *Movimientos... a lo largo de la historia de la Tierra*

María Julia Solari

### De cómo habrían sido los movimientos a lo largo de la evolución del planeta

Como ya hemos visto, a medida que la Tierra va perdiendo su calor interno, lentos pero continuos movimientos evidentes en el exterior, son regidos por lentos y continuos movimientos que tienen lugar en su interior, pero ¿ello ha ocurrido durante toda su historia evolutiva? Sobre este punto nos detendremos ahora.

La Tierra como planeta fue tomando forma durante miles de millones de años, conjuntamente con la formación misma del Sistema Solar, hace aproximadamente 4600 millones de años (ma). Las teorías actuales sostienen que esto habría tenido lugar a partir de una nube de gas (hidrógeno y helio) y partículas sólidas llamada *nebulosa solar*, que habría colapsado sobre sí misma por efecto de la gravedad. A medida que la velocidad de rotación aumentaba mientras se contraía, fue adoptando la forma de un disco, con una región central que daría lugar al Sol y un sistema de anillos que, por acreción, formarían los distintos planetas, entre ellos, la Tierra. Este proceso de acreción planetaria implica la colisión en el espacio de fragmentos rocosos entre sí, constituyendo de esta manera masas cada vez de mayor tamaño, lo que puede apreciarse a través de los frecuentes impactos de meteoritos que tienen lugar tanto en la Tierra como en los demás planetas del Sistema Solar.

Desde que la Tierra fue adquiriendo forma de planeta y durante los siguientes 500 ma, habría ocurrido en ella un proceso de diferenciación en su estructura, esto es, pasó de ser relativamente homogénea composicionalmente a poseer la serie de capas conocidas como corteza, manto y núcleo, descritas en el Capítulo 2. En principio se habría constituido el núcleo metálico hacia el centro, como resultado de un fuerte calentamiento por la acción combinada de los procesos de acreción, compresión gravitatoria y radioactividad de las rocas. Ello habría elevado la temperatura terrestre hasta los 2000°C aproximadamente, favoreciendo que el hierro y otros metales, al fundirse, se hundieran en su interior por su mayor densidad, distribuyéndose los demás materiales silicatados ricos en aluminio, calcio, potasio y sodio, de menor densidad, hacia la superficie. Durante los siguientes millones de años, la temperatura del planeta fue disminuyendo y la superficie más externa enfriándose, comenzando a solidificarse, y dando paso a la formación de los primeros fragmentos de corteza. Se considera sin embargo, que en sus inicios no toda la Tierra habría estado fundida, en base al hallazgo de cristales de circón de 4200 ma, minerales que estarían indicando la formación de algunos núcleos corticales, pocos millones de años después de la constitución del planeta.

Paralelamente habría ido desarrollándose la llamada “desgasificación del manto”, proceso a través del cual distintas sustancias de esa masa líquida habrían escapado en estado gaseoso para formar la primera envoltura gaseosa de la Tierra: la atmósfera primitiva, compuesta en consecuencia por entre 10 y 100 veces más dióxido de carbono que la actual, además de vapor de agua, nitrógeno, metano, amoníaco, dióxido de azufre y sólo rastros de oxígeno.

Por su parte, el abundante agua en forma de vapor de esa atmósfera primitiva, junto con aquella proveniente del bombardeo de meteoritos y cometas ricos en hielo, fue dando paso a la formación de la hidrósfera. A medida que la temperatura de la Tierra disminuía, aumentaba el volumen de agua en estado líquido, y con ello la formación de los primeros océanos.

Hace 4200 ma, entonces, ya se habrían desarrollado tanto la atmósfera primitiva como los océanos, bajo una temperatura en la superficie no mayor de 200°C, de lo contrario, el agua no hubiera existido en estado líquido.

En este escenario se habría formado la primera corteza terrestre, la corteza oceánica, por la solidificación de lavas de 1500°C, a diferencia de las lavas actuales que se forman a una temperatura mucho menor (1350°C). La evidencia de temperaturas más elevadas de estos magmas sería la abundancia de komatiita, roca presente en todos los núcleos de corteza del mundo, remanentes de aquellos tiempos. La komatiita en la actualidad es característica del manto superior dado

que es allí donde reinan esas temperaturas, no en la corteza. El hecho de que las lavas en los primeros momentos de formación de la corteza se encontrara a esa temperatura (1500°C) es sumamente importante, ya que indica que el flujo de calor habría sido tres veces mayor, determinando el desarrollo de corrientes convectivas mucho más energéticas y, en consecuencia, de dorsales oceánicas más activas, de mayor velocidad de desplazamiento y mayor extensión que las que conocemos hoy.

Como contrapartida, a medida que en las dorsales oceánicas se iba formando corteza, se habrían desarrollado extensas zonas de subducción donde ésta se consumiera, permitiendo así el reciclado continuo de los materiales de los fondos oceánicos y constituyendo un poderoso sistema de pérdida de calor. En consecuencia, a medida que el planeta habría ido perdiendo calor se habría ido enfriando, al punto en que en determinado momento, la corteza que habría sido consumida en las zonas de subducción se habría ido fundiendo sólo parcialmente, modificándose la composición química de los magmas, los que fueron tornándose menos básicos y que por solidificación, habrían comenzado a dar origen a rocas de tipo granitoide propias de la corteza continental.

Si bien en el ámbito científico el inicio de la Tectónica de placas es aún tema de discusión, habría evidencia suficiente para considerar que su desarrollo se habría iniciado hace aproximadamente 4000 ma., puesto que para ese tiempo ya se habría formado una corteza relativamente fría y rígida: las primeras placas tectónicas, condición necesaria para el desarrollo de una tectónica de esas mismas placas. Es decir, la Tectónica de placas involucra el movimiento de placas de corteza, formadas como resultado del lento pero continuo enfriamiento del planeta durante los primeros 500 ma a partir de su formación.

## El desmembramiento de Pangea y “otras pangeas”...

A partir de lo presentado, ya estamos en condiciones de abordar el conocido “desmembramiento de Pangea”; aunque el tema no es tan sencillo ya que Pangea fue un supercontinente, pero no fue el único que existió a lo largo de la evolución de la Tierra. El mundo científico ha acordado en dividir el tiempo transcurrido desde la formación del planeta hasta la actualidad en una serie de lapsos temporales denominados Eones, los que a su vez, se dividen en Eras y éstos, a su vez, en Períodos. Si bien estas subdivisiones varían según los diversos autores, presentaremos la subdivisión temporal internacionalmente aceptada en el ámbito geológico.

Eones (lapso temporal en millones de años, Ma)		Eras	
FANEROZOICO (542 Ma - actualidad)		Cenoicoico (66 Ma- actualidad)	
		Mesozoico (253 - 66 Ma)	
		Paleozoico (542 - 253 Ma)	
PRECAMBRICO (4600 - 542 Ma)	PROTEROZOICO (2500 - 542 Ma)	Neoproterozoico (1000 - 542 Ma)	
		Mesoproterozoico (1600 - 1000 Ma)	
		Paleoproterozoico (2500 - 1600 Ma)	
	ARCHEANO (4000 - 2500 Ma)	Neoarqueano (2800 - 2500 Ma)	
		Mesoarqueano (3200 - 2800 Ma)	
		Paleoarqueano (3600 - 3200 Ma)	
		Eoarqueano (4000 - 3600 Ma)	
	HÁDICO (4600 - 4000 Ma)		

Tabla 1. Tabla Cronoestratigráfica Internacional.

Fuente: International Commission on Stratigraphy - IUGS. Año: 2013.

**Un dato interesante...**

El nombre de los Períodos proviene, en algunos casos, del lugar donde fueron descritos por primera vez, por ejemplo: Pérmico deriva de Perm (Rusia), Jurásico de los Montes Jura (Francia-Suiza), Devónico de Devonshire (Inglaterra); en cambio en otros casos está relacionado con alguna característica relevante, por ejemplo: Cretácico deriva de creta, por los potentes depósitos de calizas o Carbonífero, por los extensos mantos de carbón.

Ahora, conociendo cómo se divide el tiempo geológico, podremos extendernos en la descripción de la secuencia de ensambles y desmembramientos que han sufrido los distintos supercontinentes a lo largo del tiempo y desde los inicios, como consecuencia de la geodinámica global.

**Supercontinentes**

Para empezar, definamos a qué se denomina supercontinente...

