

Explorando las Geociencias en todo el mundo



Chris King

Approved by:
the International Geoscience Education Organisation
the International Union of Geological Sciences
the European Geosciences Union
for the teaching of the International Geoscience Syllabus

Copyright: Chris King of the International Geoscience Education Organisation

- Original material published included in this publication may only be reproduced with the prior permission in writing of the author or as expressly permitted for educational or research use under the terms agreed with the appropriate reprographics rights organisation.
- If permission to reproduce original material published here is granted by the author, appropriate acknowledgement must be given.
- Copyright material reproduced here by permission of other publications rests with the original publisher.

First published: 2019

ISBN: 978-1-9996264-2-6

Published at: <http://www.igeosced.org/teaching-resources/geoscience-text-books/>

Copyright: Chris King on behalf of the International Geoscience Education Organisation



Contents

0	¿Por qué explorar la geociencia?	0
1	La Tierra como un sistema cambiante	1
1.1	Atributos	1
1.2	Interacciones	2
1.3	Comentarios	3
1.4	Procesos y productos.....	5
1.4.1	Ciclos.....	5
1.4.2	El ciclo del agua	5
1.4.3	Flujos, almacenes y tiempos de residencia	7
1.4.4	El ciclo de las rocas.....	7
1.4.5	El ciclo del carbono	9
1.5	Fuentes de energía	11
2	La Tierra es un sistema, dentro del sistema solar, dentro del universo	13
2.1	Orígenes.....	13
2.2	El sol.....	18
2.3	Sol, Tierra y Luna	18
2.3.1	Día/noche	18
2.3.2	Las estaciones	20
2.3.3	Las fases de la Luna	21
2.3.4	Eclipses	21
3	La Tierra es un sistema que ha cambiado con el tiempo	23
3.1	Intervalo de tiempo geológico	23
3.2	Datación relativa	23
3.3	Datación absoluta	32
3.4	Tasas de procesos	34
4	El Sistema Terrestre comprende esferas que interactúan	38
4.1	Geosfera.....	38
4.1.1	Materiales y Propiedades de la Tierra	38
4.1.1.1	Minerales.....	38
4.1.1.2	Rocas	40
4.1.1.3	Fósiles	42
4.1.1.4	Rocas Sedimentarias	41
4.1.1.5	Rocas Ígneas	44
4.1.1.6	Rocas Metamórficas	47
4.1.1.7	Suelo	49
4.1.2	Procesos terrestres y características observadas	50
4.1.2.1	Procesos superficiales	51
4.1.2.2	Procesos Sedimentarios	56
4.1.2.3	Procesos Ígneos.....	59
4.1.2.4	Procesos Metamórficos.....	63
4.1.2.5	Procesos deformantes	65
4.1.3	La estructura de la Tierra y sus evidencias	69
4.1.3.1	Evidencias	69
4.1.3.2	La corteza.....	71

4.1.3.3	El manto	74
4.1.3.4	El núcleo.....	74
4.1.3.5	La litosfera.....	75
4.1.4	La tectónica de placas y sus evidencias	76
4.1.4.1	Una teoría unificadora.....	76
4.1.4.2	Formación de placas y subducción.....	80
4.1.4.3	Características de los márgenes de placas	81
4.1.4.4	Mecanismos y tasas de movimiento	91
4.1.4.5	Evidencia.....	92
4.2	Hidrosfera.....	97
4.2.1	Agua continental.....	97
4.2.1.1	Fuentes de agua continental.....	97
4.2.1.2	Abastecimiento de agua.....	100
4.2.1.3	Contaminación del agua	102
4.2.2	Agua oceánica.....	102
4.2.2.1	Composición del agua.....	103
4.2.2.2	Mareas	103
4.2.2.3	Olas	105
4.2.2.4	Circulación de fluidos a gran escala en la Tierra	106
4.3	Atmósfera	111
4.3.1	Composición atmosférica.....	111
4.3.2	Flujo atmosférico.....	112
4.3.3	Cambio atmosférico	115
4.4	Biósfera	122
4.4.1	Evolución.....	122
4.4.2	Impacto en otros sistemas	128
5	El Sistema terrestre produce recursos.....	132
5.1	Materias primas y combustibles fósiles	133
5.1.1	Materias primas a granel para la construcción	133
5.1.2	Materias primas a granel para la industria.....	134
5.1.3	Minerales metálicos.....	136
5.1.4	Minerales Industriales	137
5.1.5	Combustibles Fósiles	138
5.1.5.1	Turba y Carbón	138
5.1.5.2	Petróleo y Gas Natural.....	140
5.1.6	Prospección.....	144
5.1.7	Protección y remediación ambiental	147
5.2	Fuentes de Alimentación.....	151
5.2.1	Energía de combustibles fósiles	152
5.2.2	Energía renovable.....	153
6	Interacciones del Sistema humano / terrestre	158
6.1	Peligros Naturales.....	158
6.1.1	Erupción	158
6.1.2	Sismo	172
6.1.3	Tsunami.....	182

6.1.4	Movimientos en masa	190
6.2	Problemas ambientales.....	196
6.2.1	Erosión	197
6.2.2	Cambios de drenaje	200
6.2.3	Desperdiciando el Agua	200
6.2.4	Polución.....	204
6.2.5	Minas/Canteras	206
6.2.6	La quema de combustibles fósiles y el efecto invernadero	207
6.3	Impacto en la historia de la humanidad.	208
6.3.1	Guerras por recursos.	210
6.3.2	Migración por el cambio climático.	211
7	El sistema de la Tierra se explora a través del trabajo práctico y de campo	214
7.1	Observación, medición y registro.....	219
7.2	Síntesis de observaciones	223
7.3	Investigación y validación de hipótesis.	227
	Glosario	230
	Glosario de elementos, compuestos e iones	231
	Imágenes y créditos	237
	Figuras	237
	Cuadros.....	244
	Tablas.....	250

En memoria del profesor Chris King, 1949- 2022



Photo: Giuseppe Di Capua

'Explorando las Geociencias en todo el mundo'

Este libro fue concebido y escrito por el profesor Chris King y publicado en línea en 2019. Le siguen una serie de traducciones y versiones "personalizadas". La última de ellas es "Explorando la Geociencia en todo el Globo - Inglaterra". Esto fue finalmente editado y publicado quince días antes de que Chris muriera tristemente el 17 de febrero de 2022, quien estaba encantado de saber que esto se había logrado.

IGEO, IUGS, y EGU, que propusieron el libro y anexos, desean rendir homenaje al increíble trabajo de Chris y su dedicación para llevarlo a buen término.

Sin duda, estos libros deben ser considerados como el punto culminante de la voluminosa producción de publicaciones de Chris, todos ellos destinados a mejorar la comprensión y el aprecio de los jóvenes de nuestra maravillosa Tierra y las formas en que funciona. No podría haber un memorial mejor para Chris que sus libros reciban la más amplia publicidad posibles y sean puestos en manos de tantos jóvenes y sus maestros en todo el mundo como sea posible - ¡y de forma gratuita!



Photos supplied by: R. Shankar and Peter Kennet



Prólogo de Iain Stewart

Profesor de Geociencias de la Comunicación y director del Instituto de la Tierra Sostenible, Facultad de Geografía, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Plymouth, Inglaterra.



Los estudios internacionales muestran que la calidad de la educación escolar en geociencias en todo el mundo es muy variable, el apoyo que se ofrece a los profesores de geociencias es generalmente deficiente y los libros de texto disponibles en muchos países son a menudo deficientes y, en algunas áreas, inexistentes.

Por lo tanto, en este contexto bastante gris, es maravilloso poder dar la bienvenida al color y la vitalidad del libro de texto *“Explorando las Geociencias alrededor del mundo”*. Surgió de una iniciativa desarrollada para apuntalar el Programa Internacional de Geociencias, y es defendido por organizaciones internacionales, incluyendo la Organización de Educación Geocientífica, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas y la Unión Europea de Geociencias.

Esta versión internacional del libro de texto es un recurso de código abierto y descarga gratuita para su uso en cualquier parte del mundo por profesores, estudiantes y escritores de libros de texto. Ha sido escrito para ser lo más accesible y atractivo posible, y también para ser fácilmente traducible a otros idiomas. Una vez que la versión internacional se haya regionalizado para otras partes del mundo, y traducido, según sea necesario, entonces un nuevo recurso, verificado por expertos, estará disponible para apoyar la enseñanza y el aprendizaje en geociencias.

Es un placer poder respaldar esta iniciativa bienvenida y oportuna y animar a los interesados en la educación en geociencias de todo el mundo a asumir la tarea de regionalizar y traducir el libro de texto para su uso en sus propias regiones, difundiendo así su interesante contenido y su importante mensaje lo más ampliamente posible.

Iain Stewart.

Prólogo de Roberto Greco

Profesor adjunto del Departamento de Política Científica y Tecnológica del Instituto de Geociencias de la Universidad Estatal de Campinas (Brasil) y presidente de la Organización Internacional para la educación en geociencias.



La enseñanza de las geociencias aún no es reconocida a nivel internacional con la misma relevancia que la física, la química y la biología, y esto deja un gran vacío en la formación de los futuros ciudadanos y en la forma en que pueden enfrentar grandes problemas como planificación territorial, uso de materias primas, desastres naturales y cambio climático.

El Prof. Emérito Chris King (Reino Unido) fue el primer coordinador de la Organización Internacional de Educación en Geociencias (IGEO) y llevó a cabo varios proyectos internacionales para estudiar la situación de la educación en geociencias en el mundo. Uno de los resultados de esta investigación fue que en muchos países los libros de texto escolares no están disponibles en el nivel secundario o no eran muy buenos pues se encontraron muchos errores. Fue así como en los últimos años de su vida Chris King se dedicó a preparar un libro de texto en formato e-book que pudiera estar disponible de forma gratuita y que además se pueda traducir y adaptar al contexto local en cualquier parte del mundo. Por lo tanto, el libro electrónico *Explorando las Geociencias alrededor del Globo*, es un proyecto colaborativo iniciado por el Dr. King pero que otros pueden continuar y mejorar. La posibilidad de tener el texto en el propio idioma ayudará a la difusión y uso de este libro de texto. También es importante introducir ejemplos locales e imágenes de la región para que los estudiantes puedan consensuar mejor los conceptos. Todo esto solo es posible gracias al trabajo voluntario de todos los especialistas que se dedicaron a este proyecto. En ese sentido, agradezco a los colegas de LAIGEO que realizaron la traducción al español del libro.

El libro incluye materiales complementarios como actividades prácticas y de campo, que los profesores pueden encontrar y descargar en el mismo sitio web de IGEO en formato PDF: <http://www.igeoscienced.org/teaching-resources/geoscience-libros-de-texto/>

Esta publicación fue reconocida por la Organización Internacional para la Educación en Geociencias (IGEO - Organización Internacional de Educación en Geociencias) y la Comisión de Educación en Geociencias (COGE - Comisión de Educación en Geociencias) de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS - Unión Internacional de Ciencias Geológicas).

El profesor King falleció el 17 de febrero de 2022, pero antes logró terminar este proyecto y la comunidad de IGEO continuará apoyando esta iniciativa al continuar con las actividades de traducción y hacer que los materiales estén disponibles en línea.

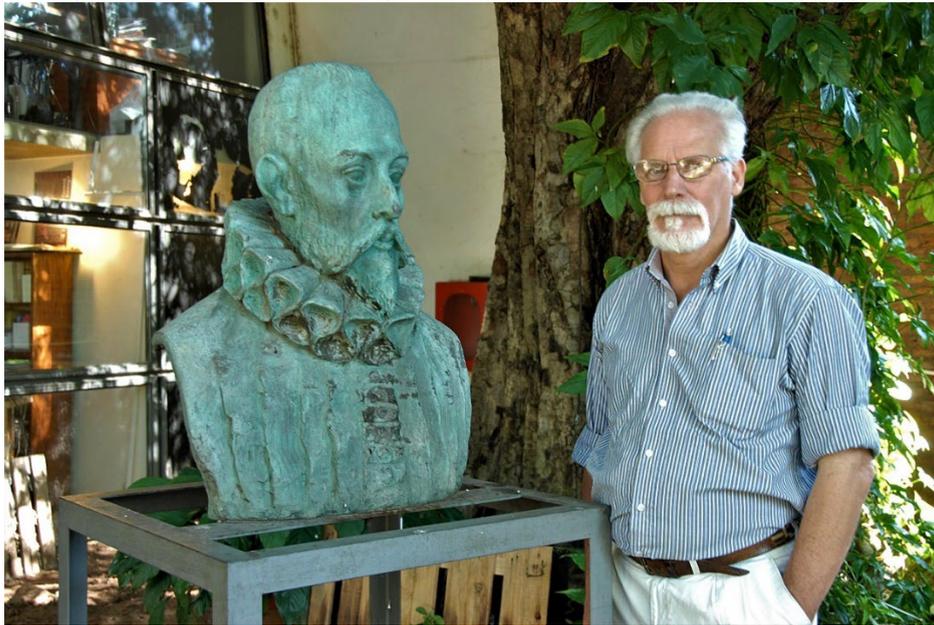
Esperamos que este trabajo pueda ser de utilidad para estudiantes, docentes de educación básica y aquellos que desee acercarse y comprender un poco mejor las dinámicas y procesos do planeta que habitamos.

¡Buena lectura!

Roberto Greco

Prólogo de José Sellés-Martínez

Licenciado y Doctor en Geología por la Universidad de Buenos Aires (Argentina) con especialidad sobre Hidrogeología en la Universidad Complutense de Madrid (España).



“Enseñar a enseñar a aprender”, parece un juego de palabras, pero creo que esta es la idea subyacente en toda la trayectoria educativa de Chris King, a quién conocí en un lugar muy lejano de nuestras respectivas residencias habituales. Fue en Sídney (Australia), justo cuando cambiábamos de siglo y con motivo de mi primera participación en las reuniones GeoSciEd. Allí y entonces se fundó la IGEO, de la cual Chris sin duda fue impulsor, aunque la propuesta fue presentada por otro prócer de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Nir Orion, y donde los representantes de Corea sembraron la simiente que fructificaría luego en la reunión de Seúl y daría origen a la exitosa serie de Olimpiadas Internacionales de Ciencias de la Tierra, nave insignia de la IGEO.

Si bien Chris se formó inicialmente como geólogo y trabajó como tal durante un corto período, las circunstancias y su vocación lo llevaron rápidamente a dedicarse a la docencia, capacitándose profundamente para ello. Dio primero clases a estudiantes de escuela y luego se dedicó a la capacitación docente, actividad a la que dedicaría la mayor parte de su esfuerzo. Comprendió tempranamente que el mayor problema en la enseñanza de la Geología y, en general, de todas las Ciencias de la Tierra, residía tanto en la falta de cursos de capacitación como en la escasez de materiales didácticos adecuados para su uso en el aula y se dedicó a suplir estas deficiencias con entusiasmo e indudable eficiencia. Surgieron así diversas actividades vinculadas a diferentes instituciones como la Universidad de Keele y la ESTA (asociación que nuclea a los docentes de Ciencias de la Tierra del Reino Unido) y luego a la IGEO (de la que Chris fue primer presidente) entre otras organizaciones a las que se vinculó. Entre estas iniciativas pueden destacarse la serie de propuestas en “Ciencias de la Tierra” (elaboradas con Peter Kenneth, quien fuera su gran colaborador junto con Elizabeth Devon en los años siguientes), la muy exitosa serie de “Earth learning Idea”, surgida como reacción a un subsidio que le fue negado, la serie de biografías “Mi historia como educador en Geociencias” y, más recientemente, la redacción del libro “Explorando las Geociencias alrededor del mundo”, producto de una vasta experiencia docente y de un profundo conocimiento de los conceptos expuestos, cuya primera edición se realizó en 2019.

Puedo señalar aquí, para poner de manifiesto la generosidad y amplitud de miras de Chris que, en ocasión de la presentación de las Earth learning Ideas en un Simposio de la AEPECT (Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra), le propuse traducir esas ideas al castellano para que estuvieran también disponibles para los hispanohablantes. Aceptó la idea de inmediato y, no sólo eso, sino que propuso que otros miembros de la IGEO, provenientes de diferentes países hicieran lo equivalente en sus propias lenguas. Traducciones a once idiomas y casi seis millones de descargas realizadas desde más de doce mil lugares en más de 200 países dan prueba del éxito de la idea.

Sin embargo, creo que dónde mejor se expresa el potencial pedagógico de Chris es en la relación personal directa y es esta la razón de la elección de la fotografía que encabeza este Prólogo. Cuando Chris participa en un recorrido geológico, al igual que cuando lo hace en un taller en el que se desarrollan experiencias didácticas, no es la transmisión de los conceptos científicos lo que le interesa, este es el resultado natural de su accionar, pero no el objetivo. Lo que él se propone es inducirnos a reflexionar acerca de cómo enseñar y, sobre todo, como facilitar el camino del aprendizaje a nuestros alumnos (“enseñar a aprender”). Es por eso por lo que su modus operandi nunca es expositivo. Lanza preguntas como dardos y siempre da en el blanco: ¿Qué vemos aquí? ¿Qué preguntas surgen de la observación? ¿Cómo podríamos responderlas? ¿Qué podríamos enseñar viendo esto? ¿Cómo podríamos hacerlo?

Deseo terminar este prólogo, que es también un homenaje personal a quién he tenido la fortuna y el honor de conocer y de quién, en las ocasiones en que nos hemos encontrado, siempre he tenido oportunidad de aprender algo nuevo, señalando las recomendaciones que él mismo incluye al final de su breve autobiografía en la serie de “My Earth Sc. educator story”. Chris considera las siguientes ideas claves para que un educador sea exitoso en su labor: a) Necesitas involucrarte en instituciones a nivel local o nacional, b) Debes ser trabajador y resiliente, c) Debes abordar las nuevas ideas con tenacidad y d) No debes tener miedo a aprovechar nuevas oportunidades. Concluye señalando que, de este modo, cuando nuevas puertas se abran, cada uno tendrá el valor de atravesarlas. Si comparamos estas recomendaciones con su propia actividad, reseñada poco más arriba, podemos asegurar, sin temor a equivocarnos, que las mismas son fruto de su experiencia de vida y de su reflexión al respecto. Constituyen, también y en mi opinión, su legado más importante a los educadores.

José Sellés-Martínez

Propósito del libro (Por Chris King)



Chris King durante la recorrida geológica por la ciudad de San Pablo, en ocasión de la XVIII GeoSciEd, en Campinas (Brasil) en 2018

Este libro ha sido elaborado para apoyar a los docentes de todo el mundo en la enseñanza del Programa Internacional de Estudios en Geociencias (reproducido en el Anexo). El plan de estudios cubre los contenidos en geociencias que todos los estudiantes de 16 años deben conocer y entender, según lo recomendado por la Organización Internacional para la Educación en Geociencias.

La estructura de los títulos de los capítulos del libro refleja directamente el Programa Internacional de Estudios en Geociencias. El texto ha sido escrito en un lenguaje lo más simple y libre de jerga como

sea posible, para que sea ampliamente accesible a los profesores que quieran usarlo en sus actividades de enseñanza. Gran parte de la ejemplificación se presenta en tablas e ilustrada con fotografías, para que los ejemplos no interfieran demasiado con los bloques de texto.

El material adicional al programa de estudios se presenta en recuadros de interés, para brindar dimensiones adicionales de interés e impacto y para proporcionar estudios de caso breves, pero no se espera que los estudiantes sean introducidos a todo este material adicional.

El texto original está escrito como una versión internacional llamada **Explorando las Geociencias en todo el mundo** y está ilustrado por fotografías seleccionadas de todas partes del mundo y cajas de interés global. Se publica en el sitio web de Educación Geocientífica Internacional en: <http://www.igeoscienced.org/teaching-resources/geoscience-text-books/>. Se ha invitado a los educadores de geociencias de todo el mundo a que tomen este texto básico y añadan fotografías y recuadros de interés para sus propias regiones; también se les ha pedido que lo según corresponda, para producir un libro de texto similar para sus propias regiones.

El libro de texto incluye un "suplemento de Actividades" publicado por separado, que brinda una amplia gama de ejercicios para la enseñanza de cada sección. Se incluye allí una serie de preguntas para poner a prueba el conocimiento y la comprensión de los estudiantes.

El Programa Internacional de Geociencias se encuentra online en: <http://www.igeoscienced.org/activities/international-geoscience-syllabus/>

Agradecimientos edición en inglés (Chris King)

En primer lugar, agradezco a Gillian Drennen (gillian.drennen@wits.ac.za) por sugerir la redacción de un libro de texto para abordar el Programa Internacional de Estudios en Geociencias, y por proponer un taller sobre el tema en el Congreso Geológico Internacional de Ciudad del Cabo en 2016 para desarrollar esta idea. Estamos agradecidos a todos los participantes en ese taller por la forma en que se dirigieron las primeras ideas sobre este libro de texto.

El texto original y muchos diagramas fueron producidos por mi persona; algunos diagramas fueron redibujados de otras fuentes. Otros diagramas y fotografías se obtuvieron directamente de áreas de Internet exentas de derechos de autor. La mayoría de los diagramas fueron rediseñados por Tanja Reinhardt (reinhardt2@ukzn.ac.za) de la Universidad de KwaZulu, Natal, Sudáfrica, quien amablemente diseñó el libro y sus portadas.

Agradezco a Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page) como la fuente de muchas de las fotografías y algunos diagramas bajo condiciones de copyright-renunciado. Dichas imágenes han contribuido grandemente a la ejemplificación en el libro. También agradezco a la Unidad de Educación en Ciencias de la Tierra (ESEU: <http://www.earthscienceeducation.com/index.html>) para proporcionar imágenes.

Mi reconocimiento a Peter Craig, Elizabeth y Martin Devon, Sid Howells, Peter Kennett, Pete Loader, Giulia Realdon, Tanja Reinhardt (Capítulo 1), Ashvin Wickramasooriya y Sebastian Wolf (Capítulos 1, 2) por todo su trabajo en verificar la exactitud del guion, en ayudar a hacer el texto más accesible y en la corrección.

Además, manifiesto mi agradecimiento a Anthony Tibbs por sus esfuerzos formales de corrección de pruebas. Cualquier error restante sigue siendo mío y solo mío.

El libro de texto ha sido aprobado por la Organización Internacional de Educación en Geociencias, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas a través de su Comisión de Educación y Transferencia de Tecnología en Geociencias, y la Unión Europea de Geociencias, por la enseñanza del plan de estudios internacional de geociencias. Es por ello por lo que en representación de todos los que colaboraron con este documento, agradezco encarecidamente su apoyo y aliento.

Agradecimientos de la edición en español (Sandra Villacorta)

Fue un reto el traducir este libro del renombrado profesor Chris King cuya vida y trabajo ha tenido un impacto en la educación en geociencias a nivel mundial.

Chris, quien fue galardonado con la medalla Geoética 2018 de la Asociación Internacional para la Promoción de la Geoética en reconocimiento a "su pasión y habilidades únicas que han impulsado la mejora de la educación en ciencias de la Tierra, promoviendo esta sea accesible a un público más amplio" nos ha dejado importantes lecciones que los que lo conocimos no podremos olvidar. Entre las mas importantes enseñanzas del profesor King, se puede indicar la responsabilidad de cumplir con las metas trazadas. Es así que, contando con su aprobación, un grupo de profesionales asociados al

capítulo latinoamericano de la Organización Internacional para la Educación en Geociencias (IGEO por sus siglas en inglés), decidimos unir esfuerzos para lograr la traducción al español de este libro. La idea principal es la de utilizar este documento en la enseñanza en ciencias de la Tierra en los países de habla hispana.

Es por ello por lo que me permito agradecer a todos los profesionales que colaboraron en esta tarea. En primer lugar, quiero agradecer a Roberto Greco quien propuso la idea de traducir el volumen y nos sugirió hacerlo bajo la metodología seguida en la traducción al portugués de este documento. Roberto además escribió el primer prólogo para presentar el libro.

Agradezco a José Sellés-Martínez por el segundo prólogo dedicado a la labor de Chris King.

Mi más sincero agradecimiento es para los profesionales del comité del capítulo latinoamericano de la IGEO, quienes facilitaron una plataforma para el proyecto de la traducción y apoyaron con la convocatoria de los colegas traductores: Christian Ayala, Néstor Salinas/Romina Celabe, Osmín Jared Vásquez, José Sellés-Martínez, María Jesús Bravo, César Chacaltana, Wilmer Pérez, Julio Cárdenas, Richard Serrano-Agila y Mónica Vega. Muchas gracias en especial a los tres últimos profesionales mencionados en esta lista, pues amablemente tradujeron figuras que otros traductores dejaron sin traducir.

Vale mencionar que, a pesar de los esfuerzos de todos, al compilar el volumen, aun se observaron muchas ilustraciones en tablas y cuadros que no fueron traducidas en su momento y cuya traducción estuvo a cargo de la Bachiller en Geología Claudia Sánchez Alva.

Gracias al apoyo de todos estos aliados se pudo culminar la fase final de este proyecto.

Muchas gracias finalmente a Tanja Reinhardt por la edición y lanzamiento del libro y su incorporación a la plataforma de IGEO.

0 ¿Por qué explorar la geociencia?

Traducido por: Christian Ayala

Las Geociencias estudian científicamente todo nuestro planeta. Hoy en día, abarcan incluso más que eso, porque también incluyen la geología planetaria. Involucra los muchos elementos de la geología, como la geoquímica, la geofísica, la paleontología, la hidrogeología y la ingeniería geológica, pero es más amplia porque también incluye la meteorología, la oceanografía, la ciencia ambiental, la ciencia del suelo y el estudio del sistema solar. La geociencia usa evidencia del pasado y presente del planeta para predecir el futuro, pero también usa evidencia del presente para 'predecir' lo que sucedió en el pasado. Enfoca elementos de biología, química, física, matemáticas, geografía e ingeniería en un estudio de la Tierra y los planetas.

Una de las alegrías de estudiar geociencias es que todos pueden hacerlo. Cuando los niños recogen guijarros interesantes en una playa y comienzan a pensar por qué son interesantes, comienzan a hacer las preguntas que hacen los geocientíficos. Cuando recolectan varios guijarros interesantes, o diferentes colores de arena, o diferentes fósiles, comienzan a ordenar las cosas o clasificar los materiales de la Tierra, como lo hacen los geocientíficos. Cuando preguntan por qué la arena forma formas interesantes, están comenzando a investigar los procesos de la Tierra, al igual que los geocientíficos.

Figura 0.1: Guijarros interesantes y formas de arena.



Si desea seguir estudiando geociencias, es posible que pueda hacerlo en la escuela o la universidad o al obtener un título universitario. Mucha gente estudia geología simplemente porque disfruta haciendo y respondiendo preguntas sobre cómo funciona la Tierra, o porque disfruta coleccionando cosas interesantes. Pero otros se convierten en geólogos profesionales y pasan toda su vida haciendo y respondiendo preguntas sobre geociencias. Investigan la Tierra, desde los trópicos hasta los polos, desde las montañas más altas hasta los mares más profundos, o buscando nuevos recursos de la Tierra, mejores formas de eliminar los desechos o los mejores lugares para construir nuevos edificios y vivir con seguridad.

De esto trata este libro. Comienza observando todo el sistema de la Tierra, la Tierra dentro del sistema solar y cómo todo esto ha cambiado con el tiempo. Reúne estudios de la geósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera de la Tierra y analiza dónde se encuentran los recursos y los suministros de energía que necesitamos. Se enfoca en los peligros de la Tierra y los problemas ambientales y cómo estos cambian la historia humana y explica qué hacen los geocientíficos y cómo.

Si todo esto te interesa, sigue leyendo, ya estarás empezando a pensar como un geocientífico.

1 La Tierra como un sistema cambiante

Traducido por: Christian Ayala

Un sistema se compone de una variedad de partes diferentes, unidas entre sí en una red que mantiene todo el sistema en funcionamiento. Los sistemas pueden ser simples, como un lavabo; el agua entra en el lavabo (es entrada) por los grifos y sale (es salida) por el desagüe. El agua puede estar caliente o fría, por lo que la energía térmica del agua (su temperatura) también es una de las entradas. El calor del agua caliente puede perderse cuando el agua se va por el desagüe, pero también puede salir cuando el agua del lavabo se enfría. El sistema de lavabo tiene un límite que son los lados y la base del lavabo. Las entradas vienen del entorno exterior y salen al entorno circundante, más allá del límite.

El lavabo es un ejemplo de un sistema abierto, con interacciones con el entorno exterior en el límite. En el ejemplo del lavabo, el agua y el calor son entradas y salidas al medio ambiente. Un ejemplo de un sistema cerrado es un matraz de vacío; cuando la tapa del matraz está abierta, el líquido no puede entrar ni salir del matraz y el calor tampoco puede entrar ni salir del matraz. Ningún sistema puede estar completamente cerrado, por lo que incluso el mejor matraz de vacío perderá calor del líquido caliente que contiene con el tiempo.

Figura 1.1. Un lavabo y un termo, ejemplos de sistemas abiertos y (casi) cerrados



El sistema de la Tierra no solo es extremadamente complejo, mucho más complejo que estos ejemplos simples, sino que tiene muchos subsistemas y ha cambiado y está cambiando con el tiempo.

1.1 Atributos

La Tierra es un sistema abierto a la energía. La mayor parte de la energía que impulsa los subsistemas de la Tierra se recibe como radiación del Sol. Esta energía es una entrada a la Tierra durante el día, pero parte se irradia de vuelta al espacio como salida durante el día y la noche. Dado que la entrada y la salida de radiación generalmente están en equilibrio, la temperatura general de la Tierra se mantiene constante, al menos a corto plazo.

Sin embargo, la Tierra es casi un sistema cerrado de materia hoy. Esto no siempre fue así, ya que la Tierra primitiva fue bombardeada por asteroides. Hoy en día, lo que está en la Tierra se queda en la Tierra; Los meteoritos y el polvo cósmico añaden poco material, en comparación con el tamaño de la Tierra, y el único material denso que se pierde en el espacio está en las sondas espaciales.

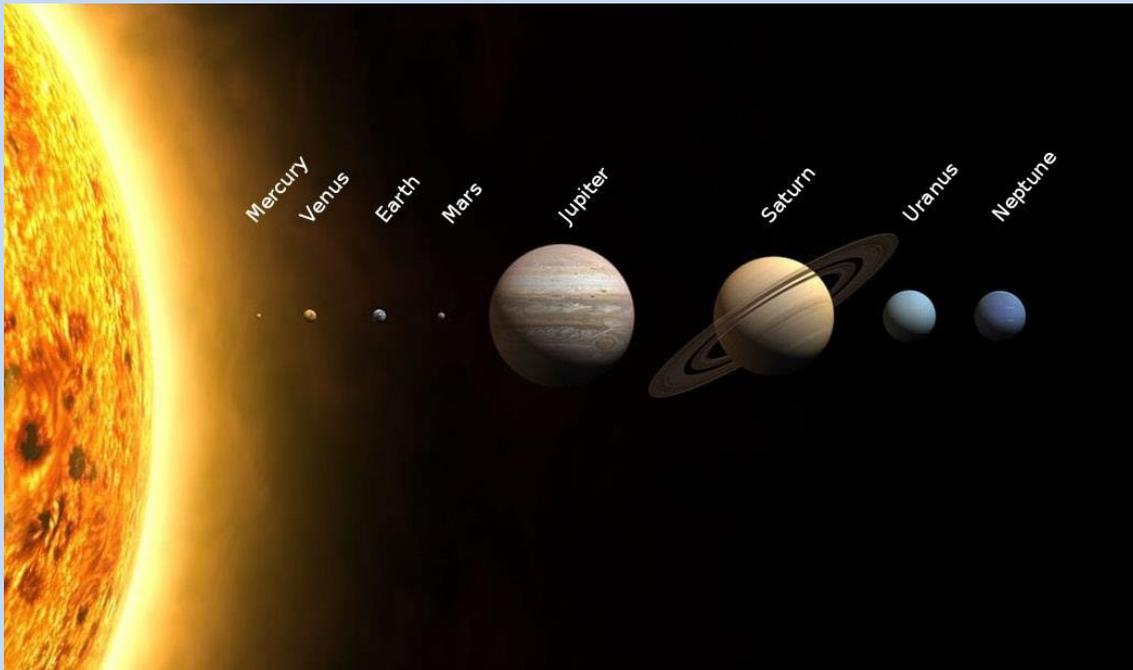
Figura 1.2. La Tierra: un sistema muy complejo



El sistema de la Tierra ha cambiado con el tiempo, no solo porque la cantidad de bombardeos se ha reducido, sino también debido a una serie de otros cambios, como el enfriamiento de la Tierra, la formación de los océanos, la evolución de la atmósfera y la vida, y los efectos de las placas tectónicas.

El sistema Tierra es parte del sistema solar. Este también es casi un sistema cerrado, tanto para la energía como para la materia, ya que se recibe muy poca energía de la luz de las estrellas y también se recibe muy poca materia.

Cuadro 1.1. La materia del sistema solar, mostrada en escala de tamaño aproximado (pero no de distancia)



Este 'retrato' del sistema solar muestra el Sol y los planetas. Los tamaños se muestran en las proporciones correctas, pero no las distancias entre sí. Este diagrama muestra la mayor parte de la materia del sistema solar. No se incluyen (porque son demasiado pequeños) las Lunas, los planetas enanos, los asteroides, los cometas y el polvo.

El sistema de la Tierra se puede dividir en cuatro subsistemas principales: la Tierra sólida (la geósfera), el aire alrededor de la Tierra (la atmósfera), el agua en el planeta (la hidrosfera) y la vida en la Tierra (la biosfera).

La litosfera, que forma las placas tectónicas de la Tierra, es la parte exterior de la geósfera.

1.2 Interacciones

La geósfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera son sistemas muy abiertos porque todos interactúan, intercambiando energía y materia. Las interacciones entre estos cuatro subsistemas ocurren en todas partes, todo el tiempo, actuando en períodos de tiempo muy cortos a extremadamente largos. Son estas interacciones las que hacen que nuestro planeta sea tan dinámico. Donde quiera que vaya, haga lo que haga, estos sistemas interactuarán a su alrededor a diferentes velocidades, desde muy rápidas hasta extremadamente lentas.

Las riberas de los ríos son buenos lugares para ver las interacciones del sistema terrestre. El flujo del río es parte de la hidrosfera, erosionando los bancos y transportando el sedimento de la geósfera. Los animales y las plantas de la biosfera viven en las orillas, hacen fotosíntesis y respiran los gases atmosféricos. El agua sube a la atmósfera a través de la evaporación del agua de los ríos, la transpiración de las plantas y la respiración de los animales. Este vapor de agua puede caer más tarde en forma de lluvia, contribuyendo de nuevo con agua atmosférica a la geósfera.

Cuadro 1.2. El ciclo local del agua, un ejemplo de interacciones geósfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera

Las gotas de lluvia, cuando se forman por primera vez, no contienen ácido ni son alcalinas, sino que son neutras. Sin embargo, a medida que caen a través de la atmósfera, disuelven el dióxido de carbono y se vuelven ligeramente ácidos. Cuando el agua de lluvia cae sobre el suelo, se hunde. Muchos animales viven en el suelo y respiran, absorbiendo oxígeno y liberando dióxido de carbono. Este dióxido de carbono extra se disuelve en el agua del suelo, haciéndola aún más ácida. El material vegetal en descomposición también agrega ácido húmico al agua. El agua ácida reacciona con fragmentos de roca en el suelo, disolviendo partículas de piedra caliza y descomponiendo partículas de otras rocas. Mediante estas reacciones, el agua vuelve a ser neutra de forma que, cuando el agua brota del suelo en los manantiales, suele ser neutra.



Lluvia



Humedad del Suelo



Manantial de agua subterránea

Este ejemplo destaca cómo interactúan los diferentes sistemas de la Tierra. Las gotas de lluvia de la hidrosfera disuelven el dióxido de carbono de la atmósfera. Se hunden en el suelo de la geósfera donde disuelven más dióxido de carbono producido por los animales de la biosfera. El agua ácida del suelo reacciona con los fragmentos de roca de la geósfera volviéndose neutra y goteando de los manantiales, donde es visible nuevamente la hidrosfera.

En este ejemplo, se intercambia materia (incluida el agua, el dióxido de carbono atmosférico, las entradas y salidas de la respiración y la reacción con fragmentos de roca) y también la energía (incluida la lluvia que cae, la energía de la respiración y la energía química involucrada en el agua/ reacciones de las rocas).

1.3 Comentarios

Los **comentarios** son una parte vital de los sistemas. Un ejemplo simple de retroalimentación es una caldera de agua con un termostato (un termómetro con un interruptor). Cuando el agua se enfría, el termómetro retroalimenta esta información al interruptor y la caldera se enciende. Cuando el agua se calienta, el termómetro devuelve esta información al interruptor y la caldera se apaga nuevamente. Nuestros cuerpos tienen mecanismos de retroalimentación similares: cuando tenemos demasiado calor, sudamos para refrescarnos, pero cuando tenemos demasiado frío, temblamos para calentarnos.

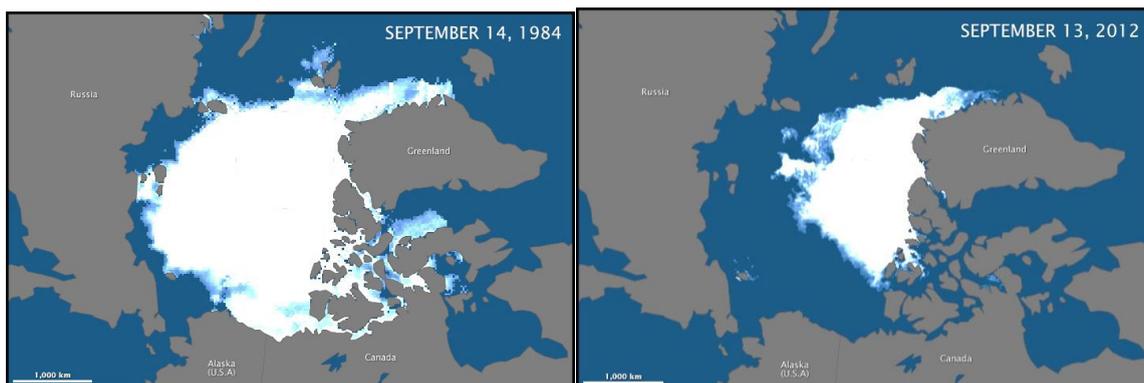
Los sistemas de retroalimentación pueden ser **positivos** o **negativos**, pero estos pueden ser



Los sistemas de retroalimentación negativa en nuestros propios cuerpos mantienen todo estable. Estos procesos que trabajan juntos en los seres vivos se denominan homeostasis.

Cuando hay retroalimentación positiva, el sistema puede volverse inestable. Cuando la luz del sol golpea las capas de hielo, la mayor parte se refleja y, por lo tanto, hay poco efecto de calentamiento en la Tierra. El reflejo de la luz solar por superficies de color pálido como el hielo se llama **albedo**. Este reflejo de la luz solar es uno de los factores que mantienen estable la temperatura de la Tierra. Sin embargo, la retroalimentación positiva puede tener un efecto en dos direcciones diferentes. Si la Tierra se enfría, los casquetes polares crecen, lo que aumenta el efecto albedo y hace que la Tierra se enfríe aún más; esto podría desencadenar una edad de hielo. Pero, si la Tierra se calienta, los casquetes polares se derretirán, lo que reducirá el reflejo del albedo y hará que la Tierra se caliente aún más. Eventualmente, el hielo podría derretirse por completo, moviendo la Tierra a un estado mucho más cálido.

Figura 1.4. El hielo ártico en 1984 y 2012. En el pasado, la gran área de hielo flotante tenía un gran efecto de albedo. A medida que la Tierra se ha vuelto más cálida, el área de hielo se ha vuelto más pequeña; esto ha reducido el albedo y ha contribuido al calentamiento de la Tierra, a través de una retroalimentación positiva.



Cuando hay retroalimentación positiva en un sistema, esto puede continuar hasta que se alcanza un '**punto de inflexión**' y el sistema se inclina hacia un nuevo estado estable. En el pasado, la Tierra ha tenido un estado estacionario frío, cuando partes de la Tierra estaban cubiertas de hielo ('**condiciones de casa de hielo**') y un estado estacionario cálido cuando no había capas de hielo ('**condiciones de invernadero**').

1.4 Procesos y productos

1.4.1 Ciclos

Llene una taza con agua hirviendo y déjela durante un minuto más o menos para que la taza se caliente. Luego vierta el agua y agregue alrededor de 1 cm de profundidad de agua hirviendo a la taza, invierta un vaso de vidrio en la parte superior (como se muestra en la Figura 1.5) y observe lo que sucede.

Verá que el vaso de vidrio se vuelve turbio a medida que el agua se condensa en la superficie interna y luego gotea agua en la taza.

Lo que sucede es que el agua se evapora de la superficie del agua caliente para convertirse en vapor de agua invisible en el aire dentro de la taza/vaso. Luego, el vapor de agua se condensa como gotitas en el interior del vaso enfriador, haciéndolo turbio, hasta que las gotas se vuelven lo suficientemente grandes como para fluir hacia abajo, de regreso a la taza.

Lo que ves es una combinación de procesos y productos. El proceso de evaporación produce un producto de gas de vapor de agua. El proceso de condensación produce un producto de pequeñas gotas de agua líquida en el interior del vaso. Luego, el proceso de flujo lleva el agua de regreso a la taza; este nuevo producto luego se agrega al agua líquida en la taza.

Figura 1.5. Una demostración simple del ciclo del agua



Procesos causan algo para que suceda; los **productos** son los resultados.

Esta es una versión simple de un ciclo. En este caso, el agua comienza en la taza como agua líquida, se evapora a vapor de agua y luego se condensa en gotas de agua que se unen para fluir hacia abajo de nuevo en la taza. Este también es un sistema simple, que está cerrado para el agua (el agua no sale ni se une al sistema).

Los materiales terrestres se reciclan de alguna manera. Ejemplos importantes incluyen los ciclos del agua, el carbono y las rocas.

1.4.2 El ciclo del agua

El **ciclo natural del agua** es más complejo que la demostración de la taza y el vaso de la figura 1.5, y los procesos y productos del ciclo del agua nos rodean todo el tiempo.

Cuando llueve, el agua forma charcos en el suelo. Los charcos luego se evaporan en vapor de agua invisible en el aire. Cuando el aire se enfría, el vapor de agua se condensa en gotas de agua en forma de nubes. A medida que las nubes continúan enfriándose, las gotas de agua se unen para formar gotas de lluvia que, cuando son lo suficientemente grandes, caen como lluvia. Incluso este sencillo sistema para exteriores se ve complicado por muchos más factores. El vapor de agua condensado produce no solo nubes, sino también neblina y neblina. El agua cae de las nubes en forma de lluvia, pero también en forma de nieve y granizo. El agua que llega al suelo no solo forma

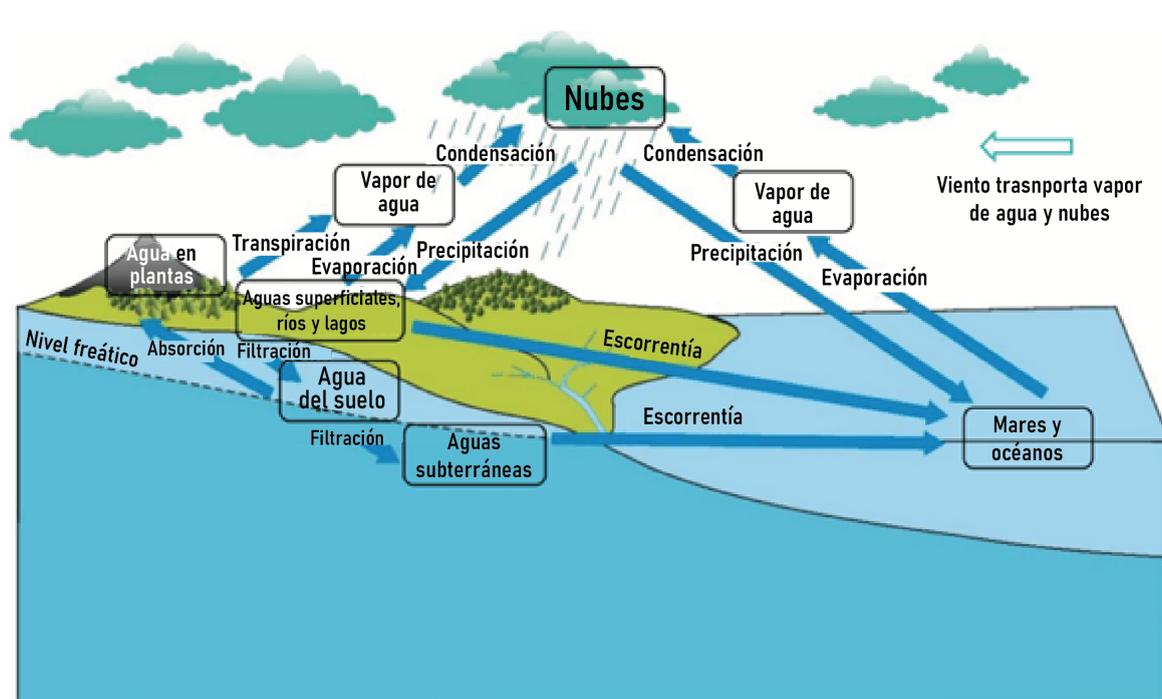
charcos, sino que a menudo fluye hacia canaletas, arroyos, ríos y, finalmente, lagos y el mar. El agua se evapora de todos estos productos del ciclo del agua todo el tiempo, mientras que las plantas transpiran, liberando el agua absorbida por sus raíces en el aire, como vapor de agua a través de sus hojas.

Algunas lluvias y el agua del río se filtran hacia abajo en el suelo y las rocas debajo y se convierten en parte del agua subterránea en los espacios porosos de las rocas porosas. Esta agua fluye cuesta abajo a través de rocas permeables subterráneas y eventualmente fluye en manantiales.

En las regiones frías, el agua que cae en forma de nieve puede acumularse en el hielo de los glaciares y las capas de hielo, mientras que el agua subterránea puede congelarse en el permafrost (suelo permanentemente congelado). El hielo también puede fluir o derretirse para volver a convertirse en agua líquida.

Los principales procesos del ciclo del agua son la evaporación, la condensación, el movimiento lateral del aire (viento), la caída (de la lluvia, etc.) y el flujo por encima o por debajo del suelo. En áreas frías, la congelación, el derretimiento y el flujo de hielo también son importantes. Muchos de estos procesos y productos se muestran en la figura 1.6.

Figura 1.6. Washington productos de ciclo ter (en recuadros) y procesos (en cursiva)



Cuadro 1.3. Parte del ciclo del agua en tu jardín

Las gotas de lluvia, cuando se forman por primera vez, no contienen ácido ni son alcalinos, sino que son neutras. Sin embargo, a medida que caen a través de la atmósfera, disuelven el dióxido de carbono y se vuelven ligeramente ácidos. Cuando el agua de lluvia cae sobre el suelo, se hunde. Muchos animales viven en el suelo y respiran, absorbiendo oxígeno y liberando dióxido de carbono. Este dióxido de carbono extra se disuelve en el agua del suelo, haciéndola aún más ácida. El material vegetal en descomposición también agrega ácido húmico al agua. El agua ácida reacciona con fragmentos de roca en el suelo, disolviendo partículas de piedra caliza y descomponiendo partículas de otras rocas. Mediante estas reacciones, el agua vuelve a ser neutra de forma que, cuando el agua brota del suelo en los manantiales, suele ser neutra.



Puedes ver parte del ciclo del agua en acción en tu propio jardín. Las gotas de lluvia de las nubes de lluvia caen en charcos; el agua corre por las canaletas y finalmente llega a los lagos. La evaporación de lagos y otras áreas de agua produce vapor de agua invisible en el aire. Cuando se enfría, se condensa para formar las nubes que producen la lluvia.