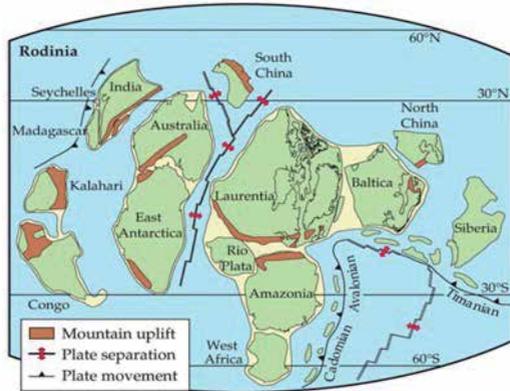
Un supercontinente es un vasto continente compuesto por todos (o la mayoría) de los continentes que existían en ese momento. Para estudiar la evolución de los supercontinentes que existieron a lo largo de la historia de la Tierra, los geólogos describen "ciclos", donde cada ciclo incluye la ruptura de un supercontinente preexistente, seguido por la dispersión de sus fragmentos y su posterior reensamblaje en un nuevo supercontinente. Es interesante mencionar que, generalmente, el tiempo que transcurre hasta que los fragmentos vuelven a unirse es mayor que el tiempo que lleva su fragmentación y separación.

Ahora bien, cuándo comenzó esta dinámica? Todo comenzó a partir del mayor evento de formación de corteza continental de toda la historia del planeta, en el cual se habría formado cerca del 60% de la corteza terrestre. Esto habría tenido lugar hace 2500 ma (límite eones Arqueano y Proterozoico), momento a partir de cual se habría producido la creciente de estabilización de los continentes y los procesos geológicos globales se habrían tornado cada vez más parecidos a los de la Tierra actual.

Hacia fines del Arqueano y principios del Proterozoico (2500 ma - 2400 ma) habría ocurrido la formación de los primeros supercontinentes de la historia de la Tierra: Kenorlandia (supercontinente nórdico) y Vaalbara (supercontinente austral), como resultado de la acreción de diversos bloques menores. A medida que fue pasando el tiempo, hace entre 2100 - 2000 ma, a principios del Proterozoico (Paleoproterozoico), el supercontinente de Kenorlandia se habría desmembrado en fragmentos menores, así como habría ocurrido con el supercontinente de Vaalbara tiempo antes.

Pero como dijimos, estos procesos son cíclicos, por lo que los continentes no habrían permanecido definitivamente separados y hacia el Mesoproterozoico (hace 1300 - 1000 ma), habrían vuelto a ensamblarse, luego de una serie de colisiones, para formar nuevamente un supercontinente: el supercontinente de Rodinia (Figura 5.1). Así, en el marco de esta dinámica incesante, en el Neoproterozoico, hace aproximadamente entre 800 y 750 ma, este nuevo supercontinente habría sufrido un nuevo desmembramiento.

Figura 5.1 Supercontinente de Rodinia. (Torsvik 2003)

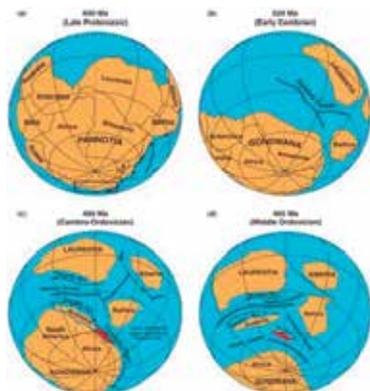


Fuente: <http://fuentesnuevasctm.blogspot.com.ar/2009/11/pangea-volvera.html>

La reorganización de las placas luego del desmembramiento de Rodinia, es decir, la evolución de un nuevo ciclo, llevó, hacia fines del Proterozoico – principios del Paleozoico (entre 600 y 520 ma), al inicio de la conformación del supercontinente de Gondwana; a éste nuevo continente se lo llamó Pannotia, el que luego de su fragmentación y posterior acomodamiento, dio lugar al nacimiento del supercontinente de Gondwana propiamente dicho.

Gondwana habría permanecido finalmente estructurado durante los siguientes 300 ma, para luego pasar nuevamente a desmembrarse durante el Paleozoico...

Figura 5.2 El supercontinente de Pannotia. Gondwana y Laurentia.



Fuente: <http://sp.lyellcollection.org/content/early/2013/09/09/SP384.20.abstract?rss=1>

El Paleozoico, entonces, se inicia con una nueva ruptura continental: el desmembramiento de Gondwana, dando lugar al comienzo de una compleja dinámica de movimientos de placas acompañada de aperturas de océanos y colisiones de placas continentales. De esta manera, hacia finales de la Era paleozoica habría finalmente quedado conformado el supercontinente de Pangea, como resultado del amalgamamiento de la mayoría de los bloques continentales: Laurentia hacia el norte, Gondwana hacia el sur y el Océano Tethys ocupando una amplia región entre ambos. Este supercontinente se formó, entonces, hace entre 450 y 320 Ma, como resultado de una tectónica paleozoica que se caracterizó por una intensa y continua convergencia de bloques continentales.

### El supercontinente de Pangea

Pangea es el supercontinente más conocido por todos nosotros; fue un verdadero supercontinente, y recibió su nombre debido a que *pan* significa todo y *gea*, Tierra, o sea la unión de todas las tierras. Quizás, Pangea sea el más conocido porque es el que permite ser “reconstruido” como un rompecabezas a partir de la posición actual de los continentes, tal como le ocurrió a los científicos de principios de siglo, quienes pudieron pensar que las masas continentales migraban, se desplazaban con el transcurso del tiempo.

Pero Pangea, con el paso del tiempo, también se desmembró. Ello comenzó hace aproximadamente 160 ma y continúa en la actualidad, a una velocidad relativa promedio de 1 a 20 cm por año.

El proceso de fragmentación de Pangea tuvo lugar en cuatro etapas:

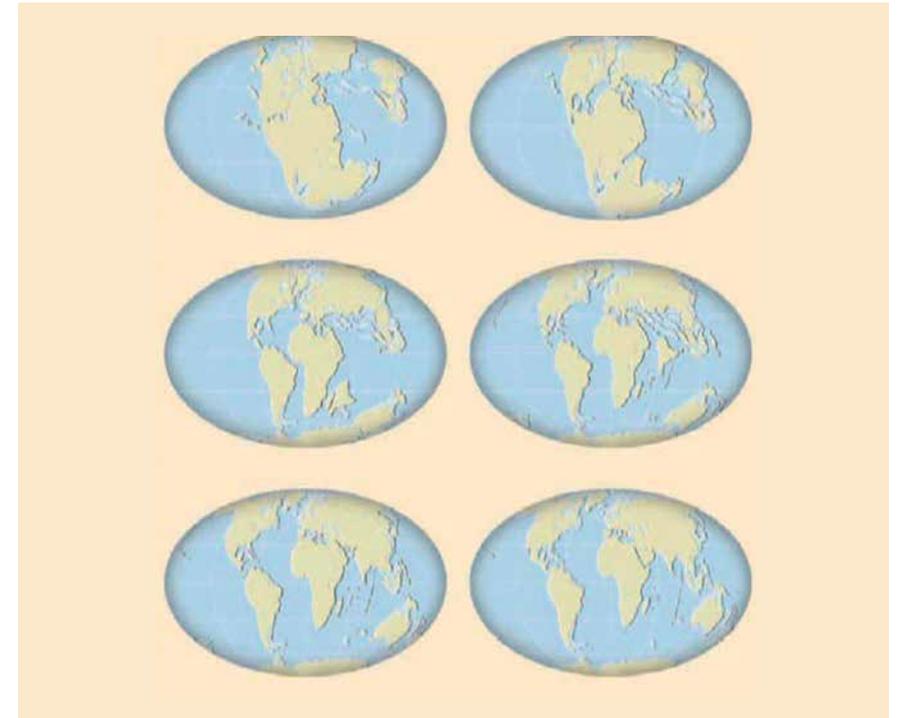
La Primera comenzó con la división de Laurasia y Gondwana durante el Triásico Superior. Algunos bloques que posteriormente formarían parte de Asia (Malasia, Indochina, Tibet, Sur de China, Irán-Afganistán y Turquía) se habrían separado previamente de Gondwana desplazándose por el Océano de Tethys. Una activa subducción en el océano de Panthalasa se desarrolló durante todo el Triásico, y fue también activo durante el Jurásico, en las áreas meridional y occidental de Pangea, extendiéndose hacia el norte y enlazando con zonas de subducción de la costa oriental de China y el sudeste asiático. Hacia fines del Triásico, la expansión del Océano Atlántico separó América del norte de África, para luego separar Norteamérica de Sudamérica hacia el Triásico Superior – Jurásico Inferior. Como consecuencia de estos movimientos, el mar de Tethys se unió con el Océano Atlántico central y las aguas del Pacífico fluyeron hacia el Golfo de México recién formado.

En la segunda etapa, durante el Triásico Superior y el Jurásico, tuvo lugar el movimiento extensional y la división de Gondwana: en primer lugar, durante el Triásico Superior, la Antártida y Australia, aún unidas, se separaron de Sudamérica y África; así como posteriormente, se separaría la India de Gondwana, comenzando a moverse hacia el norte. Se abrieron numerosas zonas de divergencia entre Norteamérica y Sudamérica dando lugar a bloques que posteriormente conformarían Centroamérica, Cuba y La Española. Por su parte, continuó la apertura del golfo de México a medida que México y América central migraban hacia el sur, para quedar México unido a Norteamérica, aunque moviéndose hacia el sur a través de dos importantes fallas transformantes.