1.4.3 Flujos, almacenes y tiempos de residencia

Los procesos y productos de los ciclos también se denominan flujos y depósitos. Los **flujos** son los flujos de materiales a través de los procesos, medidos como tasas de flujo. Los flujos del ciclo del agua varían desde muy rápidos (como los flujos de agua en ríos desbordados) hasta muy lentos (el flujo de las capas de hielo) y desde muy grandes (tasas de evaporación global) hasta muy pequeños (nevadas en las capas de hielo). Las **tiendas** son los productos; Los productos del ciclo del agua también van desde los más grandes (los océanos) hasta los más pequeños (el agua almacenada en su propio cuerpo). Los tiempos de residencia son las cantidades de tiempo que se tarda en reemplazar una tienda. Algunos tiempos de residencia son cortos, como el tiempo que el vapor de agua se almacena en la atmósfera, de solo unos pocos días. Otros tiempos de residencia son muy largos, como las decenas de miles de años de almacenamiento de hielo en las capas de hielo polar.

1.4.4 El ciclo de las rocas

La parte superficial del ciclo de las rocas está estrechamente relacionada con el ciclo del agua. El agua que fluye elimina y transporta sedimentos. En aguas tranquilas, los sedimentos se depositan y pueden acumularse en secuencias sedimentarias espesas. Los sedimentos se solidifican y se convierten en rocas sedimentarias, generalmente bajo tierra. Si estas rocas se levantan y se eliminan los materiales de arriba, quedan expuestas en la superficie de la Tierra, listas para que el ciclo comience de nuevo.

Cuadro 1.4. Parte del ciclo de las rocas en algún lugar cercano



Puedes ver partes del ciclo de las rocas en acción cada vez que sopla el viento o el agua corre sobre la tierra. El viento que sopla recoge, transporta y deposita polvo, hojas y basura; también lo hace el agua corriente. El agua corriente en este banco de arena ha removido la arena de los pequeños canales en la parte superior de la fotografía, la ha arrastrado por los canales más grandes y la ha depositado en pequeños deltas en el fondo, todo en una pequeña área de playa, de solo un metro de ancho.

Esta parte sedimentaria del ciclo de las rocas se vuelve más compleja cuando las rocas se involucran en episodios de formación de montañas. Las enormes temperaturas y presiones provocan plegamientos y fracturas (fallos) y también pueden convertir las rocas en rocas metamórficas.

Los cambios pueden ir más allá si el aumento de temperatura hace que las rocas se derritan parcialmente, formando roca líquida o magma. El magma es menos denso que la roca que lo rodea, por lo que asciende. O se enfría y se solidifica lentamente bajo tierra, o sale a la superficie a través de la actividad volcánica. Todas las rocas formadas a partir del magma son rocas ígneas. Todas las rocas enterradas pueden levantarse y exponerse para volver a formar parte del ciclo de las rocas.

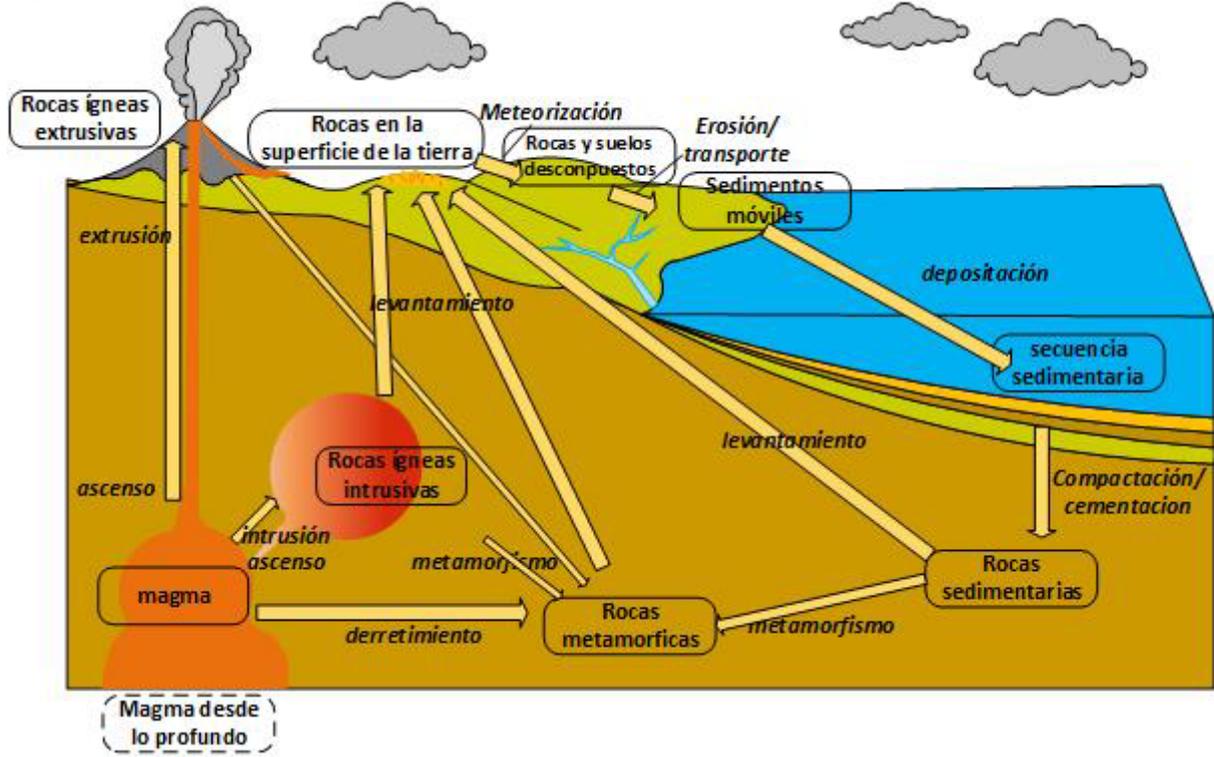
La figura 1.7. muestra cómo los productos del ciclo de las rocas (en recuadros) y los procesos (en cursiva) están vinculados entre sí. Las rocas en la superficie de la Tierra se transforman en rocas y suelo podridos debido a la erosión; cuando este material es erosionado y transportado se convierte en sedimentos móviles. La deposición de sedimentos móviles acumula secuencias sedimentarias. Estos pueden cambiarse por compactación/cementación en rocas sedimentarias que luego pueden elevarse para convertirse nuevamente en rocas en la superficie de la Tierra. Sin embargo, también pueden sufrir metamorfismo para convertirse en rocas metamórficas, que luego pueden elevarse para convertirse también en rocas en la superficie de la Tierra.

Las rocas metamórficas pueden derretirse en magma líquido que puede elevarse a través de la intrusión para formar rocas ígneas intrusivas (que luego pueden elevarse para convertirse en rocas superficiales) o el magma puede extruirse volcánicamente como rocas ígneas extrusivas. El magma también se puede agregar a este sistema desde abajo, mientras que las rocas ígneas también pueden sufrir metamorfismo.

En el sistema del ciclo de las rocas, los productos o depósitos son las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. Los procesos que provocan los flujos o flujos entre estos depósitos son el metamorfismo, la fusión, la solidificación y todos los procesos implicados en la extracción, movimiento, deposición y litificación (cambio de sedimento en roca sedimentaria) de sedimento. Los tiempos de residencia de las rocas suelen ser de millones de años.

Esta visión simple del ciclo de las rocas es más compleja en detalle, como se explica a partir de la sección 4.1.2.

Figura 1.7. Productos del ciclo de las rocas (en recuadros) y procesos (en cursiva).



1.4.5 El ciclo del carbono

Cuando respira, exhala más dióxido de carbono del que inhala. Esto se debe a que uno de los procesos del cuerpo es la respiración, donde el oxígeno reacciona con los compuestos de carbono en las células de su cuerpo, liberando energía y produciendo dióxido de carbono. El proceso de respiración libera un flujo de dióxido de carbono a la atmósfera, que almacena una pequeña cantidad de dióxido de carbono todo el tiempo (alrededor del 0,04 %).

Los animales liberan dióxido de carbono a través de la respiración y también liberan compuestos de carbono a la atmósfera a través de la excreción y cuando mueren y se descomponen.

El tiempo de residencia del dióxido de carbono en la atmósfera es corto porque se elimina rápidamente, principalmente por la fotosíntesis de las plantas. En el proceso de fotosíntesis, la energía de la luz solar hace que el dióxido de carbono reaccione con el agua para formar los compuestos de carbono que componen las plantas. Entonces, las plantas de la Tierra, particularmente las algas en los océanos forman una gran reserva de carbono. Este carbono se libera cuando mueren (o al ser devorados por animales), o cuando se queman plantas terrestres, ya sea deliberadamente o mediante incendios forestales.

Cuadro 1.5. El ciclo del carbono en acción



Mientras este excursionista descansa en la tundra de Alaska, respira y expulsa dióxido de carbono a la atmósfera. Mientras tanto, las plantas verdes realizan la fotosíntesis a la luz del sol, absorben dióxido de carbono y lo transforman en nuevas células vegetales. Si el excursionista comiera las bayas, esto también sería parte del ciclo del carbono. Estos flujos del ciclo del carbono (flujos) ocurren en cualquier parte de la Tierra donde haya animales y plantas, incluidos los que están fuera de su ventana.

Este es el **ciclo corto del carbono**, según lo estudiado por muchos biólogos. Implica la fotosíntesis y la respiración, la excreción y la descomposición. Este parece ser un ciclo equilibrado, con tanto carbono que se agrega a la atmósfera como el que se elimina. Sin embargo, también hay partes mucho más largas del ciclo del carbono; por ejemplo, parte del dióxido de carbono de la atmósfera puede disolverse en el océano, con tiempos de residencia de miles de años.

Algunos animales y plantas contienen 'partes duras' hechas de carbonato de calcio. La fórmula química del carbonato de calcio es CaCO_3 y la segunda 'C' en la fórmula es carbono, que constituye alrededor del 12% en masa del carbonato de calcio. Sus huesos y los huesos de la mayoría de los animales contienen carbonato de calcio. Las conchas están hechas de carbonato de calcio y algunas plantas microscópicas también contienen carbonato de calcio. Cuando estos animales y plantas mueren, partes de ellos se depositan como sedimentos y pueden pasar a formar parte de rocas sedimentarias, con tiempos de residencia de millones de años. La roca rica en carbonato de calcio hecha principalmente de restos de animales marinos se llama piedra caliza; la roca compuesta principalmente de restos microscópicos de plantas de carbonato de calcio es la tiza.

Cuando las plantas mueren, por lo general se descomponen, pero si quedan enterradas por los sedimentos y se conservan, también se conserva el carbono que contienen. Cuando se conservan las plantas terrestres, las capas gruesas pueden formar carbón, liberando gas natural a medida que madura. A medida que mueren animales y plantas microscópicas en los océanos, también pueden conservarse en sedimentos y luego convertirse en petróleo y gas natural.

Los procesos naturales liberan estas reservas de carbono a la atmósfera durante millones de años; el petróleo y el gas pueden filtrarse a la superficie y el carbón puede ser llevado a la superficie por elevación y removido por procesos superficiales.

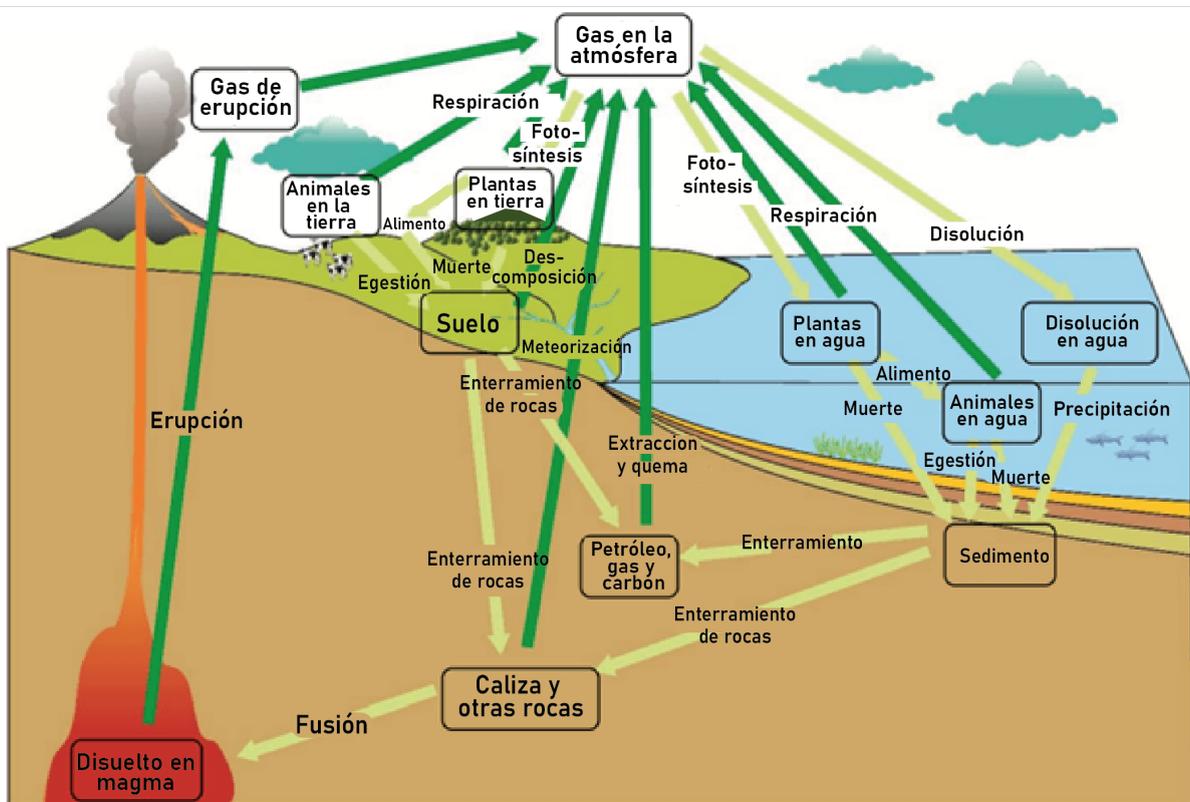
Las rocas sedimentarias que contienen piedra caliza, tiza, carbón, petróleo y gas natural pueden verse involucradas en episodios de formación de montañas y metamorfosearse o incluso fundirse

parcialmente. Luego, el magma producido por la fusión parcial contendrá carbono disuelto, que puede ser llevado a la superficie y liberado en erupciones volcánicas. Muchas erupciones liberan enormes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera.

Estas partes a más largo plazo del ciclo del carbono también parecen estar en equilibrio. Sin embargo, las actividades humanas pueden estar modificando este equilibrio al extraer y quemar carbón, petróleo y gas natural. Esto se explica en la Sección 4.3.3.

Los procesos y productos de los ciclos cortos y largos del carbono se muestran en la Figura 1.8.

Figura 1.8. Productos del ciclo del carbono (en recuadros) y procesos (en cursiva): los procesos que "fijan" el carbono se muestran mediante flechas de color verde claro y los que lo liberan en color verde oscuro.



1.5 Fuentes de energía

La luz proporciona la energía para la fotosíntesis y es la fuente original de la mayor parte de la energía que impulsa el ciclo del agua y los procesos superficiales del ciclo de las rocas.

En el ciclo del carbono, parte de la energía almacenada en las células vegetales generada a través de la fotosíntesis puede liberarse cuando los animales se comen las plantas. Esto proporciona energía para todos los animales herbívoros de la Tierra; los depredadores luego obtienen su energía al comer otros animales. Parte de esta energía puede almacenarse en restos de plantas y animales enterrados, para ser liberada posteriormente por procesos naturales o por la actividad humana. Sólo los procesos de elevación, metamórficos e ígneos del ciclo del carbono son impulsados por energía que no se originó en el Sol; son impulsados por la energía interna de la Tierra.

La energía del Sol provoca la evaporación como parte del ciclo del agua. El vapor de agua también se libera a la atmósfera por la transpiración de las plantas, y las plantas no podrían existir sin la fotosíntesis. La energía del Sol también provoca el movimiento del aire; el aire sube sobre las áreas más cálidas y se hunde en las áreas más frías, produciendo el movimiento de aire horizontal que llamamos viento. Vapor de agua de áreas de fuerte evaporación o la transpiración es llevada a otra parte por la acción del viento. Las partes principales del ciclo del agua que no dependen de la energía del Sol son el flujo descendente de aire refrigerante bajo la gravedad de la Tierra y el movimiento circular de las corrientes en la atmósfera y el océano como resultado del giro de la Tierra.

En el ciclo de las rocas, la energía del Sol es importante para romper la roca y el suelo en la superficie de la Tierra. Las partes del ciclo del agua impulsadas por el sol que mueven y depositan sedimentos involucran el flujo de agua y hielo, mientras que el movimiento del aire impulsado por el sol también transporta sedimentos. Las partes del movimiento de los sedimentos que no son impulsadas por el Sol son el movimiento descendente de las rocas, el agua, el hielo y las corrientes de aire bajo la gravedad de la Tierra y la compactación de los sedimentos por los materiales superpuestos, nuevamente debido a los efectos gravitacionales.

El interior de la Tierra aporta mucha menos energía que la que recibe la Tierra del Sol. Sin embargo, las fuentes de energía internas de la Tierra tienen efectos vitales, particularmente cuando actúan a lo largo del tiempo geológico.

Si, alguna energía ha permanecido en el núcleo desde que la Tierra se fundió por completo, poco después de que se formara por primera vez; esta energía primigenia todavía se está liberando lentamente. Otra fuente importante de energía es la desintegración radiactiva en las partes sólidas de la Tierra, muy por debajo de la superficie. La energía interna de la Tierra impulsa las partes internas del ciclo de las rocas, lo que da como resultado la litificación de los sedimentos, fallas (que provocan terremotos), plegamientos, metamorfismo, levantamiento y fusión parcial que provoca la actividad ígnea.

Si, la mayor parte de la energía que afecta a la Tierra proviene del Sol. Otras fuentes de energía son la energía primigenia y la energía de la desintegración radiactiva, descritas anteriormente. Además, hay energía potencial gravitacional y energía cinética rotacional. La atracción gravitacional del Sol, la Tierra y la Luna y la rotación de la Tierra, la órbita de la Luna alrededor de la Tierra, y la Tierra y la Luna juntas orbitando alrededor del Sol, se convierten en energía térmica, llamada "calentamiento de marea".

2 La Tierra es un sistema, dentro del sistema solar, dentro del universo

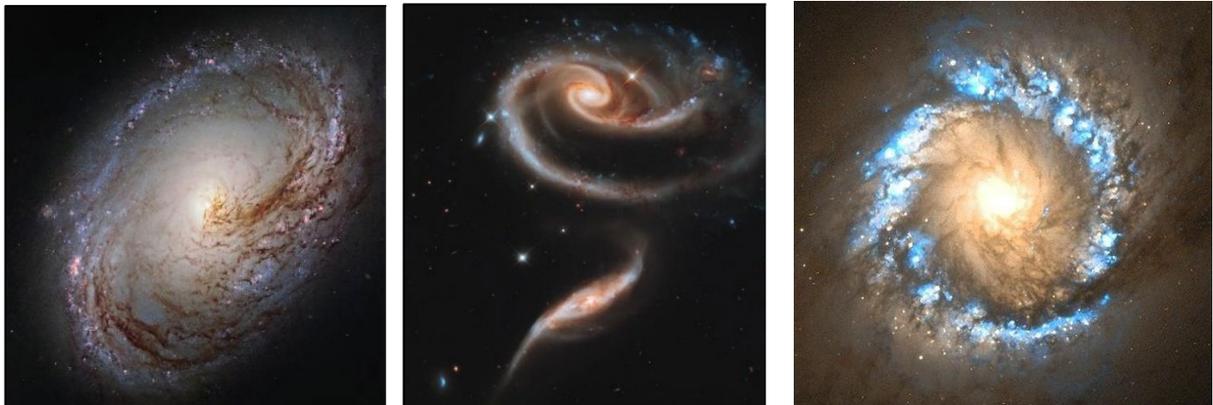
Traducido por: Christian Ayala

2.1 Orígenes

Aunque la velocidad de la luz es enorme, casi 300.000 kmseg-1 (recorriendo 300.000 kilómetros por segundo), la luz del Sol tarda 8 minutos en llegar hasta nosotros y varios años en llegar a nuestros ojos a la luz de las estrellas cercanas. Así que mirar al cielo nocturno significa que miramos hacia atrás en el tiempo. Con telescopios poderosos podemos ver galaxias, o 'islas' cósmicas de miles de millones a cientos de miles de millones de estrellas, como se veían en el pasado lejano. Nuestros estudios han demostrado que el universo comenzó hace unos 14 mil millones de años. Al principio no había estrellas ni galaxias, pero todo el universo estaba lleno de radiación de alta energía. En el 'Big Bang' el universo comenzó a expandirse y la radiación se transformó en materia.

El tipo de materia más común es el hidrógeno, el átomo más simple. Sin embargo, casi todo en la Tierra y más allá, incluidos nuestros propios cuerpos, está hecho de otros tipos de átomos que se formaron por primera vez en los núcleos de las estrellas. A medida que la materia del universo se enfriaba, las estrellas comenzaron a formarse y agruparse en galaxias. La energía que impulsa a las estrellas, incluido nuestro Sol, proviene de la unión (fusión) de átomos de hidrógeno para formar átomos más grandes. Así, en los núcleos de las estrellas, comenzaron a formarse átomos que abundan en la Tierra, como el silicio, el oxígeno, el carbono, el nitrógeno y el hierro. Con el tiempo, las estrellas arrojaron una gran cantidad de materia al espacio, incluidos estos átomos recién formados. Entonces, hace alrededor de 4.600 millones de años, el sistema solar de nuestro Sol comenzó a formarse a partir del hidrógeno original y las "cenizas" de estrellas anteriores. El sistema de nuestra Tierra es una parte de nuestro sistema solar.

Figura 2.1. Galaxias fotografiado por el telescopio Hubble. Se han agregado colores, según los datos recopilados, para resaltar las características clave de las imágenes.



Cuadro 2.1. El universo desde tu patio trasero

Puedes ver las estrellas del universo y algunos de los planetas del sistema solar desde tu propio patio trasero, pero podrás ver mucho más si vas a un área rural cercana en una noche sin Luna, donde no hay calle u otras luces. A medida que sus ojos se acostumbren a la oscuridad, aparecerán más y más estrellas. Las estrellas titilan, pero si hay un planeta a la vista, brillará con una luz más constante. Si ves una luz que se mueve constantemente por el cielo, es un satélite que refleja el Sol. Si está muy oscuro, es posible que pueda ver una banda de estrellas arqueándose sobre su cabeza; esta es la Vía Láctea, las estrellas de nuestra propia galaxia, que estás viendo de canto. Si tienes una cámara con un obturador que se puede dejar abierto y la colocas en un lugar estable, podrás capturar estas vistas del universo.



Una capilla en Francia bajo la Vía Láctea



El movimiento de una Estrella atrapada por una persiana abierta, Chile

Nuestro sistema solar contiene los ocho planetas que se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Planetas del sistema solar, en orden desde el Sol

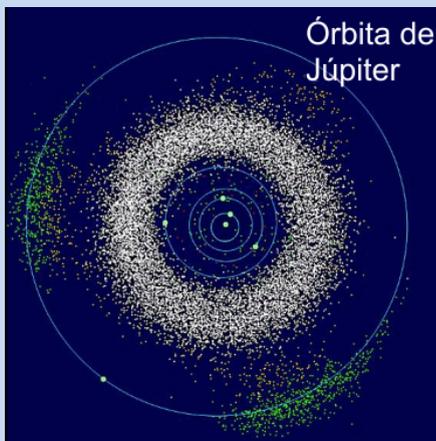
Nombre	Imagen (no a escala)	Distancia del sol, millones de km	Diámetro, km	Masa, 10^{24} Kg	temperatura superficial media	Otras características
Mercurio		57.9	4879	0.33	167	<ul style="list-style-type: none"> • Sin lunas • Superficies con cráteres • Sólido planeta terrestre
Venus		108.2	12,104	4.87	464	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Lunas • Cubierto por la nube • Superficie con cráteres • Sólido planeta terrestre
Tierra		149.6	12,756	5.97	15	<ul style="list-style-type: none"> • Una luna • Océanos • Algunos cráteres conocidos • Planta sólido

Marte		227.9	6792	0.64	-65	<ul style="list-style-type: none"> • 2 lunas • Superficie con cráteres • volcán grande • Últimos procesos sedimentarios
Júpiter		778.6	142,984	1898	-110	<ul style="list-style-type: none"> • 67 Lunas • Sistema de anillos • Cinturones de nubes • Gran mancha de tormenta roja • Planeta gigante gaseoso
Saturno		1433.5	120,536	568	-140	<ul style="list-style-type: none"> • 62 lunas • Sistema de anillos • Cinturones de nubes • Planeta gigante gaseoso
Urano		2782.5	51,118	86.8	-195	<ul style="list-style-type: none"> • 27 lunas • Sistema de anillos • Planeta gigante gaseoso
Neptuno		4495.1	49,528	102	-200	<ul style="list-style-type: none"> • 14 lunas • Sistema de anillos • Planeta gigante gaseoso
Plutón ya no se considera un planeta; es uno de los planetas enanos						

Nuestro sistema solar no solo contiene planetas y planetas enanos, sino también cinturones de asteroides y cometas. Muchos de los meteoritos que chocaron con la Tierra y otros planetas procedían originalmente del cinturón de asteroides o de cometas. Los impactos de meteoritos y cuerpos más grandes son uno de los eventos catastróficos que afectan a la Tierra y otros planetas a lo largo del tiempo; consulte la sección 3.4.