La tercera etapa se inicia con la separación de Sudamérica y África en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Debido a la rotación (en sentido de las agujas del reloj) de Laurasia y el desplazamiento de África hacia el norte, la parte oriental del Mar de Tethys comenzó a cerrarse, mientras que comienza a delinearse el Mar Mediterráneo con la entrada del mar entre África y Europa entre el Jurásico Superior y el Cretácico. Y ya hacia fines del Cretácico se habrían separado Australia y la Antártida; la India habría alcanzado una posición ecuatorial, Sudamérica y África estaban completamente separadas y Groenlandia constituía una masa continental independiente, aunque permanecería unida a Escandinavia y Gran Bretaña, insertada entre ambas, como resultado de los desplazamientos ocurridos durante el Cretácico. La placa Ibérica, que habría tenido distintos movimientos durante el Jurásico y Cretácico Inferior, comienza a desplazarse conjuntamente con África hasta el Cretácico Superior, en que, ya en el Paleógeno cambia de dirección para colisionar con Eurasia, dando origen a los Pirineos.

La Cuarta y última etapa se desarrolló durante el Cenozoico, y fue testigo de la migración de Australia hacia el norte y de la separación de Groenlandia, como masa continental independiente, de Europa y Norteamérica.

Figura 5.3. Fragmentación de Pangea a lo largo de un período de 200 millones de años. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: hace 200 millones de años (Jurásico inferior), hace 150 millones de años (Jurásico superior), hace 90 millones de años (Cretáceo), hace 50 millones de años (Cenozoico inferior), hace 20 millones de años (Cenozoico superior) y en la actualidad. Tomado de: C. Scotese, Año: 2001. (<http://www.scotese.com/earth>)



## Después de Pangea

Y ¿qué pasó con nuestro planeta hasta llegar a resultar lo que conocemos hoy? ¿Cómo evolucionó la superficie, en respuesta a sus movimientos internos hasta nuestros días?

Dijimos que la etapa final del desmembramiento de Pangea, la cuarta etapa, se extendió durante el Cenozoico, pero los movimientos de placas que habrían comenzado en ese momento se extendieron en el tiempo, por ejemplo, en la actividad orogénica de dos regiones o cinturones principales: el cinturón orogénico alpino-himalayo y el cinturón orogénico circum-Pacífico.

El cinturón orogénico alpino-himalayo abarca las regiones montañosas del sur de Europa y norte de África extendiéndose hacia el este por medio Oriente e India hasta alcanzar el sudeste asiático. La llamada orogenia Alpina, si bien había comenzado su desarrollo durante el Mesozoico, fue protagonista de una importante deformación entre el Eoceno y Mioceno Superior, cuando las placas Africana y Árabe se desplazaron contra Eurasia. Como resultado de estos procesos convergentes se formaron los Pirineos entre España y Francia, los Alpes de Europa, los Apeninos de Italia y los Atlas de África. En la actualidad este orógeno es aún protagonista de procesos de deformación activa, lo que se pone en evidencia a través de los volcanes activos como los de Italia y Grecia, o la intensa actividad sísmica del sur de Europa y Oriente Medio.

---

### ¿Un océano futuro?

Al Este de África una gran grieta en la tierra surca el paisaje, una fisura de kilómetros de extensión, que en algunos sectores presenta lagunas con características típicas de actividad volcánica. Los científicos han interpretado este fenómeno como la apertura de un futuro océano como resultado del comienzo de una zona de divergencia de placas tectónicas.

---

En cuanto al Mar Mediterráneo, si bien su sector oriental evolucionó durante la tectónica mesozoica, el sector occidental (mares Tirreno, Alborán y Baleares) se abrió hace entre 20 a 10 ma, en el Neógeno, como resultado de la apertura de una serie de cuencas debido al reacondicionamiento de una serie de microplacas. Pero poco tiempo después de adquirir su morfología actual, el Mar Mediterráneo se secó. Este fenómeno tuvo lugar durante el Mioceno y se lo conoce como crisis salina Mesiniense, originando un depósito salino de más de 1000 m de espesor. Ello habría sido consecuencia de una serie de eventos conjugados, tales como la elevación del arco de Gibraltar y el descenso del nivel del mar por el crecimiento del casquete polar en la Antártida, que habrían causado el cierre del paso de las aguas desde el Océano Atlántico. Este escenario permaneció así hasta que hace unos 5 Ma, las tensiones diferenciales entre África y Eurasia provocaron la ruptura del arco de Gibraltar y permitieron el reingreso de las aguas desde el Atlántico, facilitando su relleno.

Más hacia el este, otro evento muy conocido habría estado desarrollándose

durante el Eoceno: la colisión de la India con Asia, dos placas continentales, dando nacimiento al Orógeno Himalayo.

El cinturón orogénico circum-Pacífico, como su nombre lo indica, rodea toda la cuenca del Océano Pacífico en una extensa zona de subducción de placas, desarrollada en el Cenozoico. Como resultado de esos procesos de convergencia se habrían originado los orógenos de las Aleutianas, Filipinas, Japón y de toda la costa occidental de América (donde al sur se elevaron los Andes), acompañados de continua actividad ígnea y sísmica que permiten evidenciar la continuidad de estos procesos tectónicos hasta la actualidad.

A fines del Terciario ocurrieron otros eventos importantes de mencionar, tales como: la separación de Australia de la Antártida como resultado de la actividad de la dorsal Indica; la separación de Japón de China por la apertura del mar del Japón; la unión de Norteamérica a Sudamérica como resultado de la actividad del sistema de arco de Panamá, así como el comienzo de la apertura del Mar rojo y el Golfo de Adén, y hace 5 a 2 ma, el inicio del sistema de rift de África oriental, el cual sería de esperar que prosperara en la conformación de un futuro océano...

Ya en el Cuaternario, si bien los procesos más llamativos de este momento son las glaciaciones, la actividad tectónica continuó (y aún continúa!) siendo intensa, y con ella, la actividad volcánica y sísmica.

En los Andes e Himalaya continuaron los procesos orogénicos, así como continuó la deformación en los bordes de placas convergentes de las Islas Aleutianas, Japón, Filipinas, entre otras. Las interacciones entre la placa Norteamericana y la placa Pacífica persistieron, especialmente a lo largo del límite transformante de la falla de San Andrés, produciendo pliegues, fallas, cuencas y áreas levantadas.

Pero en líneas generales, y hablando en términos de tiempo geológico, podría decirse que la tectónica cuaternaria continúa hoy en día. Este análisis tiene que ver, en parte, con el corto lapso temporal que media entre su inicio y el momento actual.

### ¿Supercontinentes en el futuro?

En cuanto a qué podría ocurrir en el futuro, no se sabe a ciencia cierta cuál podría ser el destino de las placas continentales, sin embargo es posible, a partir de lo anteriormente explicado, intentar predecir su evolución...

Así, según Scotese (2003), podría pensarse que el Océano Atlántico e Índico continuarían expandiéndose, haciendo que la mayoría de las placas se acercaran hasta unirse nuevamente para formar un nuevo supercontinente. Dentro de 50 ma, Norteamérica podría ir rotando en el sentido contrario a las agujas del reloj,

mientras que Eurasia haría lo propio en sentido opuesto, guiando a Inglaterra hacia el polo Norte y a Siberia hacia latitudes subtropicales.

África podría colisionar con Europa y Arabia, cerrándose el mar Mediterráneo y el Mar Rojo. Los Himalayas podrían extenderse desde España a lo largo del sur de Europa atravesando el Este medio hasta Asia, así como Australia quedaría varada en las proximidades del sur de Asia, y una nueva zona de subducción surgiría rodeándola, y extendiéndose hacia el oeste a lo largo del océano indico.

Sin embargo, podría aventurarse el nacimiento de una zona de subducción a lo largo de la costa de toda América, desde el norte hasta el sur, a medida que el océano Atlántico se fuera ampliando, pudiendo comenzar a consumirse el propio fondo del Océano Atlántico...

---

### Varios modelos para predecir el futuro

No hay un único modelo que prediga la evolución del próximo supercontinente; sino que se han propuesto, al menos tres. Uno de ellos habla de **Nueva Pangea** (todos los continentes se desplazan hacia el norte, Sudamérica rota hasta chocar Perú con la costa este de EEUU; Alaska ya no está separada de Asia, y Australia y Antártida pasan a encontrarse donde antes estaba el océano Pacífico. África rota empujando la península Arábiga cerrando el mar Rojo y el golfo Pérsico, además de dividirse Europa en dos, llevándose consigo a las islas Británicas, parte de Francia y la península Ibérica), otro es **Amasia** (los continentes tienen una unión similar pero la Antártida continúa en la misma posición) y el otro se denomina **Próxima Pangea** (el Pacífico no se estrechará tan rápido y el Atlántico desaparecerá antes, volviéndose a unir Europa, África y América; Australia permanecerá en su posición aunque Asia chocará con ella).