Cuadro 2.2. El cinturón de Asteroides

El cinturón principal de asteroides se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter y contiene miles y miles de millones de trozos de roca y piedra. Algunos son ricos en carbono, otros en silicio y otros en níquel-hierro. El asteroide más grande tiene casi 1000 km de diámetro, pero la mayoría son del tamaño de un guijarro o más pequeños. Aunque hay muchos asteroides, están tan separados que muchas naves espaciales han viajado con seguridad a través de ellos sin ningún daño. Mientras que, en otras partes del sistema solar, los desechos espaciales como este colisionaron para construir un planeta, parece que el gran planeta cercano de Júpiter afectó este cinturón, impidiendo que ocurriera la acumulación de planetas.



El cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter



Asteroide Gaspia fotografiado desde la nave espacial Galileo

Cuadro 2.3. Cometas

Los cometas son cuerpos helados del sistema solar que, cuando se acercan al Sol, liberan gases que a menudo forman una cola blanca. La cola fluye en la dirección del viento solar, siempre de espaldas al Sol. Muchos cometas tienen enormes órbitas ovaladas que los llevan desde el espacio profundo hasta el corazón del sistema solar y luego lo sacan.



Cometa Hale-Bop visto desde Croacia en 1997



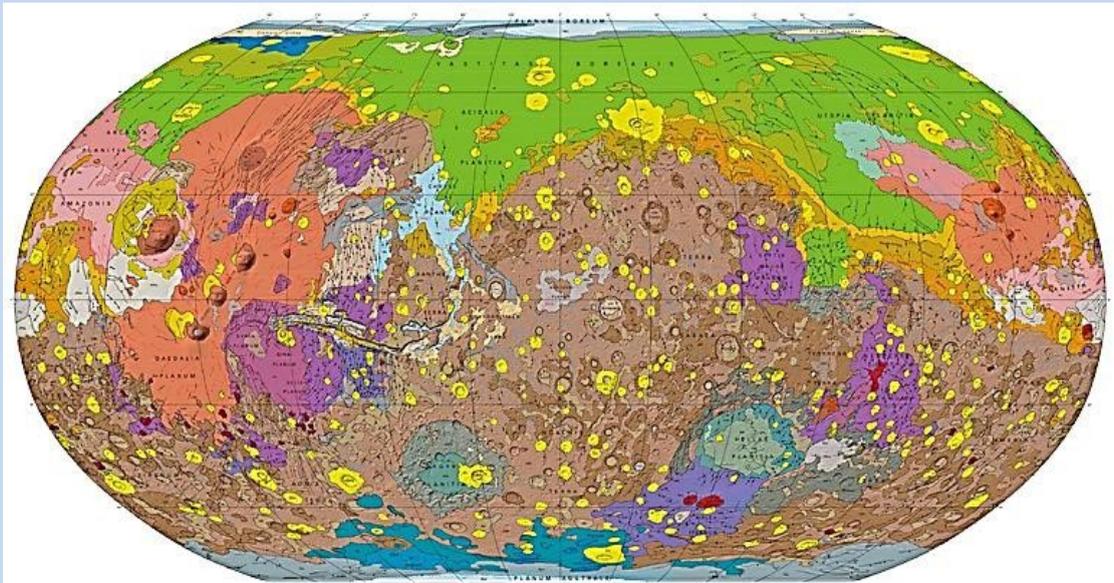
Cometa Churyumov-Gerasimenko en septiembre de 2014, fotografiado por la nave espacial Rosetta antes de que el módulo de aterrizaje Philae aterrizara en su superficie

Los únicos cuerpos del sistema solar en los que hasta ahora hemos podido aterrizar instrumentos con seguridad son la Luna de la Tierra, el cometa Churyumov-Gerasimenko, los planetas Marte y Venus, y la luna Titán de Saturno.

Cuadro 2.4. Geología planetaria – Marte

Antes de aterrizar los instrumentos en Marte, ya se tenía una muy buena idea de la geología del planeta, ya que los principios geológicos que se aplican en la Tierra también se aplican en otros planetas. Las observaciones de telescopios y satélites en órbita habían mostrado una enorme región volcánica que cubría el 25 % de la superficie, incluidos tres enormes volcanes, los volcanes más grandes del sistema solar (rojo y morado en el mapa). También hubo cráteres muy grandes producidos por impactos, con bordes elevados y depresiones centrales, el más grande con 1800 km de diámetro (amarillo en el mapa). Cerca del ecuador había un sistema de cañones profundos de más de 4000 km de largo, formado por fallas en el pasado distante. Algunas partes de la superficie tenían sistemas de valles cortados por las inundaciones; Se han cartografiado más de 4000 valles formados por agua con lechos de lagos y deltas.

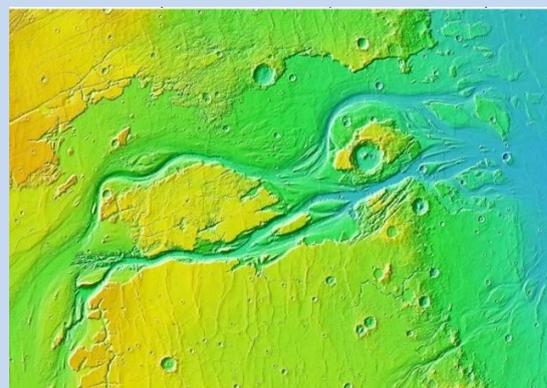
Los módulos de aterrizaje han proporcionado aún más evidencia del flujo de agua, incluidas capas sedimentarias y guijarros redondeados. Los módulos de aterrizaje también han demostrado que la mayor parte de Marte es un desierto con cráteres, cubierto por rocas y polvo. Dondequiera que el agua solía fluir sobre la superficie, ya no está.



Mapa geológico de Marte. Las áreas verdes son la geología de las tierras bajas; los rojos y morados son rocas volcánicas; los azules son geología polar; los colores marrón y naranja son áreas rocosas de las tierras altas; amarillo son cráteres de impacto.



El sistema de cañones con fallas cerca del Ecuador



El canal de salida de Kasei Valles



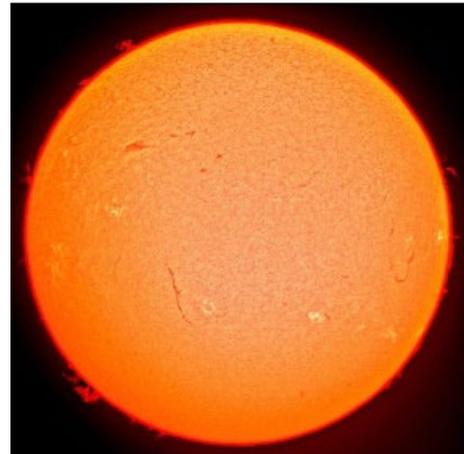
Vista desde el sitio de Pathfinder en Marte: cantos rodados y polvo en primer plano con colinas bajas de fondo

2.2 El sol

El Sol es nuestra estrella. Proporciona energía en todo el sistema solar y más allá.

La energía del Sol atraviesa el espacio, principalmente como luz visible, radiación infrarroja y ultravioleta. Cuando esta energía calienta las superficies terrestres y oceánicas, parte de ella se irradia y calienta la atmósfera. La energía se recibe del Sol durante el día y se irradia de vuelta al espacio durante la noche. Estos flujos de energía se equilibran para que la temperatura de toda la Tierra se mantenga igual todos los días. Las observaciones desde el espacio de la producción de energía del Sol que comenzaron en la década de 1970 muestran que esta producción de energía cambia según varios ciclos, pero solo alrededor del 0,1 %.

Figura 2.2. El Sol, nuestra principal fuente de energía



2.3 Sol, Tierra y Luna

2.3.1 Día/noche

La Tierra recibe energía del Sol en forma de radiación ultravioleta, visible e infrarroja, que calienta la Tierra. El calentamiento es mayor cuando el Sol aparece más alto en el cielo, como se muestra en la Figura 2.3. Cuando el Sol aparece directamente sobre su cabeza, un haz de radiación de 1 km de ancho calienta una zona de la Tierra de 1 km de ancho, pero cuando el ángulo del Sol es de 30° , un haz similar de 1 km de ancho calienta una zona de la Tierra de 2 km de ancho. de modo que la mitad de la cantidad de calor se recibe en cada punto.

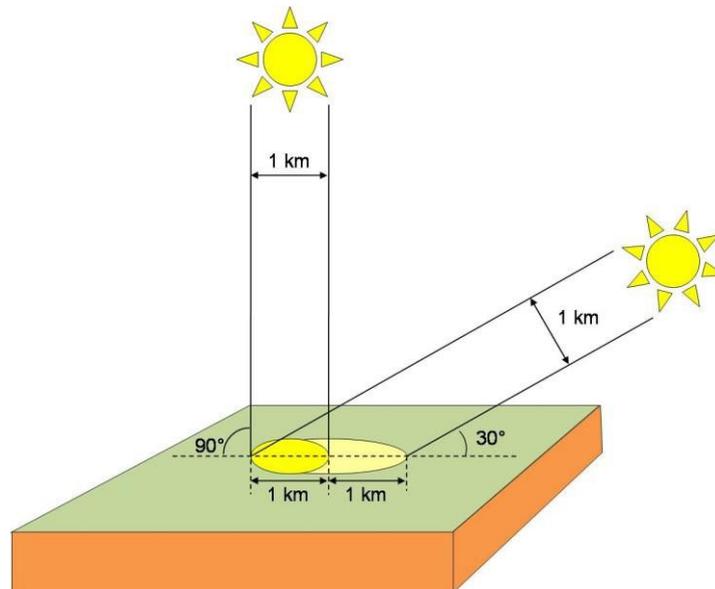
Cuadro 2.5. Cambio de sombras con la hora del día.

Los cometas son cuerpos helados del sistema solar que, cuando se acercan al Sol, liberan gases que a menudo forman una cola blanca. La cola fluye en la dirección del viento solar, siempre de espaldas al Sol. Muchos cometas tienen enormes órbitas ovaladas que los llevan desde el espacio profundo hasta el corazón del sistema solar y luego lo sacan.



Cuando el Sol aparece más alto en el cielo durante la mitad del día, las sombras son cortas. A medida que el Sol se hunde, las sombras se alargan. El cambio de posición del Sol en el cielo es el resultado del giro de la Tierra. Aquí, la fotografía de la izquierda se tomó a las 13:00 horas y la de la derecha a las 16:00 horas en Ibadan, Nigeria.

Figura 2.3. El efecto de calentamiento del ángulo del Sol en el cielo.



El calentamiento de la Tierra lleva tiempo, por lo que la parte más cálida del día suele ser posterior al momento en que el Sol está más alto en el cielo.

La cantidad de calor recibido depende de cómo es la superficie. Las superficies oscuras absorben y re irradian más calor que las superficies de colores pálidos, ya que las superficies de colores pálidos reflejan más radiación; este es el efecto albedo. La tierra se calienta más rápido que el agua, porque

el agua hace circular el calor recibido hacia las profundidades de la masa de agua. Pero la tierra también se enfría más rápido que el agua, porque el agua en circulación tarda en perder su calor. Esto significa que, si vives cerca de una gran área de agua, las temperaturas no subirán tanto como si vives lejos del agua, pero tampoco bajarán tanto. Por lo tanto, las áreas costeras normalmente tienen temperaturas altas y bajas más moderadas que las áreas del interior.

La Tierra irradia la energía que ha recibido durante el día de regreso al espacio como radiación infrarroja durante la noche. La parte más fría de la noche suele ser poco después del amanecer, cuando la radiación saliente comienza a equilibrarse nuevamente con la radiación entrante.

2.3.2 Las estaciones

El efecto de calentamiento de la altura aparente del Sol en el cielo en la Figura 2.3. afecta las estaciones de la Tierra, como se muestra en la Tabla 2.2. La duración de los días y las noches también tiene un efecto importante.

Tabla 2.2. La inclinación de la Tierra provocando las estaciones

Hemisferio	Estación	Diagrama	Angulo de los rayos	Duración del día/noche
Marzo			Marzo	
Norte	Primavera		El mismo ángulo de rayos y duración del día/noche en todas partes de la Tierra.	
Sur	Otoño			
Junio			Junio	
Norte	Verano		Norte cálido porque:	
			Sol fuerte en el cielo	Días largos para recibir el sol
Norte	Invierno		Sur frío porque:	
			Sol bajo en el cielo	Largas noches para perder calor
Septiembre			Septiembre	
Norte	Otoño		El mismo ángulo de rayos y duración del día/noche en todas partes de la Tierra.	
Sur	Primavera			
Diciembre			Diciembre	
Norte	Invierno		Norte frío porque:	
			Sol bajo en el cielo	Largas noches para perder calor
Norte	Verano		Sur cálido porque:	
			Sol fuerte en el cielo	Días largos para recibir Sol

No hay mucho cambio estacional cerca del ecuador, ya que el Sol siempre aparece alto en el cielo; por lo tanto, se mantiene caliente todo el año. Las variaciones estacionales son moderadas por los cuerpos de agua cercanos de la misma manera que las temperaturas diarias. Por lo tanto, las áreas costeras normalmente permanecen más frescas en verano que las áreas del interior, pero son más cálidas en invierno.

2.3.3 Las fases de la Luna

Al igual que la Tierra, la mitad de la Luna está iluminada por el Sol y la mitad está siempre a oscuras. La Luna tarda unos 27 días en dar la vuelta u orbitar la Tierra. Cuando la mitad de la Luna que está iluminada por el Sol mira hacia la Tierra, podemos ver toda la Luna; esto se llama Luna llena. A medida que la Luna continúa su órbita, vemos cada vez menos el lado iluminado y más y más el lado oscuro. Después de unos 13 días, el lado oscuro de la Luna está frente a nosotros, por lo que no podemos verlo en absoluto: esta es la fase de la Luna nueva. Después de eso, vemos más y más el lado iluminado de la Luna a medida que orbita de nuevo hacia la fase de Luna Llena, como en las Figuras 2.4. y 2.5.

Figura 2.4. Las fases de la luna

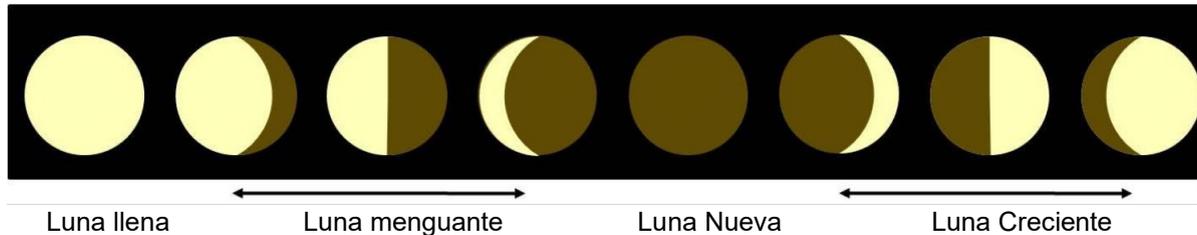


Figura 2.5. La luna llena: un collage de tres fotografías

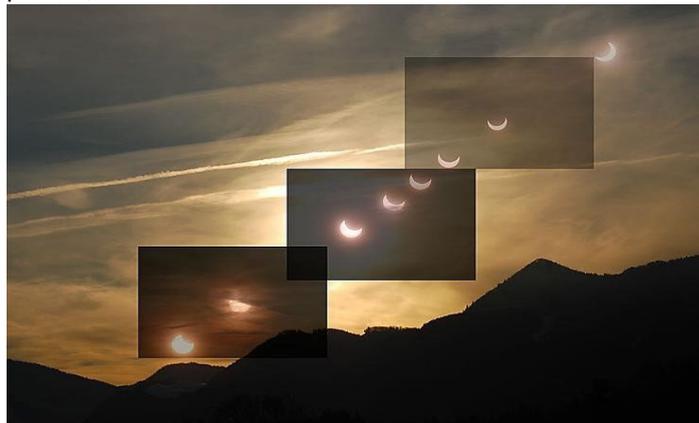


2.3.4 Eclipses

La órbita de la Luna forma un ángulo con la órbita de la Tierra, por lo que normalmente la Luna no se mueve entre la Tierra y el Sol y la Tierra no se mueve entre la Luna y el Sol.

Sin embargo, a veces la Luna se mueve entre la Tierra y el Sol; esto se ve como un eclipse solar en la Tierra. Aunque la Luna es mucho más pequeña que el Sol, está mucho más cerca de la Tierra, por lo que cuando está en el medio, puede cubrir completamente al Sol.

Figura 2.6. Un collage de fotografías de un eclipse solar, parcial, visto desde Alemania



Durante un eclipse solar de este tipo, se ve que la Luna cubre al Sol solo desde algunas partes de la Tierra; en otras áreas se ve un eclipse parcial, como en la Figura 2.6.

Si desea ver un eclipse solar, debe proteger sus ojos usando anteojos especiales para eclipses. Mientras observa, verá la forma de la Luna a medida que cubre gradualmente el Sol, mientras que la

Tierra se vuelve más y más oscura. Luego, la Luna avanza y la luz del día normal reaparece lentamente.

Cuando la Luna se mueve detrás de la Tierra, y el Sol, la Tierra y la Luna están en una línea, la sombra de la Tierra cubre a la Luna en un eclipse lunar. La sombra de la Tierra se mueve hasta que cubre toda la Luna y ya no se puede ver la Luna. Luego la sombra se mueve y la Luna aparece de nuevo. Mientras esto sucede, la refracción de la luz por parte de la atmósfera de la Tierra puede colorear a la Luna de un color naranja rojizo por un tiempo, Figura 2.7.

Figura 2.7. Un collage de fotos de un eclipse lunar.



3 La Tierra es un sistema que ha cambiado con el tiempo

Traducido por: Christian Ayala

3.1 Intervalo de tiempo geológico

La Tierra, medida por datación radiométrica, tiene la misma edad que el sistema solar, 4600 millones de años (4600 millones de años).

Antes de que estuviera disponible la datación radiométrica, varios geólogos habían tratado de estimar su edad. Habían llegado a la conclusión de que era muy antigua y habían escrito que estudiar la Tierra era como mirar en un 'abismo del tiempo' (John Playfair en 1805) sin 'vestigios de un comienzo, sin perspectiva de un final' (James Hutton en 1795). Aunque en ese momento no era posible descubrir la edad en años (o millones de años) de ningún evento terrestre, sí era posible ordenar los eventos geológicos. Ordenar eventos se llama datación relativa, ya que nos permite decir qué evento fue más antiguo y cuál más joven, en relación con el otro.

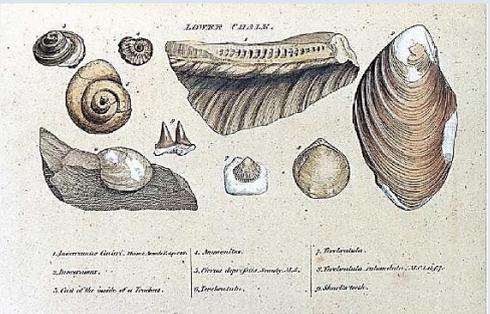
3.2 Datación relativa

La Tierra, medida por datación radiométrica, tiene la misma edad que el sistema solar, 4600 millones de años (4600 millones de años).

Antes de que estuviera disponible la datación radiométrica, varios geólogos habían tratado de estimar su edad. Habían llegado a la conclusión de que era muy antigua y habían escrito que estudiar la Tierra era como mirar en un 'abismo del tiempo' (John Playfair en 1805) sin 'vestigios de un comienzo, sin perspectiva de un final' (James Hutton en 1795). Aunque en ese momento no era posible descubrir la edad en años (o millones de años) de ningún evento terrestre, sí era posible ordenar los eventos geológicos. Ordenar eventos se llama datación relativa, ya que nos permite decir qué evento fue más antiguo y cuál más joven, en relación con el otro.

Tabla 3.1. métodos de datación relativa

Método de datación relativa	de	Descrito por primera vez por	Detalles de método	Ejemplo
Principio de superposición de estratos	de	Nicholas Steno en 1669	Cuando se depositan rocas, las de arriba son las más jóvenes (excepciones son, por ejemplo, cuando una secuencia está volcada por deformación o cuando la falla ha empujado una	 Tiza inclinada en Chipre: los más jóvenes arriba

	<p>secuencia más antigua sobre una más joven).</p>	 <p>Roca plegada en Groenlandia: la roca en la parte superior de la isla está volcada, con una roca más antigua encima</p>
<p>Ley de las relaciones transversales</p>	<p>Nicholas Steno en 1669</p> <p>cualquier cosa (por ejemplo, fractura, roca, vena, superficie de erosión) que corta a través de cualquier otra cosa debe ser más joven</p>	 <p>Diques en Colorado, EE. UU.; roca gris más antigua, cortada transversalmente por un dique casi horizontal</p>
<p>Ley de fragmentos incluidos</p>	<p>Charles Lyell en 1830</p> <p>Cualquier fragmento incluido en otra roca debe ser más antiguo.</p>	 <p>Islas del Canal en Herm, Reino Unido. Los xenolitos (fragmentos incluidos) de roca oscura en granito más pálido son más antiguos</p>
<p>Ley de sucesión faunística</p>	<p>William Smith en 1816</p> <p>Grupos de fósiles se encuentran siguiendo un orden conocido en la secuencia de rocas, lo que nos permite poner las rocas en orden cronológico.</p>	 <p>Uno de los dibujos de William Smith de un grupo de fósiles usado para datar una roca</p>

Las rocas deformadas o metamorfoseadas deben ser más antiguas que las que no las tienen; ley

Desconocido

Dado que la deformación y los eventos metamórficos regionales afectan a todas las rocas de una región, cualquier roca no deformada o no metamorfoseada debe ser más jovenes.



Una discordancia en Bochum, Alemania. La roca superior no deformada es más joven que la roca gris deformada e inclinada debajo.

Algunos de estos métodos de datación relativa se basan en otros dos principios importantes, descritos por primera vez por Nicholas Steno, como se muestra en la Tabla 3.2.

Estos principios y leyes se pueden utilizar para elaborar la historia geológica de un área, sin conocer la edad real de las rocas.

Cuadro 3.1. Usando métodos de datación relativa para elaborar la historia geológica de las rocas; en esta secuencia de rocas en el desierto de Negev en Israel:



- Las rocas sedimentarias horizontales se depositaron en secuencia por lo que, de acuerdo con el 'Principio de superposición', las rocas más antiguas están en el fondo
- Las rocas se colocaron originalmente de forma horizontal y continua sobre un área amplia, como en el 'Principio de horizontalidad original' y el 'Principio de continuidad lateral'
- La capa más gruesa cerca de la base de la secuencia es un conglomerado que contiene guijarros; de acuerdo con la 'Ley de los fragmentos incluidos', los guijarros deben ser más antiguos que la capa en la que se encuentran.
- Las rocas han sido cortadas por un dique vertical de roca ígnea que, según la 'Ley de relaciones transversales', debe ser más joven que los sedimentos horizontales que corta.

- Todo ha sido cortado por la superficie de erosión que es el acantilado actual, por lo que este es el último evento, según el 'Ley de las relaciones transversales'.

Entonces, la historia de las rocas es:

Último Evento -

- La parte superior del acantilado moderno y la cara se erosionaron
- La secuencia de rocas fue cortada por una lámina de magma líquido que solidificó en un dique
- Las capas restantes se depositaron, volviéndose más jóvenes hacia arriba
- Se depositó el lecho más bajo en la cara del acantilado, seguido por el
- Conglomerado que contiene los guijarros

Primer anterior -

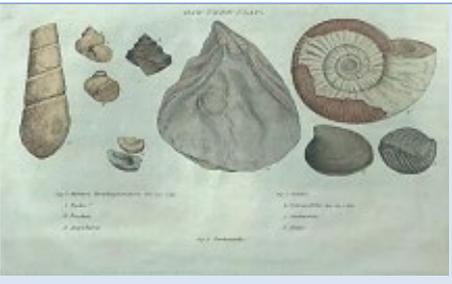
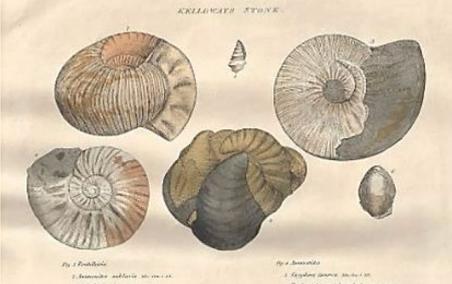
- Se formó una roca que luego se erosionó para formar cantos rodados.

Tabla 3.2. Principios del depósito de sedimentos, lavas y cenizas volcánicas

Principio de formación de la roca	de la	Descrito por primera vez por	Detalles	Ejemplo que sigue el principio	Ejemplo que no sigue el principio
<p>Principio de horizontalidad original</p>		<p>Nicolás Steno en 1669</p>	<p>Las capas de sedimentos se depositan originalmente de forma horizontal (al igual que las lavas y las cenizas volcánicas), pero a veces se depositan en ángulo.</p>	 <p>Sedimentos del Mioceno depositados horizontalmente – Drahomyrchany, Ucrania</p>	 <p>Sedimentos que originalmente no se depositaron horizontalmente: arenas cruzadas (en capas) depositadas en la edad de hielo. Estonia</p>
<p>Principio de la continuidad lateral</p>		<p>Nicolás Steno en 1669</p>	<p>capas sedimentarias, lava y depósitos de ceniza continúan lateralmente sobre grandes áreas, pero hay situaciones inusuales en las que no es así.</p>	 <p>Rocas sedimentarias lateralmente continuas del Gran Cañón, Arizona (USA)</p>	 <p>Sedimentos discontinuos; depósitos fluviales en Islandia, que se detienen en los lados del valle.</p>

William Smith usó fósiles para calcular la datación relativa de las rocas, describiendo su método como la 'Ley de la sucesión faunística'. Reconoció que muchas capas de rocas sedimentarias contenían ciertos grupos de fósiles y estos podían rastrearse en grandes áreas. Esto significa que dondequiera que encontraba una roca con cierto grupo de fósiles, sabía que era una roca de la misma edad. Este método se llama **correlación**. Smith también se dio cuenta de que las capas que contenían ciertos grupos de fósiles siempre se encontraban en el mismo orden. Esto significaba que cuando encontraba una roca con un grupo de fósiles, las rocas con otros grupos de fósiles siempre se encontrarían arriba o abajo, como se muestra en la Tabla 3.3. Aunque Smith usó su método para correlacionar rocas y colocarlas en secuencias, no sabía por qué los fósiles se encontraban siempre en el mismo orden. Fue solo después que Charles Darwin se dio cuenta que la razón de este orden era la **evolución**.

Tabla 3.3. El método de William Smith aplicando la 'Ley de sucesión faunística'

Secuencia de William Smith		Edad relativa a periodos de la escala del tiempo geológico reconocida después de Smith	Dibujo original de los grupos de fósiles
El más joven	Tiza inferior	Edad del Cretácico tardío	
	Arena verde	Edad del Cretácico temprano	
	Arcilla del Árbol de Roble (ahora llamada arcilla Kimmeridge)	Jurásico tardío, edad kimmeridgiana	
El más Antiguo	Roca de Kelloways	Edad jurásica media	

Ahora podemos aplicar el método de Smith más ampliamente, ya que sabemos que ciertos fósiles solo se encuentran en ciertas edades de las rocas. Así, al reconocer los fósiles, conocemos la edad geológica de las rocas, como en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Fósiles típicos encontrados en rocas de diferentes edades

Edad de la roca	Fósil encontrado solo en rocas de esa edad	Imagen del fósil
Cuaternario	Caparazón de molusco <i>Argopecten gibbous</i> - vive en el lecho marino, pero puede mover su concha para escapar de los depredadores; se encuentra en los sedimentos neógenos, cuaternarios y modernos. Este es un espécimen moderno.	
Neógeno	<i>Crassostreaa titán</i> , concha de ostra, que vivía en las costas rocosas. Este espécimen de la Formación Santa Margarita en California, EE. UU.	
Paleógeno	Dientes fósiles del extinto tiburón tigre de arena <i>Carcharias tingitana</i> : los dientes de este tiburón se encuentran solo en el Paleógeno. Estos especímenes son de Khouribga, Marruecos.	

<p>Cretáceo</p>	<p><i>Micraster leskeie</i>quinodermo, un erizo de mar que vive sobre y dentro del sedimento del fondo marino. Esta especie se encuentra solo en el Cretácico, aunque otras formas de <i>Micraster</i> se encuentran en el Paleógeno; este espécimen es de Chalk cerca de Puys, Dieppe, Francia.</p>	
<p>Jurásico</p>	<p><i>Califiloceras</i> una amonita que vivía como un pulpo con caparazón, nadando en el mar. Las paredes entre las cámaras tenían formas muy complejas, como la pintura negra de la imagen. Estas formas solo se encuentran en amonitas del el Jurásico y Cretácico.</p>	
<p>Triásico</p>	<p><i>Ceratites</i>. La Ceratita amonoide vivía nadando en el mar como un pulpo con caparazón. Tenía paredes entre cámaras que estaban suavemente curvadas hacia la boca del caparazón, pero complejas en la otra dirección. Este espécimen de Oberer Muschelkalk. Hohenlohe, Alemania.</p>	
<p>Pérmico</p>	<p>Goniatita amonoide (también encontrada en rocas del Carbonífero y Devónico tardío); como un pequeño pulpo con caparazón. Vivía nadando en el océano: tenía paredes entre cámaras con formas simples en zig-zag.</p>	

<p>Carbonífero</p>	<p><i>Caninia</i> corales rugosos que vivían enraizados en el fondo del mar. Estos especímenes se encuentran en las calizas de Lecompton (Kansas, EE. UU.)</p>	
<p>Devónico</p>	<p><i>Phacops</i>, trilobite que vivía en el fondo del mar, probablemente como un depredador activo; este espécimen es del Devónico medio Silica Shale, Ohio, EE. UU.</p>	
<p>Silúrico</p>	<p><i>Monograptus</i>, graptolito con un solo brazo que lleva una colonia de graptolitos que flotaban en el océano.</p>	
<p>Ordovícico</p>	<p><i>Tetragraptus</i>, graptolito con cuatro brazos*; cada uno de ellos llevaba una colonia de pequeños animales graptolitos; la colonia flotaba en el océano. Este espécimen de la serie Bendigoian del Ordovícico inferior, Bendigo (Victoria, Australia).</p> <p>*En la foto solo se ven tres de los cuatro brazos (estipes)</p>	
<p>Cambriano</p>	<p><i>Paradoxides</i>, trilobites. Estos vivían en el fondo del mar y probablemente eran depredadores.</p>	

Cuando los geólogos estaban usando fósiles para correlacionar y secuenciar rocas, descubrieron que había cambios repentinos en los grupos de fósiles en ciertos lugares del registro fósil. Ahora

sabemos que esto se debió a que hubo grandes eventos de extinción en esos momentos, pero los primeros geólogos estaban más interesados en cómo estos cambios podrían usarse para dividir rocas. Los fósiles se usaron para identificar períodos geológicos (con los nombres que se muestran en la primera columna de la Tabla 3.4).

Cuadro 3.2. Un ejemplo de un período geológico – el Triásico

El período Triásico es el primer período de la Era Mesozoica ("vida media") y fue nombrado por Freidrich Von Alberti en 1834 debido a sus tres capas principales (tri = tres), que se encuentran en toda Alemania y en el noroeste de Europa. Estos son lechos rojos en el fondo, seguidos por una piedra caliza, con una serie de lutita/arenisca en la parte superior. Pudo distinguir las rocas del Triásico de las rocas subyacentes y superiores debido a los cambios importantes en los fósiles encontrados en la base y la parte superior de la secuencia. Ahora sabemos que estos fueron los resultados de eventos de extinción masiva a gran escala.

Hoy en día, siempre que es posible, las posiciones de los límites principales en la columna geológica se identifican mediante una sección y punto de estratotipo de límites globales (GSSP). Se encuentra un lugar en algún lugar de la Tierra donde hay una serie de lechos fosilíferos de la edad correcta, donde se puede encontrar la posición exacta del límite. Se coloca un 'pico dorado' en ese punto para marcar este importante punto de referencia.

El 'pico dorado' para la parte inferior del Triásico (y por lo tanto la parte superior del período pérmico precedente) está en Meishan, en la provincia china de Zhejiang, donde un microfósil de conodonte llamado *Hindeodus parvus* aparece por primera vez en la secuencia geológica.

La parte superior del Triásico (y por lo tanto la base del período Jurásico) tiene su pico de oro en Kuhjoch en el Tirolo de Austria, donde se encuentra por primera vez la amonita *Psiloceras spelae tirolicum*.



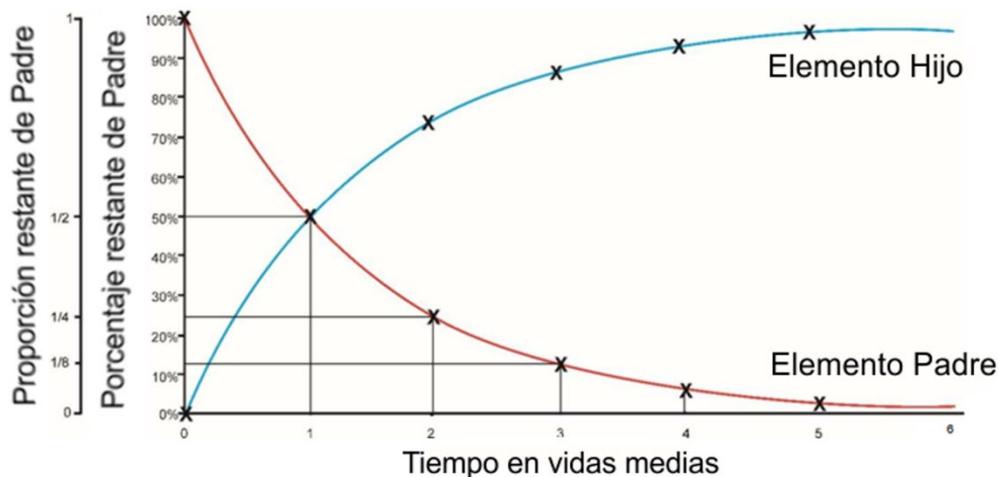
El marcador de bronce 'pico dorado' en uno de los límites geológicos dentro del Período Triásico - con un molde de yeso de la Ceratita, que aparece por primera vez en el registro geológico allí, marcando el límite.

Los métodos de datación relativa se habían utilizado para calcular las edades relativas de las rocas y los períodos geológicos durante muchos años, pero no sabíamos qué edad tenían los períodos, o las edades de los límites entre los períodos, hasta que estuvo disponible la datación radiométrica.

3.3 Datación absoluta

La datación radiométrica se hizo posible cuando se descubrió que los elementos radiactivos contenidos en algunas rocas y minerales se descomponen para formar otros elementos. Su deterioro con el tiempo ocurre de una manera predecible que se puede mostrar en un gráfico; esto a menudo se denomina **curva de decaimiento radiactivo** (Figura 3.1).

Figura 3.1. La curva de desintegración radiactiva para la descomposición de todos los materiales radiactivos.



Al elemento radiactivo que se desintegra se le llama “padre”, el cual decae o se desintegra en otro llamado “hijo”. El gráfico muestra que después de cierto tiempo, la mitad del elemento se ha descompuesto hasta convertirse en el hijo. Este tiempo se llama la vida media. Después de otra vida media, otra mitad del padre se ha descompuesto, por lo que solo queda una cuarta parte; la sustancia entonces contiene 25% del padre y 75% del hijo. Después de que ha pasado una tercera parte del tiempo de vida media, otra octava parte (12,5%) del padre se ha descompuesto, por lo que la sustancia es 12,5% padre y 87,5% hija. El desglose continúa, y el porcentaje de padres se vuelve cada vez menor a medida que la cantidad de hijos se vuelve cada vez mayor.

Aunque todos los materiales radiactivos se descomponen de acuerdo con este patrón, la duración de sus vidas medias varía enormemente, desde miles de millones de años hasta microsegundos y menos. Si elegimos un elemento radiactivo con una tasa conocida de descomposición, podemos medir las cantidades de productos padre e hijo, para darnos la edad en que se formó el elemento por primera vez. Esto luego da la edad del mineral o roca en la que se encuentra. Este método se llama datación absoluta porque da una edad en años, miles, millones o billones de años. Dado que las mediciones implican una pequeña cantidad de error calculado, las mediciones de datación radiométrica siempre se dan mostrando el error potencial.

Cuadro 3.3. El rango de error de las dataciones radiométricas absolutas



La ciudad de Edimburgo en Escocia está construida alrededor de un antiguo volcán. Se utilizaron minerales de feldespato de las rocas volcánicas para fechar la erupción. La fecha dada por la desintegración radiactiva del argón en el feldespato fue de 349 ± 4 millones de años, lo que demuestra que el volcán entró en erupción en el Carbonífero hace entre 353 y 345 millones de años.

La datación absoluta solo se puede usar para rocas o minerales que contienen el tipo correcto de elementos radiactivos y da la fecha en que se formó por primera vez esa roca. Esto funciona bien para la mayoría de las rocas ígneas y algunas metamórficas. No es tan útil para rocas sedimentarias, ya que los granos de sedimento se formaron antes, antes de ser erosionados y depositado. Esto dificulta la vinculación de las fechas radiométricas con las fechas de correlación fósil, ya que los fósiles se encuentran en las rocas sedimentarias. Esta es una de las razones por las que llevó mucho tiempo asignar fechas absolutas a los límites entre los períodos de la columna geológica. Sin embargo, casi todas estas fechas ya han sido confirmadas, lo que nos permite producir la columna geológica con fechas, que se muestra en la Tabla 3.5. Los principales eventos de la historia geológica se han agregado a la columna final de esta tabla.

Tabla 3.5. Las principales subdivisiones del tiempo geológico basadas en la última Carta Cronoestratigráfica Internacional publicada por la Comisión Internacional de Estratigrafía*

Eón	Era	Periodo	Abreviación	Edad	Eventos Principales
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Q	0	
		Neógeno	N	2.6	3.3 Herramientas de rocas más antiguas
		Paleógeno	Pg	23	50 Montes del Himalaya
	Mesozoico	Cretácico	K	66	66 Extinción masiva del Cretácico-Paleógeno
		Jurásico	J	145	130 Primeras plantas con flores
		Triásico	T	201	160 Primeras aves 190 Apertura del Océano Atlántico
		Pérmico	P	252	220 Primeros mamíferos
		Carbonífero	C	299	252 Gran extinción masiva
	Paleozoico	Devónico	D	359	299 Formación del Supercontinente Pangea
		Silúrico	S	419	315 Primeros reptiles
		Ordovícico	O	444	370 Primeros anfibios
		Cámbrico	Cm	485	400 Primeros insectos
				541	430 Primeras plantas terrestres
				541	530 Primeros peces
Precámbrico	Proterozoico			541	541 Vida con caparazones o partes duras
				2,000	2,000 Primeros organismos multicelulares
	Arcaico			2,100	2,100 Primeras eucariotas
				2,500	2,700 Oxígeno libre en la atmósfera
Hadeano			4,000	3,500 Primeras bacterias y algas	
			4,600	4,000 Rocas más antiguas conocidas	
			4,600	4,600 Origen de la Tierra	

* A medida que mejoraron los métodos de datación en rocas, algunas de las fechas de la tabla cambiaron con el tiempo. La Tabla 3.5 muestra la última versión.

3.4 Tasas de procesos

Alguna vez se pensó que la mayoría de los procesos geológicos ocurrían lenta y constantemente. Ahora sabemos que, mientras que algunos son muy lentos y constantes, otros pueden ser muy rápidos y catastróficos. Por ejemplo, se necesitan millones de años para que se deposite una secuencia de rocas sedimentarias, pero las capas individuales se pueden depositar en segundos. De manera similar, el enfriamiento del magma líquido en las profundidades del subsuelo hasta que se convierte en una roca ígnea sólida puede tardar millones de años, mientras que los volcanes pueden entrar en erupción en segundos. Las rocas pueden levantarse lentamente, como cuando el hielo que las recubre se ha derretido permitiendo que la tierra se eleve, o pueden levantarse repentinamente, en terremotos.

Ahora parece que la evolución, que también se había pensado como un proceso constante, a menudo ocurre en ráfagas repentinas, mientras que las extinciones masivas también parecen catástrofes repentinas.

Ha quedado claro que el registro geológico de mil millones de años es un registro de una combinación de procesos extremadamente lentos intercalados por procesos catastróficos violentos, con otros procesos que actúan en todos los períodos de tiempo intermedios.



Núcleos de sedimentos de aguas en las profundidades del mar cerca de Groenlandia. Los sedimentos se han acumulado durante largos períodos de tiempo.



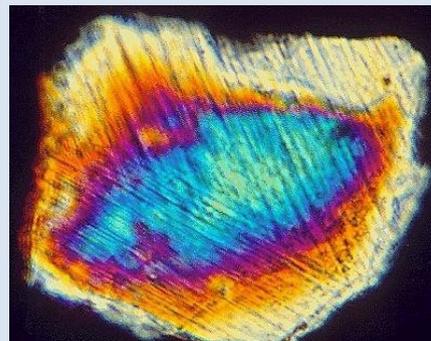
Capa gris real de un depósito de tsunami de 8.000 años de antigüedad en Escocia, establecida en minutos, con capas de turba oscura arriba y abajo.

Cuadro 3.5. Eventos de impacto catastrófico

Los objetos del espacio a menudo chocan con la Tierra y otros planetas. Aunque la mayoría de estos son muy pequeños y no se detectan, los asteroides de 1 km de diámetro golpean la Tierra cada medio millón de años en promedio, mientras que los de 5 km de diámetro lo hacen cada 20 millones de años aproximadamente. Muchos asteroides pequeños se rompen en la atmósfera, pero los más grandes producen cráteres al golpear la Tierra. El tamaño del impacto depende del diámetro, la densidad, la velocidad y el ángulo del cuerpo que choca. Aunque los cráteres volcánicos a menudo pueden parecer muy similares a los de impacto, solo estos últimos tienen pequeñas perlas vítreas llamadas tectitas y "cuarzo impactado", producido por la deformación del cuarzo durante el impacto. Algunos impactos también producen capas de iridio, así como de hollín y ceniza.



Formas comunes de tectitas: mancuerna y lágrima



Cuarzo impactado con planos de deformación vistos bajo el microscopio en luz polarizada cruzada.

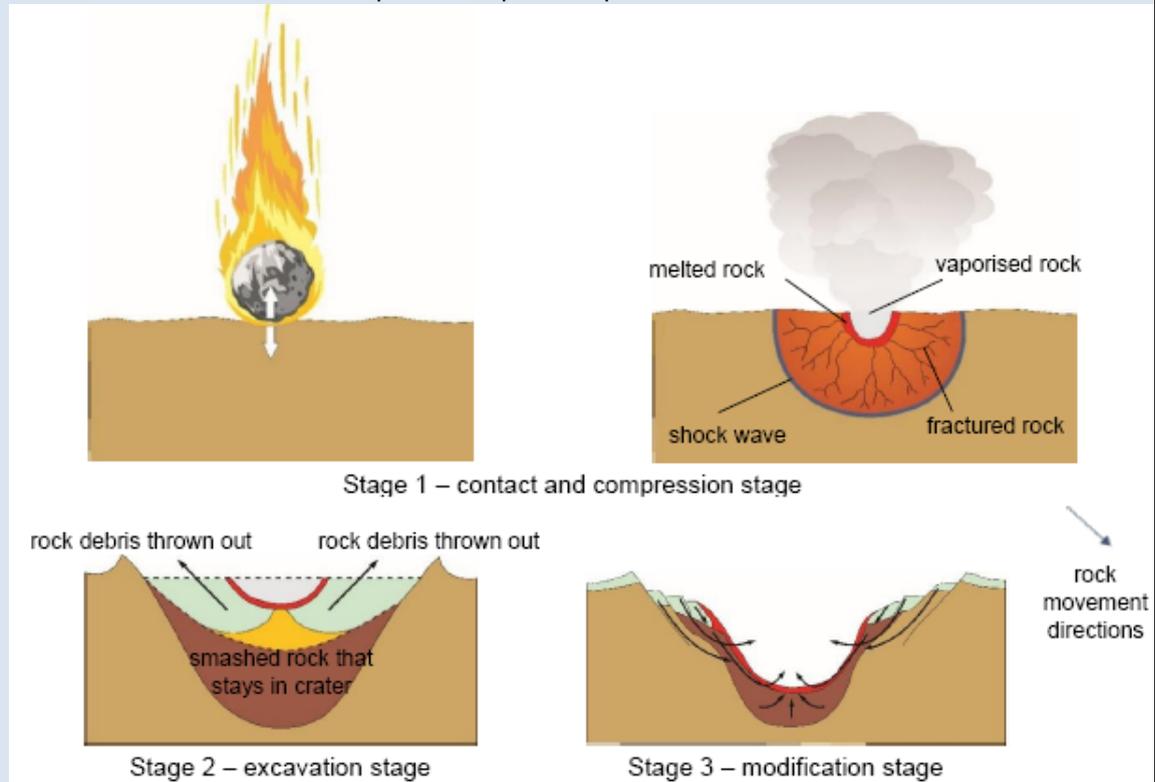


Cráter lonar en la India.



Cráter Manicouagan de 100 km de ancho en los Costa Norte de Québec, Canadá.

La geología de los impactos es inusual porque muchos de los eventos suceden en segundos, en lugar de los períodos de tiempo mucho más largos generalmente estudiados por los geólogos. Los impactos suelen tener las etapas que se muestran a continuación. El resultado es la conocida forma de cráter producida por el impacto de meteoritos.



Cráter de Meteorito (Barringer) cerca de Flagstaff en Arizona, EE.UU., que formó una depresión de impacto típica con un centro elevado, rodeado por el borde alto del cráter. Se produjo hace unos 50.000 años.

4 El Sistema Terrestre comprende esferas que interactúan

Traducido por: Néstor salinas, Romina Celabe, Osmín J Vásquez, José Sellés-Martínez, María Jesús Bravo y César Chacaltana

El Sistema Terrestre está formado por muchos, muchos subsistemas. Estos se pueden dividir en geosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera, aunque existen muchas interacciones entre estos diferentes subsistemas, como se muestra en el Capítulo 1.

4.1 Geosfera

La geosfera constituye la parte sólida de la Tierra. Incluye toda la Tierra, con su núcleo, manto, corteza, rocas, minerales, fósiles y suelos. También incluye todos los procesos que afectan a la Tierra sólida y sus materiales.

4.1.1 Materiales y Propiedades de la Tierra

La parte externa de la Tierra está formada por rocas y estas, a su vez, están formadas por minerales o fragmentos de otras rocas y, a menudo, están cubiertas por suelo.

4.1.1.1 Minerales

Los minerales son sustancias inorgánicas formadas naturalmente con estructuras cristalinas fijas. Pueden estar formados por elementos químicos, pero la mayoría son compuestos químicos de dos o más elementos. Debido a que las sustancias formadas naturalmente no suelen ser tan puras como los productos químicos manufacturados, pueden tener pequeñas diferencias en la química, la estructura cristalina y las propiedades físicas. Los diferentes minerales pueden reconocerse por sus propiedades; las propiedades clave son el color, la forma del cristal, la dureza y la forma en que se rompen. Algunos minerales tienen propiedades particulares que facilitan su identificación, como la reacción de la calcita con ácido clorhídrico diluido, el sabor salado de la halita o el brillo metálico y de alta densidad de minerales como la galena. Los minerales más comunes se muestran en la Tabla 4.1.