---

## ¿Desmembramiento de Pangea?

La idea de que la superficie terrestre y su geografía han ido cambiando a lo largo de su historia no es nueva. A fines del siglo XIX el geólogo austríaco Edward Suess (*The Face of the Earth*, 1885) ya había descrito la similitud en los fósiles de plantas paleozoicas (*Glossopteris*) halladas en secuencias sedimentarias de Sudamérica, Sudáfrica, India y Australia, así como evidencias de glaciación en sus rocas; asimismo, había propuesto el nombre de Gondwana para el supercontinente

compuesto por dichos continentes. Suess pensaba que estos continentes habrían estado unidos por puentes de tierra por donde los animales y plantas habrían migrado, respondiendo a la aparición y desaparición de los fósiles, a la aparición y desaparición de dichos puentes.

Por su parte, hacia 1910 Frank Taylor publicaba un artículo en el que presentaba su propia teoría sobre la deriva continental, basada en la formación de cadenas montañosas como resultado del movimiento lateral de los continentes. En su publicación, Taylor exponía también que los continentes actuales habrían sido enormes masas continentales ubicadas a latitudes polares, que terminaron separándose y migrando hacia el Ecuador cuando la rotación de la Tierra se volvió más lenta (ello debido a gigantescas fuerzas de marea causadas por la captura de la Luna hace 100 ma...).

Un conocido científico alemán, el meteorólogo Alfred Wegener, también propuso su teoría de deriva continental, a principios del siglo XX, en su publicación *The Origin of the Continents and Oceans* (1915). Wegener propuso que, dado que los continentes actuales encajan como piezas de un rompecabezas, éstos habrían estado unidos formando un supercontinente al que llamó Pangea, y para demostrarlo, reunió numerosas evidencias geológicas, paleontológicas y climatológicas.

Sin embargo aunque sus ideas no fueron recibidas por la comunidad científica como él lo esperaba, hubo quienes siguieron sus investigaciones. Y fue así como en 1937 Alexander du Toit, reuniendo más evidencias y desarrollando más sus argumentaciones, contribuyó con su obra *Our Wandering Continent*, en la que entre otras cosas, denomina Laurasia a la masa continental compuesta por las actuales Norteamérica, Europa y Asia (excepto la India).

Pero a pesar de las numerosas evidencias de todo tipo que estos científicos habían podido reunir, lo que no pudieron demostrar fue por qué se movían los continentes. Es decir, qué procesos habían tenido lugar para que, finalmente, se terminaran separando.

Hemos mencionado en varias oportunidades que estos científicos reunían distintas evidencias para sustentar la teoría de la deriva de los continentes, pero... Cuáles fueron esas evidencias?

Existen distintos tipos de evidencias, y entre ellas podemos mencionar las evidencias geográficas, geológicas, paleontológicas y climatológicas.

Como evidencias geográficas entendemos el casi perfecto encastre de las líneas de costa de los continentes; Wegener lo había descrito, particularmente, para las líneas de costa de Sudamérica y África. Aunque en realidad, no son los continentes emergidos los que se pueden "encastrar" sino sus taludes continentales a,

aproximadamente, 2000 m de profundidad desde la costa. Esto está relacionado con el hecho de que en realidad el talud es donde verdaderamente se fragmentaron las placas para dar origen a nuevo fondo oceánico originando, en este caso, el Océano Atlántico.

Cuando se habla de *evidencias geológicas* se está haciendo referencia a, entre otros, el mismo tipo de rocas, la misma estratigrafía, la continuidad de los depósitos sedimentarios y cordilleras montañosas.

Esto sucede con los continentes de Gondwana: a ambos lados del Atlántico las secuencias de rocas de origen marino, continental y aquellas propias de depósitos glaciales no sólo son las mismas, sino que además, poseen edades comprendidas entre el Carbonífero y el Jurásico y se han encontrado en los cinco continentes del antiguo supercontinente de Gondwana.

Por otra parte, las direcciones de las principales cadenas montañosas coinciden al realizar la reconstrucción de Pangea, por ejemplo, cordilleras de Groenlandia, Irlanda, Canadá y Noruega, entre otras.

En cuanto a las rocas también existen coincidencias. Los depósitos glaciales como los de *till* (rocas de origen glacial) son frecuentes en los cinco continentes que se encontraban en el hemisferio sur para esa época: Sudamérica, África, Antártida, Australia e India; asimismo, también fueron halladas evidencias del flujo de los glaciares, estriaciones o marcas en las rocas, que indican la dirección del movimiento de las masas de hielo, las que sólo tienen sentido si dichos continentes se encontraban formando una sola masa continental ubicada en el polo Sur. Estas rocas propias de las glaciaciones son asimismo *evidencias climatológicas*.

A diferencia de las rocas propias de ambiente glacial, también se encontraron depósitos de carbón característicos de aquellos continentes que se encontraban en el hemisferio norte, en esa época, bajo climas tropicales.

Si bien las rocas descriptas son paleozoicas, sólo es posible encontrarle sentido a su presencia si los cinco continentes se hallaban formando una única masa continental.

Por su parte los fósiles, las *evidencias paleontológicas*, también tienen mucho que decir. Éstos aportan importante información respecto de las condiciones ambientales reinantes en ese momento. Así por ejemplo la presencia en los cinco continentes de flora de *Glossopteris*, helecho Carbonífero-Pérmico, evidenciaría la proximidad de tales tierras ya que sus semillas de gran tamaño no podían ser dispersadas a grandes distancias como las actuales. Por otra parte, dicha flora no podría haberse sostenido bajo la diversidad climática actual de los cinco continentes, la que va de tropical a polar... Y así como las plantas, la vida animal

también dejó sus evidencias. Su mejor representante es *Mesosaurus*, un reptil pérmico de agua dulce hallado sólo en Brasil y Sudáfrica, lo que sólo se explica si los continentes hubieran estado unidos, ya que no podrían haber cruzado el océano nadando dado que la fisiología de los reptiles de agua dulce es muy diferente de la de los reptiles de agua salada, y por lo tanto, o no hubieran resistido el viaje, o se hubieran distribuido ampliamente hacia otras regiones. Otros importantes representantes son *Lystrosaurus* y *Cynognathus*, reptiles terrestres del Triásico, encontrados en fragmentos de Gondwana que no hubieran podido atravesar el océano nadando excepto que los continentes hubieran estado juntos o muy próximos.

Si bien el registro fósil no está completo, exhibe interesantes patrones:

- marcada regularidad: organismos de tipos particulares se encuentran en rocas de edades específicas, encontrándose los nuevos en las rocas más jóvenes;
- a medida que avanzamos desde el pasado hacia el presente, los fósiles se asemejan cada vez más a los actuales;
- existen en el registro series de fósiles que demuestran cambios graduales en el linaje de los organismos a lo largo del tiempo...

## Sobre los fósiles, radiactividad y formas de datación

A lo largo de nuestro relato y en variadas oportunidades (por no decir casi siempre) cuando nos referimos a sucesos del pasado geológico “aparecen” los fósiles... fósiles por aquí, fósiles por allá...

Pero en realidad: ¿Qué son los fósiles? Sabemos que los fósiles son testigos de tiempos remotos, en los que muchos de los seres vivos que conforman la biodiversidad actual, e incluso nosotros como especie, no existíamos. Un fósil es lo que quedó de un organismo, un resto o una parte, o quizás un rastro o huella, o alguna evidencia de su forma de vida como una cueva o nido, o también puede ser el producto de algún proceso que realizaba cuando estaba vivo: una sustancia secretada, sus heces. En síntesis, lo que sea que dé cuenta de su existencia como ser vivo en el pasado geológico.

Suena hasta mágico pensar que un organismo que vivió hace tanto, tantísimo tiempo, pueda ser encontrado por nosotros, quizás, en algo tan simple como salir a dar una caminata durante las vacaciones...

La pregunta que surge inmediatamente luego es: ¿Cómo pudo permanecer esa evidencia sin destruirse hasta nuestros días, si vivió quizás, hace miles de millones de años? Cómo se conservó hasta que nosotros lo encontramos?

El tema es que para que esto ocurra deben darse una serie de condiciones y procesos, que en sí, ya son poco frecuentes. En primer lugar, algo debe pasar para que se detenga el ciclo de la materia para esa estructura que constituyó un ser vivo, algo debe interrumpir que sus componentes pasen a ser reciclados naturalmente. Para ello el organismo no debe ser ni consumido ni descompuesto por otros seres vivos como parte de una cadena alimentaria. Además, preferentemente, dicho organismo debe contar con partes resistentes como son los huesos de fosfato de calcio de los vertebrados, los exoesqueletos quitinosos de insectos y artrópodos, los caparazones de carbonato de calcio de moluscos (o silíceos de diatomeas), o la celulosa presente en la pared celular de las plantas, por nombrar sólo algunas.

Para que se interrumpa la descomposición bacteriana, algunas de las condiciones que deben darse son, por ejemplo, la falta de oxígeno en el medio (el fondo de un pantano, por ejemplo), la aridez (que favorece la momificación) o las bajísimas temperaturas, como las que incidieron en la preservación de los mamuts de Siberia.

Por otra parte, es fundamental un inmediato aislamiento para evitar la descomposición. Ello se produce por la combinación de una rápida depositación de sedimentos que lo sepulte y que esos sedimentos sean finos, de manera de que no lo destruyan durante la depositación.

Pero así como se preservan partes duras, muchas veces también suele preservarse la estructura de lo que fueron sus partes blandas. Ello es posible, por ejemplo, mediante la sustitución de la materia orgánica por material mineral, o el rellenado los intersticios y poros por sustancias minerales como sílice (silicificación). Un buen ejemplo de este proceso lo constituyen los bosques petrificados patagónicos, en los que las moléculas orgánicas originales de trocos, ramas y hasta frutos, han sido reemplazadas por moléculas de sílice. Existen asimismo otros procesos de fosilización, como la inclusión en ámbar, la formación de moldes, la formación de impresiones e improntas, entre otros.

En síntesis, las formas de preservación de evidencias de vida del pasado geológico son muy variadas, dependiendo de los factores que se hayan conjugado en un determinado ambiente y a través del tiempo, haciendo posible que ese maravilloso agente de información llegue hasta nuestros días.

Ahora bien ¿cuánto tiempo tiene que pasar para ser considerado *un fósil*? En líneas generales, el mundo científico concuerda en decir que estamos frente a *un fósil* cuando el hallazgo data de, al menos, 10.000 años. Y decimos “en líneas generales” porque esta antigüedad fue establecida considerando aspectos tales

como el tiempo que tarda un resto orgánico en mineralizarse; pero resulta que los tiempos no son tan estrictos y el proceso de mineralización puede extenderse más o menos en función de la conjunción de factores que se establezca en cada caso, en fin...

La importancia del estudio de los fósiles radica en la valiosísima información que estos aportaban a los científicos a la hora de desentrañar incógnitas del pasado, de la historia de la Tierra. Su valor reside en su irremplazable utilidad a la hora de conocer la ubicación temporal de un evento biológico o geológico, de reconstruir paleoambientes y paleoecosistemas, así como la historia evolutiva de la vida sobre la Tierra.

Atendiendo al primer punto, cabe comentar que no fueron las rocas sino los propios fósiles contenidos en ellas, los que permitieron a los primeros geólogos ordenar en el tiempo los hechos del pasado. Si bien ya en el siglo XVII Steno había propuesto que en una secuencia sedimentaria no modificada, las rocas más antiguas eran las que yacían más profundamente (pues eran aquellas cuyos sedimentos se habían depositado primero) y desde allí se hacían progresivamente más jóvenes hacia la superficie, la combinación de las ideas de Steno y con el estudio de los fósiles contenidos en las rocas fue lo que permitió realizar lo que hoy se conoce como *datación relativa*, es decir, la posibilidad de determinar en qué orden ocurrieron los acontecimientos. Y aunque no se pudiera precisar con exactitud el momento ni la cantidad de tiempo transcurrido entre los hechos ni el lapso transcurrido desde ese hecho hasta la actualidad, fue una metodología de trabajo importantísima hasta comienzos del siglo XX. ¿Por qué hasta comienzos del siglo XX? Porque para esos días el conocimiento científico arribó al descubrimiento de la radiactividad.

Ello abrió una nueva visión del estudio del pasado, otro abanico de posibilidades respecto del conocimiento de cuándo habrían ocurrido los acontecimientos y cuánto tiempo habrían durado. Así como surgió lo que conocemos como *datación absoluta*. Este método se basa en evaluar el tiempo transcurrido desde la ocurrencia de un evento, a partir de la medición de la cantidad de un determinado elemento (isótopo estable) presente en un fósil o en la roca que lo contiene, en relación a su correspondiente isótopo radiactivo, conociendo desde ya, la vida media de este último (tiempo que tarda en pasar la mitad de la masa de un determinado elemento radiactivo a un isótopo estable, u otro elemento hijo radiactivo de mayor estabilidad). El método más conocido es el del C-14, ya que todos los organismos intercambian carbono (ambos: isótopos estable y radiactivo) con el ambiente a lo largo de su vida y cuando muere este intercambio cesa, pasando a

constituir el momento en el cual comienza a correr el reloj radimétrico que luego nos dirá cuánto hace que murió. El único problema de este método es que nos limita a edades no mayores de 50.000 años de antigüedad, dada la corta vida media del isótopo radiactivo; pero existen otros métodos radimétricos que emplean distintos elementos radiactivos presentes en las rocas, tales como: el Uranio-238, que tarda 4.500 Ma en transformarse la mitad de su masa en Plomo-206; el Uranio-235, que tarda 713 Ma en transformarse la mitad de su masa en Plomo-207; el Torio-232, que tarda 14.100 Ma en transformarse la mitad de su masa en Plomo-208; el Rubidio-87, que tarda 47.000 Ma en transformarse la mitad de su masa en Estroncio-87; o el Potasio-40, que tarda 1.300 Ma en transformarse la mitad de su masa en Argón-40.

Con respecto a la reconstrucción paleogeográfica, de paleoambientes y paleoecosistemas, recordemos que dijimos que para que los seres vivos puedan escapar a la descomposición y transformarse fósiles, una de las condiciones fundamentales es la ausencia de oxígeno en el medio, por ejemplo, como en un ambiente pantanoso y frío. A un ambiente así, los restos orgánicos podían ser transportados y depositados por agentes como el agua o el viento, pero ¿qué hay de los organismos que vivían en ese ambiente? Inmejorables posibilidades de encontrar el registro fósil de toda una comunidad biológica y con ello, la posibilidad de obtener mucha información de los organismos, de sus interacciones entre ellos y con el medio.

En cuanto a lo concerniente al estudio de la evolución de la vida a través del tiempo, podríamos decir que, conjuntamente con los seres vivos actuales, los fósiles fueron (y son) ciertamente protagonistas de tal reconstrucción; ellos “hablan” del pasado brindando todo tipo de información que los científicos aprendieron a interpretar para reconstruirlo, permitiendo acercarnos al conocimiento de interrogantes tales como: ¿Cómo apareció la vida sobre la Tierra? ¿Esas primeras células fueron los antepasados de las algas? ¿Qué relación existió entre los peces y los anfibios? ¿Las aves derivan de los reptiles? ¿Cómo pasó la vida del ambiente acuático a colonizar cuanta tierra emergida existiera sobre la Tierra? Y como estos, muchísimos interrogantes más. Cada respuesta genera numerosísimas incógnitas que el Hombre ha intentado responder a través de toda la historia de la humanidad y aún continúa trabajando para ello, ya que, si bien se han dado enormes pasos en este sentido, aún queda mucho por conocer.

## CAPÍTULO VI

# *Enseñar Ciencias de la Tierra: un desafío constante*

Barrionuevo Cristian - Ayuso Bibiana - Solari María Julia - Navarro Becerra Natalia - Baldovino Ángel

El principal problema que enfrentamos al enseñar ciencias, es cómo enseñarlas significativamente, o sea, como hacer que el conocimiento científico generado a través del tiempo sea comprendido por nuestros/as alumnos/as y adquiera un sentido, para que pueda ser asociado o relacionado con otros saberes y con problemáticas de la vida cotidiana.

Un estudio publicado en el año 2007, denominado "*Informe Rocard*" (Rocard y otros, 2007) señala que las razones por las cuáles los jóvenes no desarrollan interés por la ciencia son complejas, no obstante, entre las más frecuentes podrían mencionarse:

- Programas escolares muy sobrecargados de contenidos, sin una selección adecuada.
- Los contenidos suelen enseñarse de manera muy abstracta, sin el apoyo de la observación directa o experimentación.
- La mayoría de las veces carecen de relación con situaciones actuales o de relevancia e implicancia social, por lo que muchas veces no establecen un sentido real para los estudiantes.

Entendemos que las preguntas guías ¿Qué enseñar? ¿Cuándo enseñar? ¿Cómo enseñar? y ¿Para qué enseñar? siguen siendo fundamentales para pensar una propuesta didáctica.

Sabemos que no hay recetas para la enseñanza en general, ni para la enseñanza de las ciencias en particular, pero intentaremos hacer algunas propuestas

de trabajo, en las que las disciplinas científicas en general y las ciencias de la Tierra en particular, serán el punto de partida.

Algunas preguntas que orientaran este recorrido son:

- ¿Cómo construir una estrategia adecuada para enseñar los procesos geológicos?
- ¿Podemos recurrir a la observación directa para la enseñanza de dichos procesos?
- ¿Cómo transformar el conocimiento científico en conocimiento escolar?