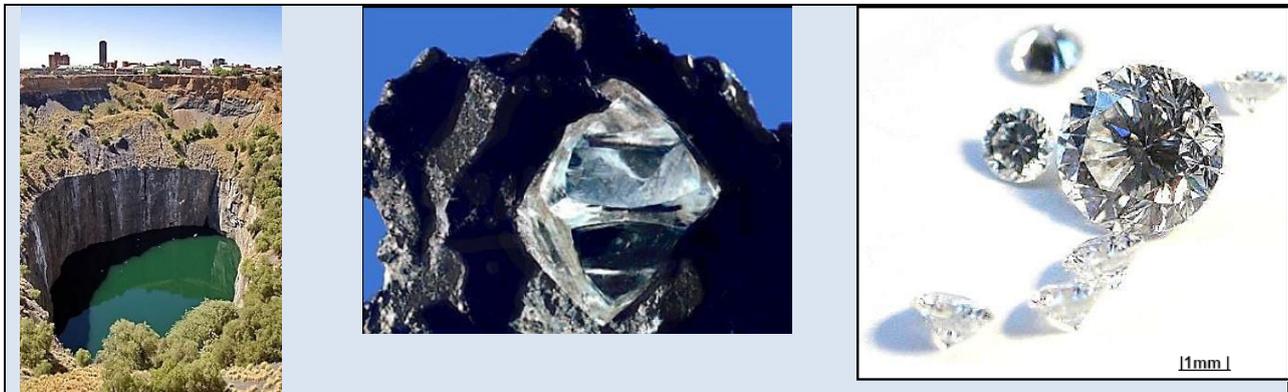
Tabla 4.1. Minerales más comunes; química, forma de los cristales y propiedades físicas.

Nombre	Imagen	Química	Forma de los cristales	Propiedades Físicas
Cuarzo Cristales de: localidad desconocida		Dióxido de silicio; SiO ₂	Casi formas hexagonales (de 6 lados)	Generalmente blanco, gris o incoloro, pero puede tener otros colores pálidos; duro; difícil de romper.

<p>Feldespato</p> <p>Cristales de: Rock Creek Cañón, Sierra Nevada, California, USA</p>		<p>Silicato de calcio / sodio / potasio; intervalo de $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ a (K, Na) AlSi_3O_8</p>	<p>Formas alargadas</p>	<p>Generalmente blanco o gris, a veces rosa; duro; se rompe a lo largo de superficies planas</p>
<p>Mica</p> <p>Cristales de: localidad desconocida</p>		<p>Silicato complejo de calcio, sodio, potasio, aluminio, magnesio y / o hierro</p>	<p>Placas casi hexagonales (de 6 lados)</p>	<p>Generalmente incoloro o negro; baja dureza; se rompe fácilmente en hojas planas</p>
<p>Calcita</p> <p>Cristales de: Mina Nkana, Zambia</p>		<p>Carbonato de Calcio; CaCO_3</p>	<p>Habitualmente se presenta con una forma de "dientes de perro"</p>	<p>Blanco o incoloro; dureza bastante baja; se rompe fácilmente en forma de cubo aplastado; reacciona con ácido clorhídrico diluido.</p>
<p>Halita</p> <p>Cristales de: mina de sal de Wieliczka, Polonia</p>		<p>Cloruro de Sodio; NaCl</p>	<p>En forma de Cubo</p>	<p>Incoloro, blanco o rosado; baja dureza; se rompe muy fácilmente en forma de cubo; sabor salado.</p>
<p>Yeso</p> <p>Cristales de: localidad desconocida</p>		<p>Sulfato de Calcio; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>Cristales delgados, formas tipo "rosas del desierto" como el de la imagen</p>	<p>Incoloro, blanco o rosado; baja dureza; se rompe fácilmente a lo largo de superficies planas.</p>

Pirita Cristales de: localidad desconocida		Sulfuro de hierro; FeS_2	A menudo en forma de cubo	Amarillo cobrizo brillante; duro; difícil de romper; alta densidad
Galena Cristales de: Mina Gibraltar, Naica, Chihuahua, México		Sulfuro de plomo; PbS Un mineral de plomo.	A menudo en forma de cubo	Gris brillante; baja dureza; se rompe fácilmente en forma de cubo; alta densidad

Cuadro 4.1. Un mineral inusual: el diamante



Los diamantes se forman bajo una gran presión en las profundidades de la Tierra, a partir del elemento carbono. Son transportadas a la superficie por medio de rocas volcánicas llamadas kimberlitas. El magma ascendente perfora tubos circulares hacia arriba a través de la corteza a gran velocidad, llevando los diamantes. Los diamantes se extraen de tuberías de kimberlita, como el "Gran Hoyo" en Kimberley, Sudáfrica, que se muestra en la foto. Cuando las kimberlitas se erosionan, los diamantes son transportados por los ríos y depositados en depósitos aluviales; también se extraen muchos diamantes de estos depósitos.

Los diamantes son muy especiales porque sus fuertes enlaces de carbono atómico los convierten en el mineral más duro de la Tierra. También tienen una superficie muy brillante. Los diamantes en bruto, como el que se muestra en la foto central, se pueden tallar para que reflejen aún más la luz, convirtiéndolos en las gemas más valiosas, ampliamente utilizadas en joyería. Los diamantes más pequeños se utilizan para el corte y pulido industrial porque son muy duros, y a menudo se usan además en los taladros utilizados por los dentistas

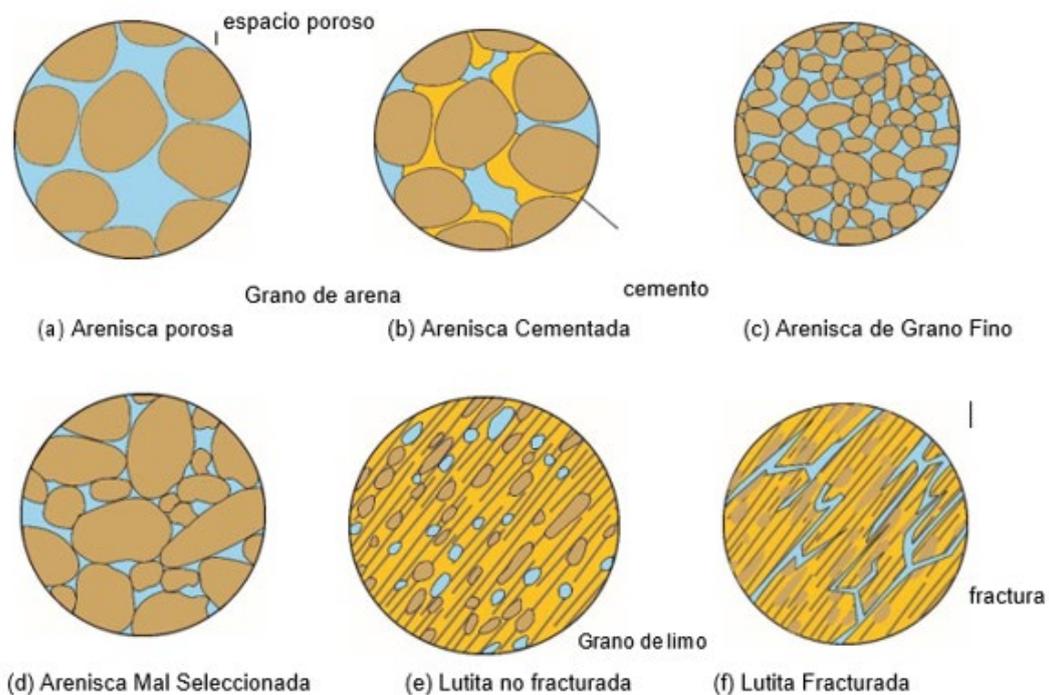
4.1.1.2 Rocas

Las rocas son sustancias formadas naturalmente. Están constituidos de minerales, fragmentos de otras rocas o fósiles y se forman a través de los procesos del ciclo de las rocas descritos en la Sección 1.4.4. Las rocas se identifican y describen en función de su composición química y su textura física. La composición química está ligada a los minerales que forman la roca, mientras que la textura de la roca depende de los tipos y tamaños de las partículas y de su disposición. Estas características se relacionan a su vez con la resistencia de las rocas al desgaste y con su porosidad y permeabilidad.

La porosidad es la cantidad de espacio o poros en una roca, que se mide como porcentaje. 15% de porosidad es una alta porosidad para las rocas; la mayoría de las rocas tienen porosidades mucho más bajas que ésta. La permeabilidad de las rocas mide la rapidez con que los fluidos pueden fluir a través de las rocas. Las rocas con alta porosidad tienen alta permeabilidad si los poros son lo suficientemente grandes como para que los fluidos fluyan y los poros estén unidos entre sí. Las rocas con espacios porosos muy pequeños, como las arcillas, no dejan pasar los fluidos y, por lo tanto, son porosas pero impermeables.

De manera similar, los agujeros que dejan las burbujas de gas en algunas lavas no están unidos entre sí, por lo que la roca nuevamente es porosa pero impermeable (Figura 4.1). Las rocas hechas de cristales entrelazados, bien cementadas o de grano muy fino, detienen el flujo de fluidos y son impermeables, a menos que contengan grietas y fracturas. La porosidad y la permeabilidad controlan las cantidades de fluidos naturales como agua, petróleo y gas que pueden almacenarse y fluir a través de las rocas.

Figura 4.1. Porosidad y permeabilidad en rocas. La porosidad y permeabilidad en (a) se ha reducido por el cemento en (b); la permeabilidad en (c) es bastante baja porque los espacios porosos son pequeños; la permeabilidad en (d) también es baja porque los espacios porosos entre los granos más grandes han sido rellenados por los más pequeños; la lutita no fracturada en (e) es impermeable hasta que se fractura en (f).



Las rocas formadas por granos comprimidos y / o cementados naturalmente entre sí son rocas sedimentarias, que pueden tener una variedad de composiciones y texturas. Las rocas sedimentarias más comunes son ricas en minerales de cuarzo, feldespato y arcilla. Estos pueden tener una variedad de tamaños de grano, desde conglomerados de grano grueso (con granos redondeados) y brechas (granos de forma angular), pasando por areniscas de grano medio, hasta rocas sedimentarias de grano fino como lutitas, lutitas y arcilla / arcillas. Las calizas también son rocas sedimentarias comunes y están formadas principalmente por fragmentos de minerales de carbonato de calcio como la calcita, principalmente de conchas rotas. Las calizas se pueden identificar porque el carbonato de calcio reacciona con el ácido diluido: una gota de ácido clorhídrico en la piedra caliza producirá una reacción burbujeante. Las calizas también varían de grano grueso a grano fino y su color va del gris al color crema y al blanco de la tiza de grano fino.

Las rocas ígneas y metamórficas están formadas por cristales entrelazados que normalmente las hacen muy resistentes al desgaste y también las hacen impermeables, a menos que estén fracturadas. Incluso en algunos casos, los cristales entrelazados se pueden ver a simple vista o con una lupa.

Las rocas ígneas, alguna vez fueron rocas fundidas denominadas magma, y generalmente se formaron por el enfriamiento del magma. A medida que este se enfriaba, los cristales de minerales crecieron hasta que se entrelazaron, a medida que la roca se solidificaba. Los minerales de diferentes composiciones tienen diferentes colores y cristalizan a diferentes temperaturas, por lo que las rocas ígneas son mezclas de minerales de diferentes colores, formas y tamaños. Los cristales normalmente tienen orientaciones aleatorias. La única excepción a las rocas ígneas que se forman al enfriar el magma es cuando el mismo sale explosivamente de los volcanes como bloques sólidos o cenizas volcánicas.

Las rocas metamórficas se forman a partir de rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas más antiguas por metamorfismo causado por el aumento de temperatura, presión o ambos. Se forman en estado sólido, por lo que no hay fusión (las rocas formadas por fusión son rocas ígneas). El aumento de temperatura proviene del contacto de las intrusiones ígneas con las rocas que la rodean o de quedar profundamente enterrado. Cuando hay presión involucrada, las rocas metamórficas solo pueden formarse en situaciones de colisión de placas y no simplemente por la presión de enterramiento de secuencias gruesas de rocas superpuestas. Las rocas metamórficas producidas solo por el aumento de temperatura tienen cristales entrelazados orientados aleatoriamente, mientras que las rocas metamórficas formadas por presiones tectónicas de placas aumentadas tienen cristales entrelazados que están orientados en ángulos rectos a las presiones. El mármol, al ser una roca metamórfica formada por cristales de carbonato de calcio, reacciona con el ácido clorhídrico diluido de la misma forma que la piedra caliza.

Estas propiedades permiten distinguir los tres grandes grupos de rocas entre sí: estudiando los granos o cristales, probando la permeabilidad (dejando caer agua sobre la superficie o poniendo muestras en el agua y observando si hay burbujas ascendentes), y raspando la superficie de las rocas con una uña o un trozo de metal, como una moneda. Los resultados se muestran en la Tabla 4.2. La caliza y el mármol también reaccionan con ácido clorhídrico diluido.

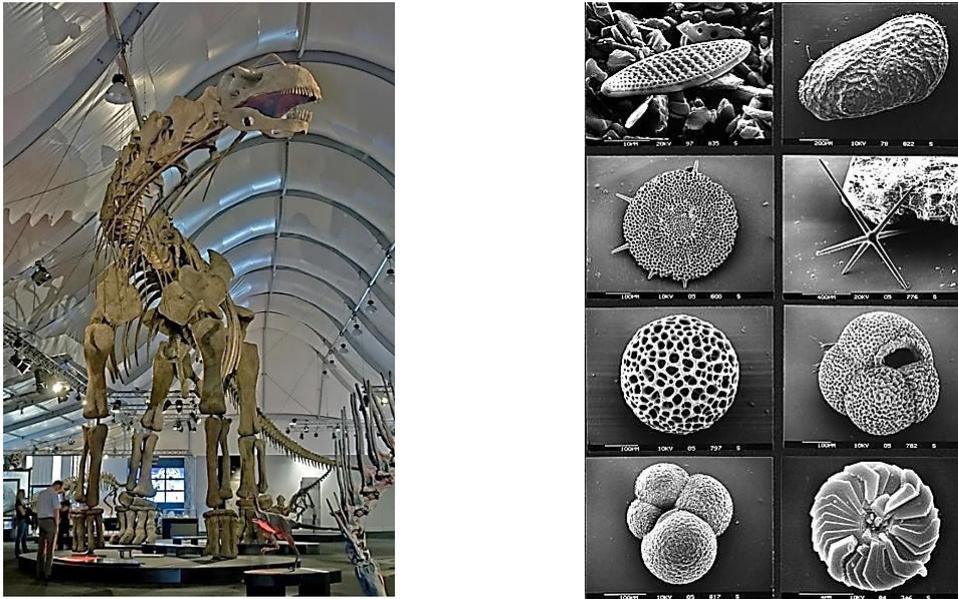
Tabla 4.2. Resultados de pruebas sencillas para distinguir los tres principales grupos de rocas.

Tipo de Roca	Características de los granos/cristales	Prueba de Permeabilidad	Prueba de Rayado
Sedimentaria	Granos cementados o comprimidos juntos	El agua se infiltra en los poros e intersticios de la muestra, y puede salir en burbujas a menos que sea de grano fino o bien cementado.	Fácilmente rayada a menos que esté bien cementada
Ígnea	Cristales entrelazados, orientados aleatoriamente	El agua no se infiltra en la superficie; y no puede salir burbujas de la muestra	Difícil de rayar a menos que esté bien desgastado
Metamórfica	Cristales entrelazados; orientado aleatoriamente si está formado principalmente por calor; paralelo o sub-paralelo si se forma por presión y calor juntos.		

4.1.1.3 Fósiles

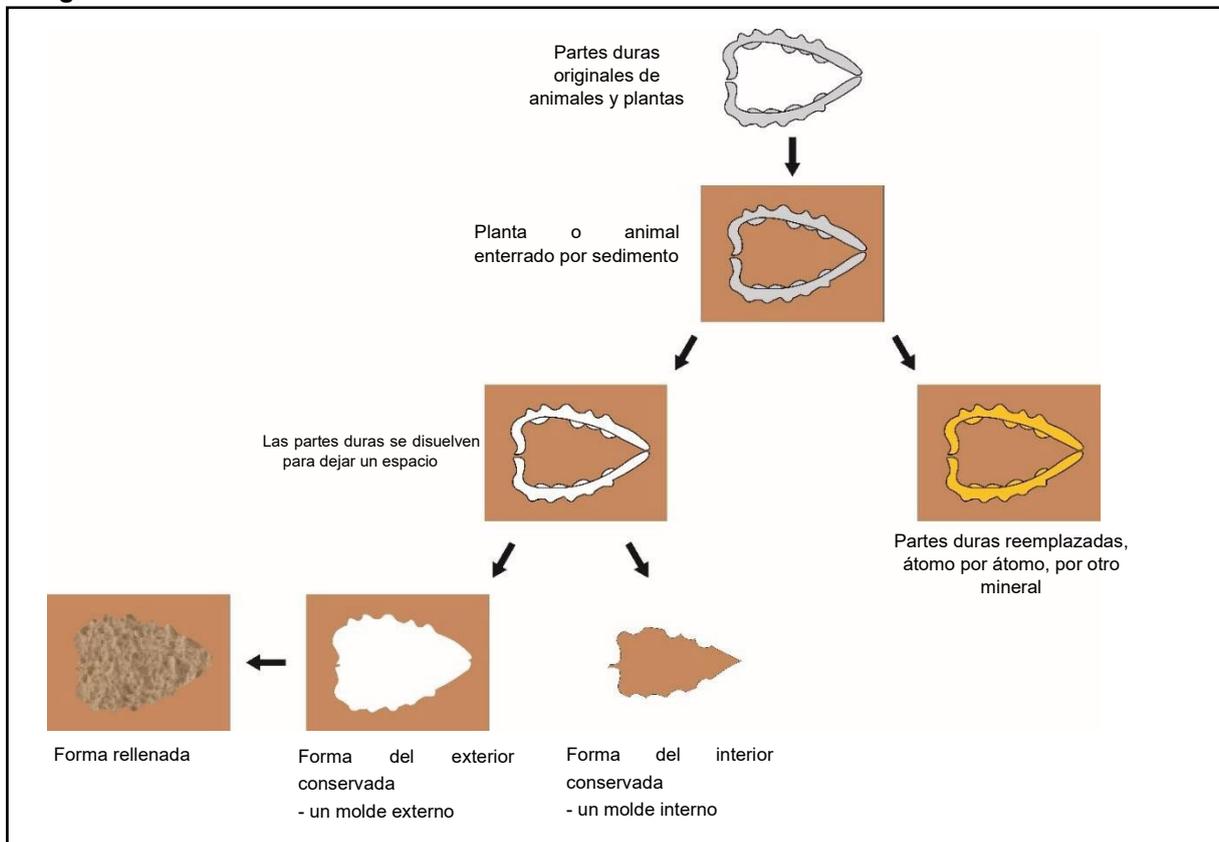
Los fósiles incluyen cualquier rastro de vida conservado y generalmente se considera que tienen más de 10,000 años. Varían en tamaño desde los dinosaurios más grandes hasta los microfósiles más pequeños (Figura 4.2.).

Figura 4.2. Argentinosaurus de Argentina, el tipo de dinosaurio más grande conocido hasta ahora, e imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de diminutos microfósiles marinos.



Los fósiles se encuentran en rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas de bajo grado (no muy metamorfoseadas). Son los restos conservados de las partes duras de organismos como conchas o huesos y muy ocasionalmente las partes orgánicas blandas (incluyendo piel, pelaje, plumas, etc.). En algunos casos, los materiales originales han sido reemplazados átomo por átomo por otros minerales, que pueden mantener o no todas las características originales. A veces, los fósiles se han disuelto, dejando agujeros (moldes) en la roca circundante. Los moldes pueden haber sido rellenados posteriormente con otros materiales, formando moldes de los fósiles originales (Figura 4.3).

Figura 4.3. Fosilización



La evidencia preservada de organismos enteros fosilizados se denomina fósiles completos o fósiles corporales, mientras que los icnofósiles son los signos que dejan los organismos en el sedimento, como huellas, madrigueras y perforaciones. Los procesos más importantes de fosilización se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Procesos importantes de fosilización

Proceso de Fosilización	Imagen	Tipo de Fósil
Enterramiento: partes blandas y duras conservadas	 <p>A fossilized mammal skeleton, likely a small rodent, preserved in a light-colored matrix. The skull, ribs, and limbs are clearly visible. A scale bar in the bottom left corner indicates 10mm.</p>	<p>Pequeño fósil de mamífero parecido a una musaraña, mostrando huesos y pelaje preservado.</p> <p>Fósil de la formación Yixian, provincia de Liaoning, China, edad Cretácico temprano.</p>
Enterramiento: solo se conservan las partes duras	 <p>A large, well-preserved trilobite fossil, showing the characteristic three-lobed body structure. The fossil is light-colored and embedded in a darker matrix. A scale bar in the bottom left corner indicates 1mm.</p>	<p>Un trilobite <i>Calymene</i></p> <p>Fósil de la Formación Henryhouse, Oklahoma, EE. UU. Edad Silúrica.</p>
Reemplazo: mineral original reemplazado por un mineral nuevo	 <p>A pyritized ammonite fossil, showing the characteristic chambered structure of the shell. The fossil is dark and embedded in a lighter matrix. A scale bar in the bottom left corner indicates 1mm.</p>	<p>Amonita, originalmente formada por carbonato de calcio, ahora pirita</p> <p>Fósil de Bully Calvados, Francia Edad Jurásica.</p>

<p>Formación de Molde</p>		<p>El molde interno y externo de un gasterópodo parecido a un caracol (el fósil en sí se ha disuelto, dejando la forma del interior y el exterior del caparazón)</p> <p>Fósil de la formación Galena, Iowa, EE. UU. Edad Ordovícica.</p>
<p>Formación de Molde</p>		<p>Molde de una huella de dinosaurio; este dejó una huella en la arcilla que se endureció antes de llenarse de arena; ahora se ha extraído la arcilla y la arenisca se ha puesto boca abajo para revelar el molde de arenisca.</p> <p>Fósil de la Formación Ashdown, Fairlight, Sussex, Inglaterra Edad Cretácica.</p>
<p>Iconofósiles: madrigueras y senderos</p>		<p>Madrigueras de un trilobite.</p> <p>Fósiles de la Formación Gog, Lake Louise, Alberta, Canadá Edad Cámbrica.</p>
<p>Rastros de fósiles - rastros de raicillas</p>		<p>Rastros de raíces de una planta fósil Lepidodendron con rastros de raicillas (moldes - rastros de fósiles)</p> <p>Fósil del noreste de Ohio, EE. UU. Edad Carbonífera</p>

4.1.1.4 Rocas Sedimentarias

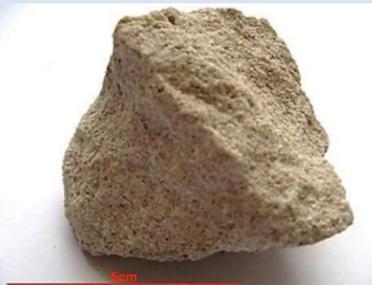
Las rocas sedimentarias se depositaron como sedimentos y se identifican analizando su composición mineral y tamaño de grano (Tabla 4.4). Las rocas sedimentarias suelen ser permeables a menos que estén bien cementadas o de grano fino, y la mayoría son fáciles de rayar. Los granos son fáciles de ver en rocas arenosas, pero generalmente imposibles de ver en rocas arcillosas, incluso con una lupa.