## Del conocimiento científico al conocimiento escolar

Los estudiantes de los diferentes niveles educativos deben encontrar en la escuela el conocimiento científico válido y significativo que constituye un aporte a su práctica social. Los alumnos portan un conocimiento cotidiano construido en la interacción con el medio social culturalmente organizado y en el que adquieren un lugar preponderante los medios de comunicación masiva. Éste se manifiesta - entre otras cosas - en las costumbres, en la tradición oral, en sus concepciones acerca del entorno, basadas tanto en prejuicios como en conocimientos provenientes de diversas fuentes (escuela, familia, grupo socio cultural, etc).

Tanto, contraponer conocimiento cotidiano y científico como representarlos como dos formas de conocimiento similares no deben considerarse planteamientos necesariamente opuestos. Es necesario considerar a ambos en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

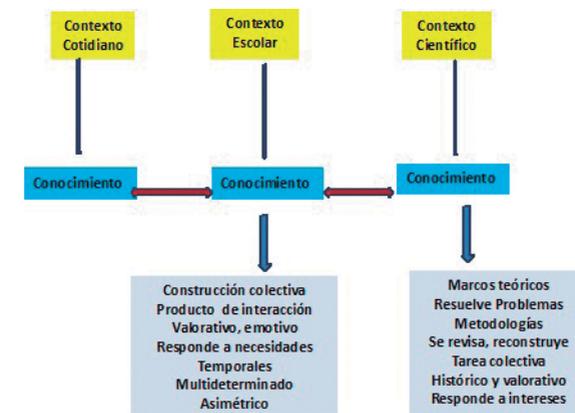
Al desarrollar una propuesta didáctica, los docentes debemos tener en cuenta el conocimiento cotidiano de nuestros estudiantes, el cual muchas veces se suele confundir con las concepciones alternativas, con características y reglas de funcionamiento distintas de las que define al conocimiento científico.

Los niños y jóvenes presentan limitaciones en el proceso de formación de conceptos científicos, tales como ideas previas, obstáculo verbal, peligro de la explicación por la utilidad, conocimiento general y obstáculo animista. Esto se puede explicar a la luz de lo que Bachelard (1976) llamó obstáculos epistemológicos que se presentan en el proceso de aprendizaje de las ciencias. Es necesario que los docentes conozcamos dichos obstáculos para pensar propuestas didácticas que permitan superarlos y facilitar el proceso de aprendizaje.

Coincidimos con Pujol (2003) en considerar a la ciencia como una fuente de descubrimiento que nos permite elaborar explicaciones racionales de los fenómenos naturales, entendiendo las relaciones dinámicas que a lo largo de la historia se han dado entre sociedad y naturaleza.

El conocimiento escolar debería ser aquel que, partiendo de los conocimientos previos de los alumnos, facilite la apropiación de nuevos contenidos, seleccionados de un cuerpo de conocimientos científicos en un proceso de aproximaciones sucesivas. Es necesario aclarar en este sentido, que el conocimiento que se elabora en la escuela no es conocimiento científico sino que, al tomarlo como referencia y transponerlo didácticamente, da origen a otro tipo de conocimiento de características particulares ajustadas al contexto escolar, que permite complejizar el conocimiento cotidiano de los alumnos - lo que implica reconocer, respetar y valorar sus ideas - para trascenderlo.

Figura 6.1 Construcción del conocimiento en los contextos cotidianos, científicos y escolares.



Fuente: elaboración de los autores.

Así como el trabajo de los científicos respecto de los procesos que se dan en la Tierra tiene por finalidad producir conocimiento que permita describir y explicar dichos fenómenos, procesos y estructuras y plantear soluciones a las problemáticas que en ella se dan; el trabajo escolar consiste en enseñar contenidos de las Ciencias para que los alumnos puedan entender, comprender y explicar dichos procesos y fenómenos. Este medio es propicio para comprender la complejidad de la dinámica y estructura de la Tierra. La Tierra es el lugar donde viven, y en ella pueden observarse fenómenos que muchas veces pasan desapercibidos para el ojo desacostumbrado, la Tierra contiene una enorme cantidad de seres y cosas que, por su interacción posibilitan un proceso de cambio permanente (Belloch, 1984).

El rol del docente como guía en el descubrimiento de la dinámica terrestre es fundamental.

El trabajo en el medio natural tiene un carácter altamente significativo para el alumno. A la vez que es portador de un importante potencial didáctico, sobre todo si tenemos en cuenta que constituye:

- Un núcleo de contenidos.
- Un ámbito de investigación.
- Un ámbito de problemáticas socio-naturales.
- Un recurso didáctico innovador.
- Un ámbito de observación directa.

**Un núcleo de contenidos:** porque del medio natural, de las actividades que se desarrollan y de los usos que se hacen de él, pueden desagregarse contenidos tales como:

*El ambiente* (conservación, deterioro, problemática ambiental, paisaje, contaminación, riesgos naturales, ambiente urbano, ambiente natural, recurso natural, degradación).

Actividades humanas que se desarrollan:

- *Localización* (ubicación, orientación, distancia, planos, mapas, maquetas, etc.)
- *El paso del tiempo* (cambios y permanencias, conformación y transformación).
- *Relieve*
- *Erosión* (hídrica, eólica, biológica)
- *Volcanes*
- *Montañas*
- *Formaciones rocosas*
- *Fósiles*
- *Impactos Ambientales*
- *Minería*

**Un ámbito de investigación:** porque permite propiciar actividades tales como: observar, elaborar registros, sistematizar, analizar y describir las observaciones, establecer relaciones entre elementos y funciones, reconocer cambios y permanencias, etc.

**Un ámbito de problemáticas socio-naturales:** porque el tratamiento de problemáticas como la desertificación, la contaminación, la tensión entre urbanización y zonas potencialmente peligrosas (sísmicas, inundables), la salinidad de los suelos, los asentamientos poblacionales en zonas de riesgo - sólo por nombrar

algunas - constituyen el centro de las preocupaciones sociales cuyo abordaje, necesariamente interdisciplinar, posibilita explicar y comprender las relaciones que se dan en el medio y desarrollar progresivamente una conciencia ambiental.

**Un recurso didáctico innovador:** porque permite desarrollar actividades que resultan atractivas para los alumnos que acrecientan las posibilidades de apropiación de los contenidos en tanto constituyen experiencias directas: salidas de campo, visitas, recorridos, etc.

## La salida de campo: Una estrategia para la enseñanza de la geología

Esta estrategia didáctica posibilita un aprendizaje significativo del espacio natural en el que viven nuestros alumnos, y ayuda a lograr los objetivos que permitan la mejor comprensión tanto de los contenidos geológicos como de la construcción de conocimiento científico.

La **salida de campo** es una estrategia que permite a los alumnos un contacto directo con los elementos constitutivos, las relaciones y los procesos que se dan en el medio natural del espacio local. La misma posibilita la construcción de conocimientos a partir de lo vivenciado, pero es necesario que ésta sea lo suficientemente planificada y que durante su transcurso haya una intervención docente que oriente **la observación, la descripción y la explicación** de los fenómenos que provea esta experiencia.

Destacamos la importancia del conocimiento directo del ambiente, ya que es una metodología adecuada para comprender el medio natural y los cambios que en él se producen, como así también la influencia y responsabilidad que el hombre tiene respecto del mismo.

Es a través de la salida de campo donde la información científica se traduce al lenguaje común, donde se puede confrontar lo que pensamos, lo que está escrito y lo que sentimos. Es la manera vivencial y placentera de asimilar, comprender e interpretar el paisaje natural, donde algunos procesos geológicos están al descubierto y nos permiten construir conocimiento sobre un fenómeno.

El trabajo de campo en la enseñanza de la Geología no es una simple actividad complementaria de ilustración de una teoría sino un recurso educativo esencial dado que el análisis del ambiente físico, debido a la escala espacial y temporal

de los procesos geológicos, requiere la toma de contacto directo con el objeto de estudio. En los últimos años, el diseño de una salida de campo se ha transformado en una estrategia indispensable en los procesos de aprendizaje de distintos aspectos de la Geología. Como estrategia didáctica, *el diseño de un trabajo de campo* requiere la puesta en marcha de actividades pre, sin y post salida. En vista de ello, a continuación se propone una serie de etapas básicas que permiten la propia construcción de conocimiento así como el desarrollo de ciertas competencias procedimentales y actitudinales necesarias para el abordaje de estas temáticas. Se espera en consecuencia, que vivenciando las distintas etapas propuestas, puedan desarrollarse las competencias necesarias para desempeñarse como un guía esencial del aprendizaje de sus futuros alumnos.

### Antes de la salida

Para el diseño de una salida de campo, en primer lugar deben tenerse en cuenta con claridad los objetivos y los contenidos, además de la duración y organización de la misma.

En función de los contenidos desarrollados en este libro, el objetivo sería observar y llegar a reconocer evidencias de la Tectónica de placas en el ámbito local.

Para ello, el primer paso sería proponer y guiar a los alumnos en la *selección de la zona de interés*. En este punto es necesario trabajar en la recolección de toda la información geológica disponible, teniendo siempre presente que se trata de algún punto en alguna porción de una placa litosférica (centro o borde de placa). Es fundamental, como parte de la información a reunir, hacerse de mapas a distintas escalas e imágenes satelitales, a fin de lograr una correcta ubicación espacial. Aquí destacamos la importancia de dedicar algún tiempo a realizar actividades que permitan poder interpretar el material cartográfico reunido a fin de poder seleccionar la zona de interés para luego pasar a delinear el recorrido a realizar.

Una vez seleccionada la zona de trabajo, se solicitará a los alumnos (en grupos) realizar *un borrador del posible itinerario* sobre la base de un mapa, el punto de salida, de llegada y posibles puntos de paradas intermedias, teniendo en cuenta el tiempo disponible para realizar la salida (se sugiere, para el caso de alumnos de la enseñanza media, una extensión temporal de no más de 5 horas) y aspectos tales como las posibilidades de acceso.

Otro punto importante a abordar en esta instancia es el material necesario para la salida: instrumental a emplear, indumentaria y alimentos, actividades a desarrollar durante el recorrido (como observación, descripción, colección de

datos, etc.) a fin de poder realizar las previsiones necesarias para el adecuado desarrollo del trabajo.

De ser posible, se recomienda la realización de una *salida de reconocimiento*, a fin de corroborar y/o corregir todos los aspectos de la labor realizada. Esto constituiría una excelente etapa de aprendizaje basada en la autoevaluación, permitiendo corregir aspectos mal diagramados e identificar la necesidad de introducir aquellos no considerados.

Una vez realizados los ajustes derivados de la salida de reconocimiento, entonces sí se estaría en condiciones de pasar a realizar la salida de campo propiamente dicha, tendiente a que los alumnos desarrollen su propia propuesta de una salida de trabajo de campo.

El/a docente deberá realizar una aproximación conceptual sobre el tema o problema a trabajar, de acuerdo con el ¿para qué? del recorrido a realizar. Se define la ruta y programa a seguir. Se formulan las recomendaciones y aspectos a considerar.

A partir de explicitar el lugar al que se va a ir, se relevarán las ideas previas, por lo que sugerimos comenzar con preguntas tales como:

- La Tierra ¿ha sido siempre como es ahora?
- Nuestro planeta ¿está cambiando en este momento?
- ¿Qué cosas creen que cambian en la naturaleza?
- Una montaña ¿puede hacer cambiar un río?
- Un río ¿puede hacer cambiar una montaña?

### Durante la salida

En esta etapa los alumnos en forma autónoma, con la tutoría del docente, desarrollarán el trabajo de campo por ellos diseñado. Durante el mismo, analizarán la pertinencia del itinerario propuesto, explicando los contenidos a abordar en punto de parada intermedio y fundamentando las actividades propuestas en cada una de ellas, como toma de datos, muestras y fotografías y realización de las mediciones que fueran necesarias.

También se estimulará la explicación de lo observado tendiendo a que los alumnos puedan argumentar por qué el medio se presenta de ese modo particular. En este punto el docente tratará de que los alumnos puedan establecer relaciones entre todos los elementos: suelo, relieve, clima, vegetación, actividades humanas, introduciendo nuevas preguntas que pongan en tensión las explicaciones equívocas o incompletas.

Otras actividades importantes durante la salida son: el plano del recorrido, el dibujo del relieve, el registro del viento, las tomas fotográficas, la recolección de muestras de suelo, las mediciones (por ejemplo, la de la altura de escalones, desniveles del suelo, escarpas, etc.)

## Después de la salida

De vuelta en el aula, los alumnos deberán organizar la información y material colectado durante la salida. Ello les permitirá identificar la información esencial y la accesoria, así como aquella que deberían haber recabado y no lo hicieron.

Este es el momento en que se proveerá la información teórica necesaria que permita a los alumnos un conocimiento más completo y sistémico del sistema natural. Será necesario contar para ello con planos, mapas, fotos satelitales, perfiles ideales de relieve y todo el marco conceptual pertinente.

En esta instancia podría proponerse a los estudiantes, a modo de evaluación del proceso que están llevando a cabo, la elaboración y presentación de informes y trabajos que permitan al docente hacer sugerencias, observaciones para que amplíen o rectifiquen si fuera necesario.

Luego, cada grupo deberá compartir con sus compañeros de clase su propuesta de salida de campo realizando la exposición en plenario de la misma, la que se propondrá para su análisis y discusión con sus pares.

## Enseñar a partir de problemáticas

Una Actividad posible para abordar didácticamente el contenido del libro, es la propuesta de análisis de posibles riesgos geológicos en Argentina. Recuperamos la definición de riesgo geológico diciendo que son los procesos en el medio geológico, natural o inducido, que pueden generar daños en los seres vivos, daño económico o daño social.

Cuando se analiza el riesgo geológico, deben tenerse en cuenta otros conceptos como la **susceptibilidad**: que es la probabilidad de que se produzca un proceso geológico en una región concreta; la **vulnerabilidad**: que sería el impacto del fenómeno en un lugar determinado ( incluye desde el uso del territorio, hasta la estructura de las construcciones, íntimamente relacionado con la respuesta de la población frente al riesgo geológico) y la **peligrosidad**: que es la probabilidad de que ocurra un suceso natural de riesgo, con una determinada duración, intensidad

y extensión y de consecuencias negativas.

Observando y analizando el mapa de la República Argentina pueden planificarse varias actividades con los alumnos para determinar posibles riesgos geológicos, teniendo en cuenta las diversas características del país.

Como primera actividad, se les podría solicitar a los alumnos que observen los riesgos marcados en el mapa, y diferencien los de origen natural de aquellos inducidos por la actividad antrópica.

Teniendo en cuenta los de origen natural, analizar la distribución de volcanes en nuestro territorio, determinar el origen geológico de los mismos y cuales son aquellos que se encuentran activos.

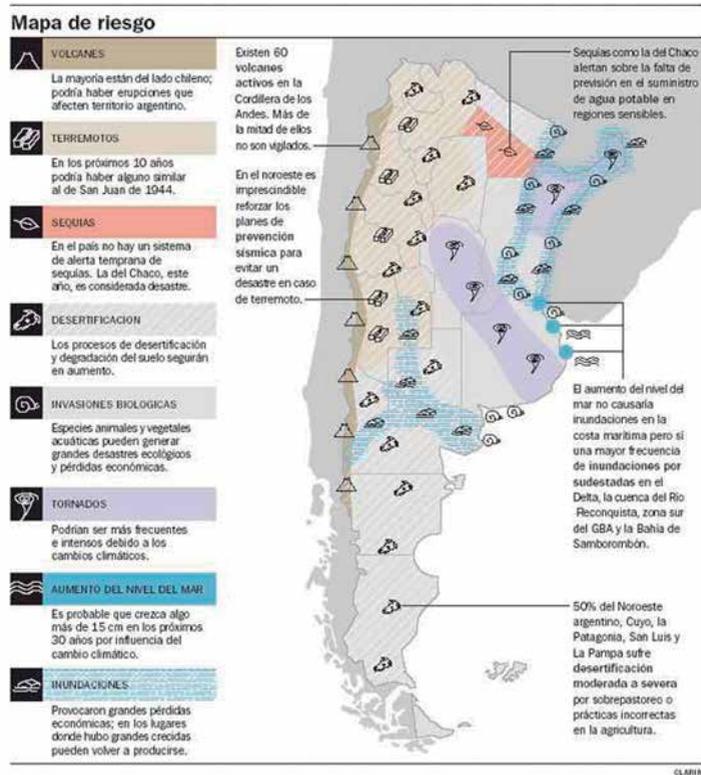
**Analizar:** ¿Cuáles podrían ser los riesgos de qué un volcán esté en actividad?

Seleccione una región de la cordillera andina y desarrolle un plan de gestión teniendo en cuenta la regla de las 3 P: prevención, predicción y previsión.

- Predicción: permite anunciar con rigor científico la ocurrencia de un fenómeno de riesgo natural, su ubicación geográfica, temporal y su desarrollo.
- Previsión: es la estadística de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de riesgo en sus diferentes grados de intensidad. Permite predecir los efectos que puede producir un determinado riesgo y las consecuencias dependiendo las diferentes intensidades que podría presentar.
- Prevención: es respuesta a la predicción y previsión, la población podrá llevar a cabo una serie de medidas para minimizar los daños materiales y las consecuencias negativas.

A continuación observamos un mapa de riesgo, que nos permitirá guiar el desarrollo de esta propuesta.