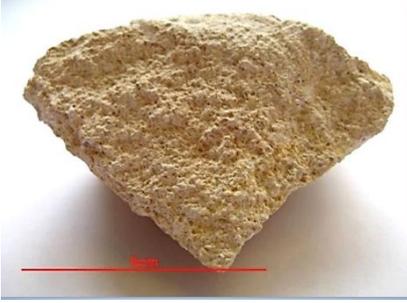
Tabla 4.4. Clasificación de Rocas Sedimentarias

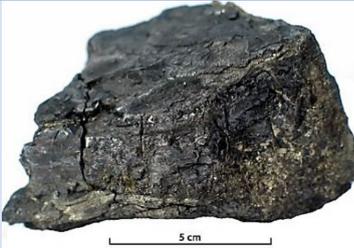
Composición Química		Rica en Silicio	Rica en Carbonato de Calcio	Rica en cloruro de sodio	Rica en carbono
Características		Son las rocas sedimentarias más comunes; resistentes si están bien cementadas, de lo contrario fácil de rayar. Comúnmente oscuro o gris pálido, marrón, crema o rojo.	Reacciona con ácido clorhídrico diluido; fácil de rayar. Comúnmente pálido gris, crema o blanco.	Hecho de halita con sabor salado; cristales cúbicos; muy fácil de rayar; rosado, blanco o incoloro.	Muy fácil de rayar; a menudo se rompe en formas cúbicas; negro; puede contener fósiles de plantas.
Tipos de rocas comunes: consulte la Tabla 4.5.					
Tamaño de grano	Fino < 0.0625 mm	Lutita y arcillita	Caliza; creta	Sal Gema	Carbón Mineral
	Medio 0.0625 – 2 mm	Arenisca; limolita	Caliza		
	Grueso > 2 mm	Conglomerado, brecha			

La mayoría de los sedimentos arenosos se depositan en lechos en estratos, mientras que las arcillas se depositan en capas más delgadas llamadas laminaciones. A medida que el sedimento se enterró, los lodos se comprimieron en lutitas, lutitas o arcillas / arcillas más compactas y la arcilla calcárea se comprimió en caliza o creta, a medida que se exprimía el agua. Mientras tanto, el agua fluía a través de los espacios porosos de los sedimentos más gruesos, como lechos de guijarros, arenas y arenas de conchas, y minerales cristalizados del agua como un cemento natural, que unía los granos; estos sedimentos se solidificaron convirtiéndose en conglomerados de grano grueso y areniscas o calizas de grano medio, como se muestra en la Tabla 4.5. Entonces, para las rocas sedimentarias, los dos procesos principales de formación de rocas son la compactación y la cementación.

Tabla 4.5. Rocas sedimentarias más comunes

Rocas Sedimentarias	Muestra	Imagen Afloramiento	Lugar del afloramiento
Conglomerado			Afloramiento de conglomerados, cerca de San Sebastián, España. Edad Cretácica
Arenisca color crema			Arenisca color crema con estratificación cruzada, Isla de Bressay, Islas Shetland, Reino Unido. Edad Devónica
Arenisca Roja			Arenisca roja en el Cañón de Antílope, Arizona, EE. UU. El color rojo se debe a la hematita del Triásico / Jurásico.
Lutita			Lutita roja pérmica con estratificaciones de limolita más pálida, Cuenca de Lodève, Hérault, la Lieude, Mérfons, Francia

Rocas Sedimentarias	Imágenes		Lugar del Afloramiento
	Muestra	Afloramiento	
Lutita			Lutita marina, Slate Hill Road, Marcellus, New York, USA Edad Devónica
Arcillita			Arcilla, Estonia. Edad Cuaternaria
Caliza fosilífera			Caliza Fosilífera de Pembrokeshire, Gales Edad Carbonífera
Caliza oolítica			Caliza Oolítica del Jura en la cantera Rothenstein III, región del Jura, Francia. Edad Jurásica
Creta			Møn, Dinamarca Edad Cretácica

Sal de roca			Cueva de coronel Sal, Israel. Las exposiciones naturales a la sal son más frecuentes bajo tierra, ya que la sal se disuelve en el agua.
Carbón			Ingreso a una vieja mina de yacimiento de carbón. Formación Stellarton, Nueva Escocia, Canadá del periodo Carbonífero

Cuadro 4.2.
Una roca sedimentaria inusual – Chert (o Sílex)



El Chert se encuentra como bultos llamados nódulos en roca caliza de grano fino (foto de la derecha). Cuando se encuentra en creta se le llama Sílex (foto de la izquierda) y se usó en tiempos prehistóricos para hacer puntas de flecha y otras herramientas afiladas.

El Chert y el Sílex se forman cuando se deposita un lodo calcáreo fino en condiciones tranquilas sobre el lecho marino y al mismo tiempo se depositan organismos microscópicos muertos hechos de sílice (dióxido de silicio). A medida que el lodo calcáreo se comprime en Caliza o Creta, la sílice se disuelve en el agua entre las partículas. Luego se recrystaliza en nódulos de Chert / sílex de grano muy fino, que crecen en la roca con el tiempo. Los nódulos tienen formas y tamaños redondeados y son frecuentes en capas. Las playas debajo de los acantilados de creta generalmente están hechas de guijarros de sílex muy duros ya que el mar erosiona la creta.

4.1.1.5 Rocas Ígneas

Las **rocas ígneas** se forman a partir de magma, una vez que esta se haya enfriado y cristalizado o a través de erupciones volcánicas explosivas. La mayoría de las rocas ígneas son impermeables y resisten el rayado debido a sus cristales minerales interconectados; se identifican mediante el tamaño del cristal mineral y su composición química. En las rocas los cristales minerales de grano grueso se ven a simple vista, las de grano medio pueden verse con una lupa, y los granos más finos son

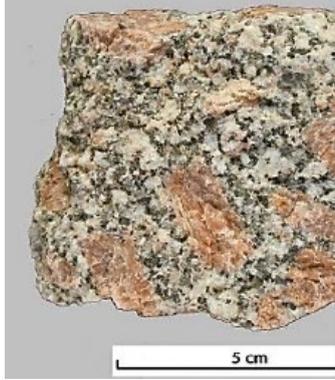
imposibles de ver sin la ayuda de un microscopio. Las rocas de grano grueso fueron formadas por el enfriamiento lento del magma en las profundidades de la superficie y se denominan **rocas plutónicas**; Las rocas ígneas de grano fino se forman usualmente por erupciones volcánicas es por eso por lo que las denominamos **rocas volcánicas**.

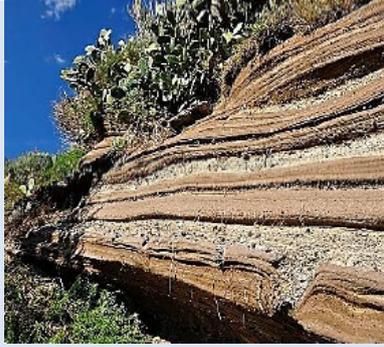
La composición química está relacionada con los minerales presentes en la roca y es responsable del color y aspecto general de la roca. Las rocas que tienen minerales ricos en hierro y magnesio presentan colores oscuros, mientras que las rocas ricas en silicio tienen principalmente minerales de colores claros como el feldespato y el cuarzo. Como se da en el sistema de clasificación en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Clasificación de las rocas ígneas

Composición Mineral		Ricos en hierro/magnesio	en Intermedio	Ricos en sílice
Características		Minerales oscuros; colores oscuros, mayor densidad (se siente pesado).	Características intermedias	Minerales claros; colores claros; densidad normal de la roca
Tipos de rocas comunes - ver Tabla 4.7				
Tamaño del cristal	Fino (<1mm)	Basalto	Andesita	Ceniza volcánica
	Medio (1-3 mm)	Dolerita o Diabasa	infrecuente	infrecuente
	Grueso (>3mm)	Gabro	infrecuente	Granito

Tabla 4.7. Rocas ígneas comunes

Rocas ígneas	Imagen		Lugar del afloramiento
	Muestra	Afloramiento	
Granito			Exposiciones de granitos del periodo Devónico, Mount Hope, Victoria, Australia.
Gabro			Gabro procedente de Ucrania en un muro geológico en el parque botánico de Folk, Blankenfelde Pankow, Berlín, Alemania.

<p>Dolerita o Diabasa</p>			<p>Dique de Dolerita en el borde de un río, Agwa Rock, Lago Superior Provincial Park, Canadá.</p>
<p>Basalto</p>			<p>Columnas de basalto (formadas cuando el basalto se enfrió) del Terciario procedente de la Calzada de los Gigantes, Irlanda del Norte.</p>
<p>Andesita</p>			<p>Flujo de lavas andesíticas del Terciario, Volcán Stewart, Colorado, EE. UU..</p>
<p>Ceniza volcánica</p>			<p>Ceniza volcánica del periodo Cuaternario depositada como capas de toba en las Islas Eolias cerca de Sicilia, Italia.</p>

Cuadro 4.3. Unas rocas ígneas inusuales – Vidrio Volcánico



Como otras rocas ígneas, el vidrio volcánico se forma al enfriar el magma. Cuando el magma se enfría lentamente bajo tierra, hay tiempo para que se formen grandes cristales. Cuando entra en erupción como lava en la superficie, se enfría mucho más rápido y, por lo tanto, tiene cristales mucho más pequeños y de grano fino como en el basalto. Si este enfriamiento es más rápido aún, no hay tiempo para que los átomos del fundido de lava se junten en cristales y se forma entonces vidrio. El vidrio volcánico del flujo de lava, la muestra, la navaja de obsidiana prehistórica de las imágenes se formó así. El vidrio para ventanas y botellas se fabrican enfriando sílice fundida de la misma manera.

4.1.1.6 Rocas Metamórficas

Las **rocas metamórficas** se forman cuando las rocas sedimentarias, ígneas o rocas metamórficas más antiguas se recrystalizan en estado sólido por incremento del calor y/o presión. Las rocas no se funden durante el metamorfismo, de lo contrario se convertirían en rocas ígneas.

La mayoría de las rocas metamórficas resultan del aumento del calor y la presión de la formación de montañas causada por la colisión de placas. Este es el **metamorfismo regional**. Bajo estas condiciones intensas, algunos minerales se transforman en otros minerales, algunos minerales recrystalizan volviéndose más delgados y alargados, mientras que otros minerales giran hasta que se alinean orientados en la dirección de la presión.

Las rocas metamórficas también se forman cuando las rocas son afectadas por un cuerpo ígneo caliente cercano. Dado que la recrystalización del mineral aquí es principalmente por calor y no hay presión tectónica, los cristales nuevos en las rocas no presentan orientación.

El tipo de roca metamórfica formada por el calor y la presión (metamorfismo regional) o principalmente por calor (**metamorfismo térmico o de contacto**) depende de la composición de la roca original del que, procesada, como se muestra en la Tabla 4.8.

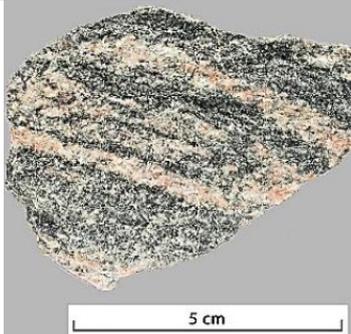
Tabla 4.8. Clasificación de las rocas metamórficas

Composición Mineral		Minerales de cuarzo y arcilla en lutita o arcillita	Cuarzo arenisca	en Calcita en caliza
Tipos de rocas comunes del metamorfismo regional - ver Tabla 4.9				
Incremento del calor y la presión ↓	Bajo grado	Pizarra	Cuarcita	Mármol
	Grado medio	Esquisto		
	Alto grado	Gneis		
Tipos comunes de rocas metamórficas térmicas				
Incremento del calor		Corneana o Hornfels	Cuarcita	Mármol

Dado que las rocas metamórficas están hechas de cristales interconectados, generalmente son impermeables y resisten el rayado más que la mayoría de las rocas sedimentarias. Las rocas del

metamorfismo regional se pueden identificar a partir de sus minerales orientados. En la pizarra (roca de grano fino), producen debilidades y pueden romperse en láminas a lo largo de sus planos de exfoliación. En el esquisto (grano más grueso que la pizarra), los minerales alineados pueden verse brillosos a la luz cuando se mueve una muestra. Los minerales forman bandas en el gneis; a veces, las bandas se deforman en pliegues complejos. Es difícil de observar cualquier orientación mineral en la cuarcita o en el mármol y, por lo tanto, es difícil distinguir las de origen regional o de contacto (térmico) en estas rocas. La cuarcita es como una arenisca azucarada, pero muy dura e impermeable; el mármol también puede parecer azucarado, pero reacciona con ácido clorhídrico diluido. La corneana también es dura y, al ser una roca metamórfica de contacto, está formada por minerales no orientados, pero generalmente son imposibles de ver en esta roca de grano fino.

Tabla 4.9. Rocas metamórficas comunes

Rocas metamórficas	Muestra	Imagen Afloramiento	Lugar del afloramiento
Pizarra			Pizarra del periodo Devónico en un corte de ruta protegido por anclajes de roca y malla de alambre, Montañas Rothaar, Norte del Rin, Alemania.
Esquisto			Mica-esquisto del periodo Devónico, La Pierre Blanche, isla de Groix, Bretaña, Francia
Gneis			Gneis bandeado de la era Precámbrica, en el monte Pan de Azúcar, Rio de Janeiro, Brasil

Mármol			Bloque de mármol del periodo Jurásico en la cantera de Carrara, Italia - ampliamente utilizado como piedra de construcción y para esculpir estatuas.
Cuarcita			Cuarcita expuesta del periodo Ordovícico, El Castellar, Zaragoza, España.

4.1.1.7 Suelo

El **suelo** es el resultado de la interacción entre la vida y los materiales de la superficie de la Tierra, por lo que donde no hay vida, no hay suelo. El suelo se forma a través de interacciones entre la geosfera sólida, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. Los suelos se forman por fragmentos disgregados depositados por los ríos o glaciares o por la meteorización biológica del lecho rocoso (Roca Madre). Los diferentes tipos de suelos que pueden formarse dependen de muchos factores, incluido el clima, la altitud, la inclinación de la pendiente y el tipo de lecho rocoso u otro material de la superficie.

Los suelos casi siempre tienen una capa superficial que suele ser de color oscuro. La capa superficial es la zona que ocupan las raíces de las plantas; muchos microorganismos y animales como gusanos viven allí y es donde se encuentra la mayor parte del material orgánico en descomposición o *humus*. Los principales componentes de la capa superficial del suelo son, por tanto: vida animal y vegetal, *humus*, sedimentos o fragmentos de roca, agua y aire. Pequeñas cantidades de esta capa contienen miles de millones de plantas y animales microscópicas que pertenecen a miles de especies diferentes.

Debajo de la capa superficial en la mayoría de los suelos hay una zona del subsuelo donde se acumula material de grano fino después de ser lavado hacia abajo por el agua del suelo; la mayoría de los cambios químicos ocurren aquí. La base de un suelo es el lecho de roca (Roca Madre) u otro material de superficie original.

El suelo es una parte clave del ecosistema de la Tierra; todas las plantas superiores crecen en el suelo. Es un hábitat clave para una amplia gama de otras plantas y animales, y es la base de toda la agricultura. Recicla nutrientes y desechos orgánicos y afecta la calidad del agua que fluye a través de él. El suelo también interactúa con los gases de la atmósfera. El mejor suelo para el crecimiento de las plantas es aquel que tiene alrededor de la mitad en material sólido y la otra mitad de espacio, llena de agua o aire. El material sólido es una mezcla de arena, limo, arcilla y *humus*; diferentes mezclas de arena, limo, arcilla y humus dan una variedad de diferentes tipos de suelo.

Figura 4.4. Secuencia de suelos en Altenberg, Alemania



Los agricultores tratan de hacer que los suelos sean más productivos agregando diferentes componentes. En áreas donde los suelos son ácidos, se agrega cal (óxido/hidróxido de calcio - $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$) para neutralizarlos. En otras áreas, la adición de arcillas mejora los suelos, mientras que, en otros lugares, la adición de abono animal o fertilizantes de potasio y nitrógeno aumenta la productividad del suelo.

Cuadro 4.4. Charles Darwin y el suelo



Charles Darwin fue una de las primeras personas en comprender la importancia de las lombrices de tierra para la formación del suelo. Había notado que una capa de cal blanca de carbonato de calcio que se había colocado sobre el suelo de un campo inglés muchos años antes ahora formaba una capa varios centímetros bajo tierra. Se dio cuenta de que esto se debía a la acción de las lombrices de tierra y construyó su propio "almacén de lombrices" para investigar su idea. Publicó sus ideas sobre la importancia de las lombrices de tierra para la formación del suelo en 1881.

Fotos de un "almacén de lombrices" casera en una botella de plástico cortada, antes de agregar lombrices de tierra y luego, después de varios días de actividad de lombrices de tierra.

4.1.2 Procesos terrestres y características observadas

Los procesos terrestres están vinculados entre sí a través del ciclo de las rocas, que se muestra en la Figura 1.7. El ciclo de las rocas incluye los procesos superficiales de meteorización, erosión, transporte y deposición que están estrechamente relacionados con la parte superficial del ciclo del agua. Una vez depositados los sedimentos, pueden quedar enterrados por los sedimentos superpuestos cuando la compactación y la cristalización del cemento natural los transforma en rocas sedimentarias.

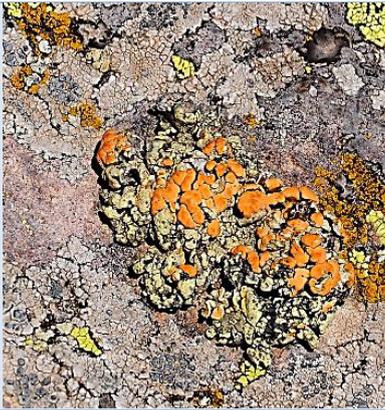
4.1.2.1 Procesos superficiales

La atmósfera, la hidrosfera y la biosfera interactúan con la geosfera, moldeando el paisaje y formando y depositando sedimentos. Las rocas superficiales son atacadas por la meteorización y la erosión. La **meteorización** es la ruptura (desintegración física) y descomposición (descomposición química) de material en la superficie de la Tierra sin la remoción del material sólido. La **erosión** es la remoción del material sólido, que luego puede transportarse más distancias.

Aunque los procesos de meteorización tienden a actuar al mismo tiempo, se pueden dividir separados en físicos (mecánicos), químicos y biológicos, como se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Procesos comunes de meteorización

	Proceso	Características	Imagen	Fuente
Físico	Congelamiento (Crioclastismo)	El agua entra en las grietas, se congela, se expande, luego se descongela y gotea más profundamente; a medida que continúan los ciclos de congelación/descongelación, la grieta se ensancha. Es importante donde la congelación/descongelación es común, como en las cimas de las montañas		Roca fracturada del Sur Islandia
	Calentamiento (Termoclastismo)	Las rocas se calientan mucho durante el día y se enfrían mucho durante la noche; dado que los minerales se expanden y contraen a diferentes velocidades, la roca se debilita y se agrieta. Es importante en regiones cálidas que se vuelven muy frías por la noche		Láminas de granito que se desprenden debido al calentamiento/enfriamiento, Domo Half, Parque nacional de Yosemite, EE. UU
Químico	Lluvia ácida sobre caliza y mármol	El agua de lluvia disuelve el dióxido de carbono de la atmósfera y absorbe más CO ₂ a medida que fluye por el suelo. El ácido carbónico débil disuelve el carbonato de calcio. Cuando la caliza se disuelve a lo largo de las fracturas, se ensanchan y se pueden formar cuevas.		Afloramiento de caliza carbonífera con fracturas ensanchadas (grykes), Doolin Quay, Irlanda
	Oxidación de areniscas y cuarcitas.	El agua de lluvia fluye a lo largo de las fracturas, oxidando los minerales de hierro a colores amarillo, marrón y rojo		Meteorización química a lo largo de una fractura en la formación rocosa Khondalite en la playa Rushikonda, Visakhapatnam, India

Biológico	Líquenes y musgos	Los líquenes son las primeras plantas en colonizar las rocas expuestas. Sus diminutas raicillas crecen en los poros entre los granos minerales de roca y la debilitan a medida que el líquen se seca y se contrae. También tienen efectos bioquímicos. Los líquenes a menudo son seguidos por musgos, que después forman el suelo.		Líquenes que crecen sobre roca desnuda, EE. UU.
	Formación del suelo	Los efectos biológicos de la meteorización en el lecho rocoso producen suelo.		Capas de suelo en el valle del Rin cerca de Rastatt, Alemania

La erosión es la remoción de material sólido. Los paisajes se moldean y los sedimentos se forman mediante cuatro procesos importantes de erosión, como se destaca en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Procesos erosivos importantes

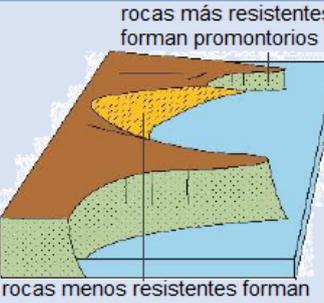
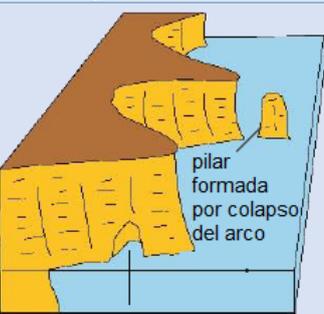
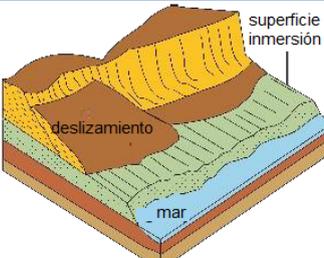
Procesos	Descripción	Imagen	Fuente
Agua en movimiento (en ríos y mar)	El agua que fluye recoge y erosiona partículas y también transporta sedimentos que erosionan el lecho de roca. La mayor parte de la erosión ocurre durante las inundaciones, cuando las orillas de los ríos pueden colapsar catastróficamente		Colapso de la orilla por socavación debido a erosión, río Tista, Sundarganj Thana, Bangladesh
	Las olas y los sedimentos que transportan erosionan el pie de los acantilados costeros, provocando a menudo la caída de rocas. Estos luego se rompen por las olas		Playa cerrada por un desprendimiento de rocas debido a la erosión costera, Oddicombe, Devon, Inglaterra

<p style="text-align: center;">Gravedad</p>	<p>Los fragmentos de roca, a menudo debilitados por la meteorización, se caen debido a la gravedad. Los desprendimientos de rocas a gran escala producen conos de deyección que tienen forma de abanico debajo de los barrancos. La erosión por gravedad incluye la caída de rocas y el desplazamiento de rocas debido al deslizamientos de tierra.</p>		<p>Abanicos aluvial o cono de deyección, Lago Bow cerca de la montaña Crowfoot, Alberta, Canadá</p>
<p style="text-align: center;">Aire en movimiento (viento)</p>	<p>El viento erosiona partículas del tamaño de arena, limo y arcilla; la arena puede formar dunas de arena locales, pero el limo y la arcilla pueden llevarse lejos en forma de nubes de polvo.</p>		<p>Una nube de tormenta de arena que sopla sobre Al Asad, Irak</p>
<p style="text-align: center;">Aire en movimiento (viento)</p>	<p>Erosión eólica de un afloramiento rocoso; en un viento fuerte, más granos de arena golpean y erosionan la base del afloramiento que la parte superior, por lo que la base es tan estrecha</p>		<p>Árbol de Piedra, Eduardo Avaroa Reserva Nacional de Fauna Andina, Bolivia</p>
<p style="text-align: center;">Hielo en movimiento</p>	<p>Aunque el hielo en sí no puede erosionar el lecho de roca, el sedimento que transporta sí puede. A medida que se mueven las capas de hielo de los glaciares, el lecho de roca se erosiona en la dirección del movimiento del hielo, cortando marcas o estrías. Los escombros transportados por el hielo se trituran al mismo tiempo</p>		<p>Persona sobre el lecho rocoso rayado por el movimiento de los glaciares, el glaciar Gorner, Zermatt, Suiza.</p>

Juntos, la meteorización y la erosión dan forma al paisaje. La resistencia de las rocas a la meteorización y la erosión depende de cuán químicamente estables sean los minerales en la superficie de la Tierra y cómo los granos de la roca están interconectados. Las rocas formadas por cristales entrelazados y granos bien cementados tienden a resistir la erosión y forman colinas más altas, acantilados costeros y promontorios, mientras que rocas menos resistentes forman valles y bahías. El ángulo de hundimiento de las rocas resistentes y otras características geológicas a menudo controlan la forma del paisaje, produciendo una variedad de accidentes geográficos y características costeras (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Accidentes geográficos formados por capas de rocas resistentes

Forma del terreno	Descripción	Gráfico	Imagen	Fuente
Meseta	Las mesetas tienen cimas planas y lados más empinados. Se forman cuando las rocas resistentes son horizontales o casi horizontales (las mesetas también se pueden formar como superficies de erosión sobre diferentes rocas)	<p>capa resistente, p. ej. arenisca o caliza</p> <p>capa menos resistente, p. ej. arcilla</p>		Montaña de la Mesa meseta, Cabo Ciudad, Sudáfrica
Cuesta	Las cuestas tienen una pendiente más pronunciada en una dirección y una pendiente menos profunda en la otra dirección. Se forman cuando las rocas resistentes tienen una pendiente poco profunda (buzamiento)	<p>pendiente escarpada empinada</p> <p>pendiente de inmersión menos profunda</p>		Cuesta visto desde el ferry de la isla Victoria, Vancouver, Canadá
Cresta	Las crestas tienen pendientes pronunciadas en dos direcciones y se forman cuando las rocas resistentes se hunden abruptamente o son verticales			Cresta del Monte Rundle, cerca de Banff, Alberta, Canadá
Escarpa de falla	Cuando las rocas de un lado de una falla son más resistentes que las del otro, a menudo se forma un escarpe de falla.	<p>roca resistente</p> <p>roca menos resistente</p> <p>plano de falla</p> <p>escarpe de falla</p>		Falla escarpada de Albert Rim, Oregón, una de las más altas de EE. UU.