Figura 6.2. Mapa de riesgo de la República Argentina



Fuente <http://cienciasdelatierragh.blogspot.com.ar/2011/05/riesgo-geologico.html>

## BIBLIOGRAFÍA

- Bachelard, G. (1976) La formación del espíritu científico. 5 ed. México: Siglo Veintiuno, editores, S.A.
- Belloch, M. (1984) Por un aprendizaje constructivista de las ciencias. Propuesta didáctica para el ciclo superior de básica. Aprendizaje Visor. Madrid
- Bertalanffy Von, L. (1976). Teoría General de los Sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, México.
- Carniel R. (2012). Time series analysis: dynamical evolution of spectral, deterministic and stochastic parameters for the characterization of volcanic activity, Geophysics and geochemistry, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS ), Developed under the Auspices of the UNESCO , Eolss Publishers, Oxford, UK. <http://www.eolss.net>.
- Folguera, A.; Ramos, V. y Spagnuolo, M. (2006) Introducción a la Geología. El planeta de los dragones de piedra. Eudeba.
- Folguera, A. y Spagnuolo, M. (2010) De la Tierra y los planetas rocosos. Una introducción a la tectónica. Colección Las Ciencias Naturales y la Matemática. Ministerio de Educación INET. Buenos Aires.
- González, María A. y Jorge Bejerman (2004): Peligrosidad geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Buenos Aires, ASAGAI
- Montero, C.; García, V. y Guzmán, S (2012). Artículos Vol. 2 Núm. 3. IBIGEO-CONICET. Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro
- Ortiz y García (2000). Seguimiento y pronóstico de erupciones. En: Astiz M., García A. (Eds.), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica volcánica. Servicio de Publicaciones Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote. Madrid. 458 p.
- Pujol, R.M. 2003. Didáctica de las ciencias en la educación primaria. Editorial Síntesis. Madrid.
- Recalde, S.; Mandón, M.J.; Torres, P.; Diez M.A. (2013) Cambio Climático. Escritura en Ciencias del INFD. Ministerio de Educación de la República Argentina
- Rocard, M.; Csermely, P.; Jorde, D.; Lenzen, D.; Walweg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007) Enseñanzas de las ciencias ahora: una nueva pedagogía para el futuro de Europa.
- Scotese, C.R. (2003). Continental Drift. 7th edition, PALEOMAP Project, Anlinton, Texas, 79 pp.
- Strahler, A. (2004) Geología Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona.
- Tarback, E., Lutgens, F. (2004) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Prentice Hall, Madrid
- Torsvik, Trond H. 2003: The Rodinia jigsaw puzzle. Science 300: 1379-1381.

## INFORMACIÓN EN LÍNEA

<http://www.scotese.com/>

<http://www.poramoralaciencia.com/2013/10/21/carl-sagan-un-punto-azul-palido-2/>

## Sobre los autores



### Cristian Ariel Barrionuevo

Es Profesor en Ciencias Biológicas, Licenciado en la Enseñanza de las Ciencias Experimentales, Diplomado Superior en Enseñanza de las Ciencias y Especialista en Investigación Educativa. Por amor y pasión a las Ciencias, continúa sus estudios de Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la UNL. Es docente investigador del INFD y capacitador en la formación docente provincial para el nivel primario y secundario en las áreas de Biología y Ciencias Naturales. Incursionó como profesor en el IES de Villa Berthet, en el nivel medio y actualmente se desempeña en el IES "Miguel Neme" en la localidad de Las Breñas.



### Bibiana Alicia Ayuso

Es Profesora de Ciencias Biológicas, Especialista en Investigación Educativa y Magister en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Se desempeña como profesora de Nivel Superior en Didáctica de las Ciencias Naturales. Participa en investigación educativa en el área de la didáctica de las Ciencias. Autora de numerosas publicaciones sobre temas de su especialidad, ha dictado numerosos cursos, talleres, seminarios y conferencias. Durante el período 2012-2014 se desempeña como presidenta de la Asociación de Docentes de Biología de la Argentina.



### Natalia Alejandra Navarro Becerra

Es Doctora en Ciencias Biológicas, Bióloga, tiene una Diplomatura en Enseñanza de las Ciencias. Profesor de Ciencias Naturales y Ciencias Naturales y su Didáctica I en el Profesorado de Educación Primaria en el IFDC-Villa Mercedes. Capacitador en la Especialización de la Enseñanza de los NAP, en Jornada Ampliada en primaria, en el ciclo de Fortalecimiento de la Enseñanza de las Ciencias en secundaria. Se ha desempeñado como docente en ámbitos universitarios públicos y privados. Ha coordinado un Taller de Ciencia para niños y

actividades relacionadas con el arte y la ciencia. Participó del proyecto Escritura en Ciencias 2010, en el libro Cerebro y Memoria.



### **Ángel Alejandro Baldovino**

Es profesor para la Enseñanza primaria y profesor en Geografía y Ciencias Biológicas. Actualmente se desempeña como profesor del IES “Las Garcitas” y el “IES Colonia Elisa” en el Área de Ciencias Naturales y Ciencias Sociales del 2º Año del profesorado para la educación primaria. Ha participado en Ferias de Ciencias a nivel institucional y en el Ciclo de Ciencia sobre Ciencias Naturales organizado por el INFD. Es docente capacitador en Formación Docente en Servicio en educación primaria y colaborador en capacitación en Servicio para escuela media. También se ha desempeñado en el Ministerio de Educación de la Provincia del Chaco.



### **María Julia Solari**

Es Licenciada en Geología, Especialista en Ambiente y Patología Ambiental. Es profesora en el nivel medio en Biología, Ciencias de la Tierra e Introducción al Conocimiento Ambiental. En el nivel Superior en Ciencias de la Tierra y Mineralogía en los Profesorados de Biología y Química, y de Perspectiva Ambiental I en el Profesorado de Geografía dependientes de la D.G.C. y E. de la Provincia de Buenos Aires. Asimismo se desempeña como docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Ha dictado numerosos cursos de capacitación destinados a docentes del nivel medio y primario en temáticas relacionadas con las Ciencias de la Tierra y Ciencias del Ambiente.



# SERIE CUADERNOS DE TRABAJO DOCENTES APRENDIENDO EN RED

El sector de Educación de la Oficina de Montevideo-Representación ante el MERCOSUR implementa sus acciones programáticas a nivel nacional y subregional en el marco del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC 2007).

Los ministros de Educación de la Región han afirmado que la educación es un bien público y llave para la construcción de un mundo más justo, señalando siete temas centrales en sus recomendaciones ([www.unesco.org/Santiago](http://www.unesco.org/Santiago)). Esta nueva serie de publicaciones, que hemos titulado Docentes Aprendiendo en Red (DAR) se nutre selectivamente de las recomendaciones referentes al "derecho de las personas a aprender a lo largo de la vida" desde "enfoques educativos para la diversidad, la inclusión y la cohesión social". La serie pretende acercar al docente lector materiales de apoyo educativo, elaborados por algunos de sus pares docentes que han sido participantes activos de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

A nivel nacional, implementar estas recomendaciones potencia una de las funciones de la UNESCO que denominamos "laboratorio de ideas". En ese sentido, la temática de acortar distancias entre las investigaciones universitarias y la formación de docentes en ciencias es uno de nuestros centros de interés programático. Entendemos que trabajar a favor de los educadores de la enseñanza demanda asistir técnicamente en el diseño de proyectores innovadores fundamentalmente en dos aspectos:

a) Requerir y fomentar equipos con profesionales diversos que sean referentes para el tema seleccionado y se encuentren dispuestos a "Aprender juntos" (Delors 1996)

b) Incluir en el diseño instancias colectivas de formación, discusión y planteo de dificultades conceptuales, con el objetivo de estimular aprendizaje y capacidades de producción de materiales escritos por docentes.

Los cuadernos de trabajo "Escritura en Ciencias" en el marco de la serie DAR han sido generados por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación Argentina a través de una convocatoria abierta a los Institutos de Formación Docente de gestión pública de todo el país.

Los cuadernos de Escritura en Ciencias se ponen a disposición de formadores y alumnos de la formación docente como materiales de apoyo educativo elaborados por pares que han sido participantes activos como integrantes de equipos de trabajo que llevan adelante de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

El trabajo de los coordinadores ha sido complejo e indispensable para el éxito de este tipo de proyecto. Las contrapartes por países han hecho propio este diseño y ajustado a sus realidades temáticas y de arquitectura (presencial y/o virtual). De esta manera, la temática de Paraguay es "La Escritura en Paraguay", en Argentina "Escritura en Ciencias" y en Uruguay "Celebrando el Año Internacional de la Química". Los coordinadores generales, así como los de Escritura han desarrollado un análisis crítico del proceso y han sabido guiar las intrincadas relaciones generadas cuando se "aprende haciendo" contribuyendo a resolver conflictos y logrando el mejor documento posible. En ese sentido, vaya a todos ellos nuestro agradecimiento.

María Paz Echeverriarza  
Profesional del Programa Educación  
UNESCO Montevideo

## ARGENTINA NOS INCLUYE



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Educación  
para Todos  
MERCOSUR