Promontorio y bahía	Cuando algunas rocas costeras son más resistentes que otras, se forman promontorios y bahías	 <p>rocas más resistentes forman promontorios</p> <p>rocas menos resistentes forman bahía después de la erosión</p>		Una bahía entre cabos, Cabo de la Vela, Colombia
Acantilado costero	Donde las rocas resistentes están horizontales o en pendiente lejos del mar, normalmente se forman acantilados escarpados, a menudo con características como arcos y pilares.	 <p>pilar formada por colapso del arco</p> <p>arco</p>		Acantilados escarpados y un arco, Isla Archway, Gran Carretera Oceánica, Victoria, Australia
Deslizamiento costero	Donde no hay rocas resistentes, o las capas de rocas se inclinan (buzamiento) hacia el mar, generalmente se desarrollan pendientes costeras poco profundas.	 <p>deslizamiento</p> <p>superficie de inmersión</p> <p>mar</p>		Deslizamiento de laderas costeras, Shippards Chine, Isla de Wight, Inglaterra

La erosión es muy activa durante condiciones de alta energía como tormentas. Después de la erosión de los sedimentos, por gravedad, agua en movimiento, viento o hielo, se transportan; a menudo se depositan y erosionan muchas veces durante el transporte. La mayor parte de la deposición permanente ocurre en condiciones quietas y de baja energía. Algunas características del paisaje dependen más de la erosión y la deposición que de las características de las rocas debajo, como en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Características del paisaje formadas principalmente por erosión y deposición.

Proceso	Descripción	Imagen	Fuente
Erosión	Por el movimiento del agua		Valle del río en forma de V, Goriot, Pakistán

	Por el movimiento del hielo	Los glaciares que fluyen por los valles de las colinas altas erosionan los lados y la base de los valles, produciendo valles en forma de U.		Valle glacial de Prapic en forma de U cerca de Orcières, Hautes- Alpes, Francia
Sedimentación	Por el agua en las llanuras inundables	Cuando los ríos se inundan, el agua fluye a través de llanuras de inundación a ambos lados, depositando capas de barro y limo. Las capas de barro se acumulan en amplias llanuras de inundación plana con canales de río serpenteando a través de ellos.		Canales serpenteantes de la llanura inundable del Zambeze en Namibia, vistos desde el aire. Pista de aterrizaje más baja a la derecha
	Por el agua en lagos y mares	Los ríos transportan sedimentos a los lagos y los depositan silenciosamente en los mares, construyendo deltas que son a menudo en forma de abanico.		Construcción del delta de Silvaplana en el lago Silvaplana, Suiza
	Por la fusión del hielo	Los depósitos de hielo derretido se mezclan con rocas y arcillas (till) y se depositan en los extremos y lados de los glaciares. Los depósitos almohadados se conocen como "morrenas".		El glaciar Isunnguata Sermia al fondo depositó la morrena en primer plano, Kangerlussuaq, Groenlandia

Hoy en día, los seres humanos pueden mover más sedimentos cada año que todos los ríos del mundo juntos, a través de la minería, la explotación de canteras, la construcción y la agricultura. A pesar de esto, la formación del paisaje es mayormente natural y continuará siéndolo.

4.1.2.2 Procesos Sedimentarios

La meteorización y erosión producen sedimentos, los cuales se fragmentan durante el transporte. Los fragmentos de roca se redondean. Los minerales menos estables se descomponen generalmente en minerales arcillosos, mientras que los más estables, como el cuarzo, se trituran. En condiciones más tranquilas, fragmentos de roca, cuarzo, arcillas y otros minerales se depositan y se acumulan. Limos y

lodos, formados por minerales de carbonato de calcio, suelen depositarse en mares cálidos y poco profundos en áreas tropicales y subtropicales y luego pueden solidificarse y convertirse en una roca como la caliza.

Los sedimentos forman una variedad de estructuras sedimentarias a medida que se depositan, lo cual da evidencia de cómo fueron depositados, tal como se muestra en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Estructuras sedimentarias importantes

Estructura sedimentaria	Descripción	Imagen	Fuente
Estratificación	Normalmente los sedimentos no se depositan de forma constante, sino que a menudo cada capa se deposita de forma rápida, con un periodo de quietud o incluso erosión entre cada capa. Las capas de sedimento se denominan estratos ; las rocas están estratificadas.		Areniscas y limolitas estratificadas. Quebrada de Las Conchas, Salta, Argentina.
Laminación	Los lodos también se depositan a menudo en capas, pero estas son capas mucho más delgadas denominadas laminaciones .		Arcillolita laminada. Hesselberg, Alemania. Jurásico Inferior.
Estratificación cruzada	La estratificación cruzada se forma cuando la arena se deposita en dunas. La arena sube por un lado de la duna y cae en cascada por el frente, como una serie de capas que se inclinan hacia abajo. Las dunas formadas por agua producen estratos cruzados de pequeña escala, generalmente de menos de 1 m de espesor, mientras que los vientos producen dunas de estratificación cruzada que pueden tener varios metros de espesor.		Estratificación cruzada de arenisca (formada por viento). Ruta Angels Landing, Parque Nacional Zion, Utah, EE. UU. Viento desde la derecha.

<p>Rizaduras asimétricas</p>	<p>Las corrientes de agua sobre arena, más lentas que las que forman la estratificación cruzada, originan rizaduras asimétricas. El agua fluye por el lado menos profundo de la onda o rizadura y deposita la arena en el lado más empinado.</p> <p>Las rizaduras formadas por agua pueden ser lobuladas o en línea recta; sin embargo, las rizaduras asimétricas formadas por viento suelen ser rectas.</p>		<p>Arenisca cámbrica con rizaduras asimétricas. Wiśniówka Duża, Polonia. Dirección del flujo del agua de arriba hacia abajo del plano de estratificación.</p>
<p>Rizaduras simétricas</p>	<p>Las rizaduras simétricas son formadas por olas en aguas poco profundas. Tienen pendientes iguales en ambos lados y normalmente se forman en líneas rectas paralelas. Las crestas de las olas que forman las rizaduras son paralelas a ellas y, a menudo, también son paralelas a la costa.</p>		<p>Rizaduras simétricas en arenisca fina. Sierra Bayas, Olavarría, Argentina. Las crestas de las olas se movían desde la esquina superior izquierda hacia la esquina inferior derecha.</p>
<p>Estratificación gradada</p>	<p>Cuando una corriente que transporta sedimentos de diferentes tamaños se desacelera, las partículas más grandes se depositan primero y luego los granos cada vez más finos se depositan en la parte superior, formando un solo estrato de sedimentos que gradan de gruesos, en la base, a finos, en la parte superior. La estratificación gradada se puede usar para mostrar que una secuencia de sedimentos no se ha invertido por plegamiento.</p>		<p>Estratificación gradada en arena del Eoceno en la pared de un jardín cerca de Besalú, en Cataluña, España.</p>

Grietas de desecación	Cuando el lodo se seca, se agrieta en formas poligonales; si las grietas luego se rellenan con arena, a menudo se conservan. Estas grietas de desecación muestran que el lodo tuvo que haberse secado, por lo que no puede tratarse de lodo de aguas profundas.		Grietas de desecación alrededor de una huella de dinosaurio en arcillolita. Loulle, Franche-Compte, Francia.
------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Si los sedimentos se depositan en regiones en subsidencia, pueden generar secuencias sedimentarias gruesas. Posterior al enterramiento, los sedimentos finos se compactan y los sedimentos más gruesos se comprimen y cementan formando rocas sedimentarias.

Mucho después, el movimiento de las placas tectónicas puede elevar la secuencia de rocas sedimentarias. A medida que las rocas sedimentarias elevadas se erosionan, el sedimento generado vuelve a formar parte del ciclo sedimentario. El ciclo sedimentario es una parte del ciclo de las rocas.

4.1.2.3 Procesos Ígneos

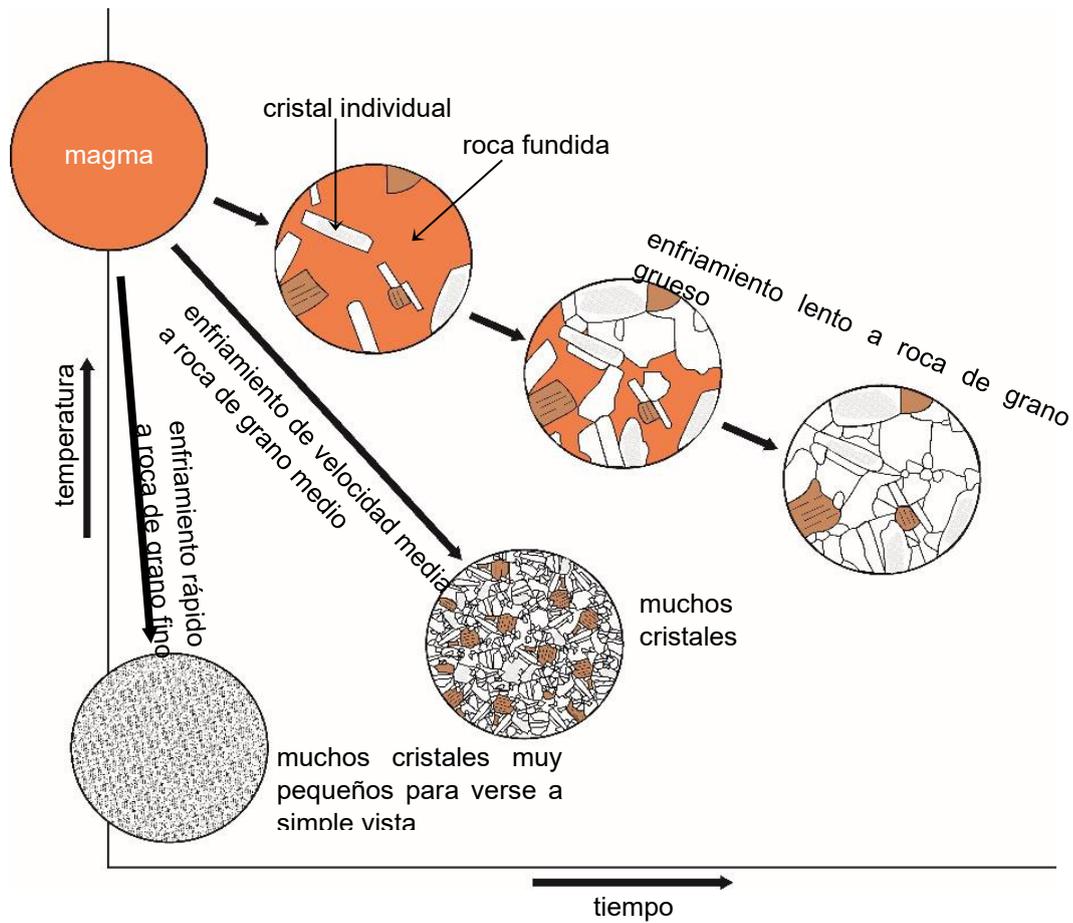
Cuando las rocas se calientan lo suficiente, se funden. Dado que las rocas suelen ser una mezcla de minerales, a menudo no se funden por completo, sino que solo parcialmente; los minerales con el punto de fusión más bajo funden primero. Si el magma producido por la **fusión parcial** fluye, tendrá una composición química diferente a la de la roca original, porque los minerales con mayor punto de fusión quedarán atrás. Entonces, los procesos de fusión parcial producen una gama de magmas diferentes con diferentes composiciones.

Los fundidos ricos en hierro y magnesio se forman a partir de los minerales con los puntos de fusión más alto y, por lo tanto, cristalizan a altas temperaturas, generalmente muy por encima de los 1000 °C. Los fundidos ricos en silicio, sin embargo, tienen minerales con puntos de fusión más bajos y, por lo tanto, cristalizan a temperaturas más bajas, generalmente por debajo de los 1000 °C. Esto afecta cuán líquidos son los fundidos (su viscosidad) y los procesos ígneos que ocurrirán. El magma fundido se forma en las profundidades del subsuelo y, debido a que es más caliente y menos denso que la roca que lo rodea asciende.

La temperatura a la cual funden las rocas no depende únicamente de los puntos de fusión de los minerales, sino también de la cantidad de agua presente y de la presión de las rocas que las recubren. Las rocas funden a temperaturas más bajas cuando están *húmedas* y cuando disminuye la presión. Los procesos ígneos son activos tanto en áreas oceánicas como continentales, pero los magmas, las presiones, y el contenido de agua y otros factores difieren, por lo que también difieren los cuerpos ígneos producidos.

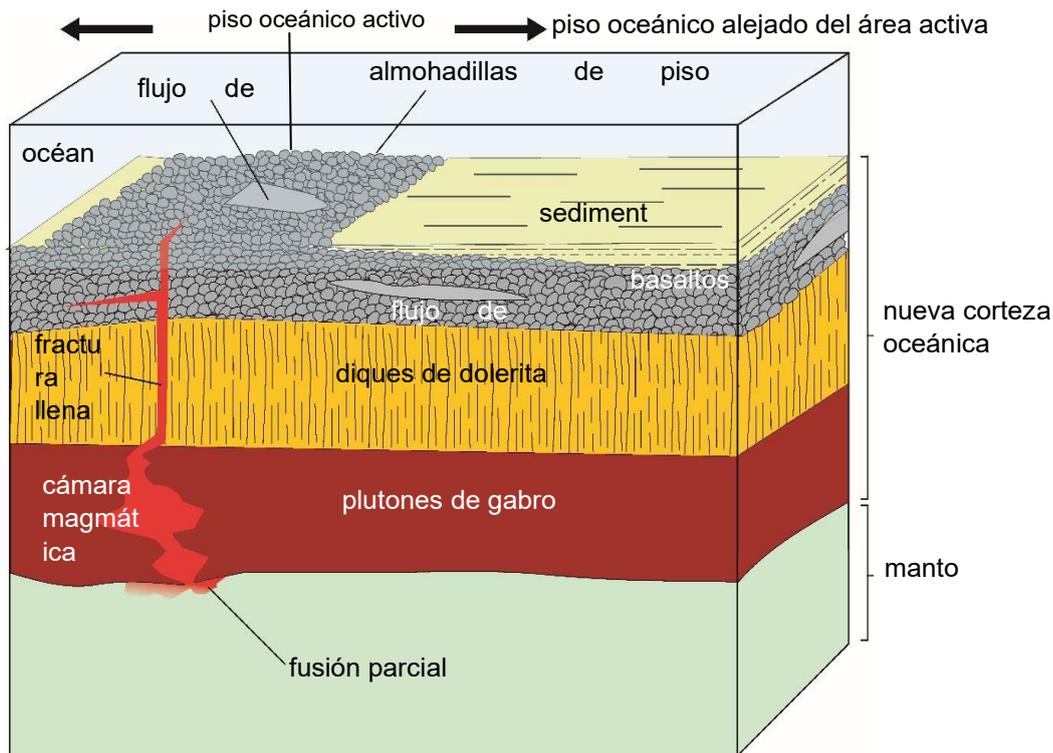
Los magmas ascendentes pueden detenerse bajo la tierra, enfriarse y cristalizarse en **cámaras magmáticas**. El magma tendrá mucho tiempo para enfriarse y para que crezcan los cristales en el fundido que se enfría. El resultado es una roca ígnea de grano grueso. Si el magma asciende más, se enfría y cristaliza más rápidamente como roca de grano medio. Si sube directamente a la superficie, será erupcionado mediante actividad volcánica. Las lavas formadas de esta manera se enfrían muy rápidamente como rocas ígneas de grano fino (figura 4.5).

Figura 4.5. Enfriamiento y cristalización de rocas ígneas



Bajo los océanos, donde las placas tectónicas se separan, el manto sólido debajo es muy caliente y, por lo tanto, fluye muy lentamente hacia arriba. Al ascender, la presión se reduce y, por lo tanto, el manto, muy rico en hierro-magnesio, se funde parcialmente en magmas todavía ricos en hierro-magnesio. Estos ascienden y algunos se enfrían lentamente en cámaras magmáticas formando cuerpo de gabro de grano grueso en la base de la corteza oceánica recién formada. Estos magmas ricos en hierro-magnesio son muy fluidos (de baja viscosidad) y, por tanto, algunos siguen ascendiendo a través de las fracturas. Estos se enfriarán más rápidamente como doleritas de grano medio en diques. Otros magmas suben al fondo del océano y fluyen como lavas, generalmente con forma de almohada (lavas almohadilladas). Esto produce generalmente una nueva corteza oceánica de rocas ígneas ricas en hierro-magnesio, con gabro de grano grueso en la base, láminas verticales de dolerita de grano medio arriba y capas de basalto almohadillado de grano fino en la superficie (figura 4.6).

Figura 4.6. Cuerpos ígneos en océanos



Debajo de los continentes, en áreas donde convergen las placas tectónicas, las rocas se calientan. El agua en las rocas reduce el punto de fusión, lo que hace que se fundan parcialmente. Los magmas formados dependen de qué rocas se fundan, por lo que es posible una variedad de composiciones químicas magmáticas. Algunos fundidos son ricos en hierro-magnesio, algunos son intermedios entre los tipos ricos en hierro-magnesio y los ricos en silicio, pero los más comunes son los magmas ricos en silicio.

Los magmas ricos en silicio son muy viscosos (no muy fluidos) y, por tanto, en su mayoría no alcanzan la superficie, sino que cristalizan lentamente en cámaras magmáticas subterráneas como granitos de grano grueso. Si alcanzan la superficie, al ser viscosos, en su mayoría son generados erupciones explosivas, produciendo cenizas volcánicas que se dispersan. Los magmas intermedios también generan erupciones explosivas, pero también fluyen desde los volcanes como lavas, enfriándose como andesitas de grano fino. Los magmas ricos en hierro-magnesio generalmente son erupcionados como basaltos. Los tubos que conectan a los volcanes con las cámaras magmáticas que los alimentan se denominan **chimeneas volcánicas**, las cuales a veces quedan expuestas en la superficie posterior a la erosión en forma de **pitones volcánicos**.

Entre las cámaras magmáticas profundas y los volcanes de la superficie, los magmas pueden inyectarse en las rocas circundantes. Si atraviesan las capas de roca, serán **diques**; si siguen las capas serán **sills**. Las cámaras magmáticas subterráneas que se han cristalizado suelen tener forma de burbuja y se denominan **plutones** si son pequeñas y **batolitos** si son grandes (figura 4.7). Los batolitos, plutones, diques y sills se agrupan como **rocas ígneas intrusivas**, porque el magma se infiltró en el lecho rocoso circundante. Las que están en la superficie se denominan **rocas ígneas extrusivas**, ya que han sido extruidas sobre la superficie. Las diferentes características producidas por estos procesos se muestran en la tabla 4.15.

Figura 4.7. Cuerpos ígneos continentales

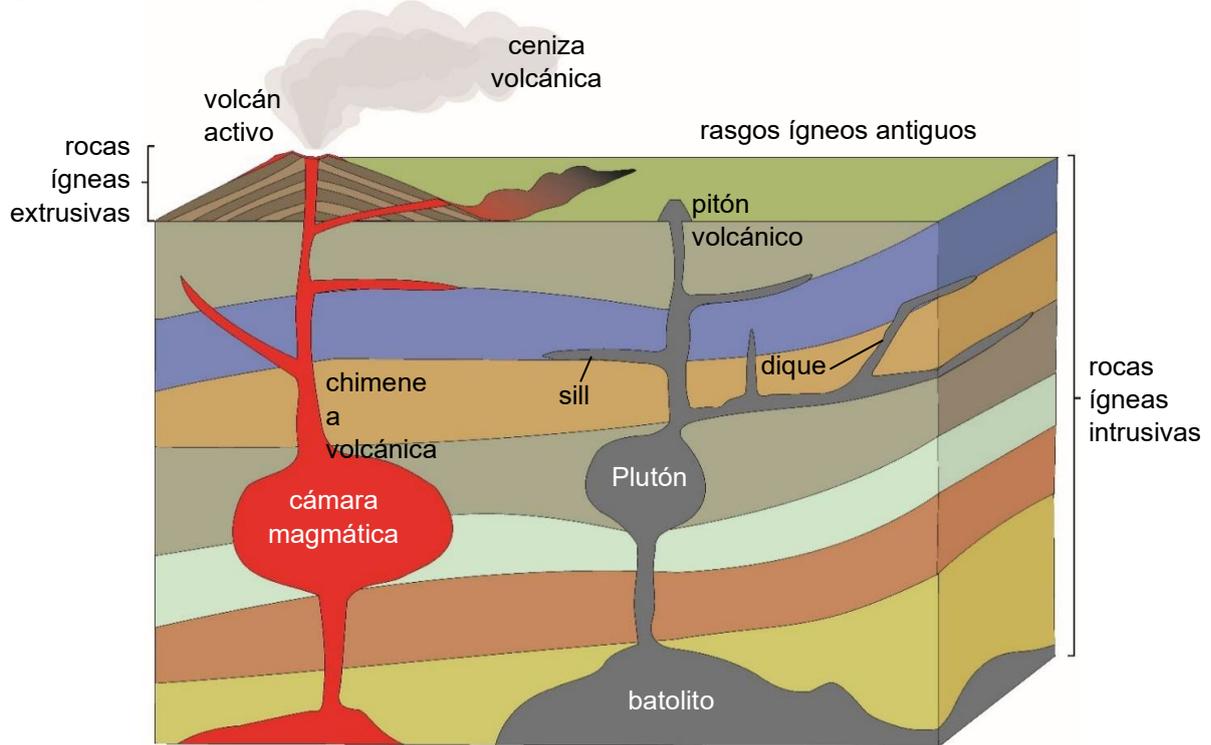


Tabla 4.15. Rasgos ígneos importantes

Rasgo ígneo	Descripción	Imagen	Fuente
Lava almohadillada moderna	Cuando los basaltos fluidos son erupcionados (extruidos) en el agua, como en el fondo oceánico, salen pequeñas lenguas de magma y se solidifican las partes externas; el sólido flexible actúa como una bolsa que se llena de lava en forma de almohada.		Lavas almohadilladas modernas en el piso oceánico fotografiado durante la Expedición Galápagos Rift en el océano Pacífico occidental, 2002.
Lava almohadillada antigua	Cuando las lavas almohadilladas antiguas se rompen por la mitad, a menudo puede verse el basalto de grano más fino de los bordes. Dado que, a medida que se forman, las últimas almohadillas formadas se hunden entre las almohadillas preexistentes, se pueden usar para saber si una secuencia se ha invertido.		Basaltos ordovícicos en almohadilla invertidos. Crozon, Brittany, Francia.

Sill	Los magmas que inyectan entre capas sedimentarias o volcánicas (planos de estratificación) se enfrían y cristalizan formando sills.	La mayoría de los sills y diques son de grano medio y algunos tienen bordes de grano fino. Algunos provocan metamorfismo en las rocas con las que		Escarpe rocoso de sill. Skye, Reino Unido. Las capas suprayacentes han sido erosionadas.
Dique	Los diques se forman cuando los magmas rellenan las fracturas de las rocas y luego se enfrían y cristalizan.	entran en contacto, produciendo bordes quemados.		Diques precámbricos (1100 Ma) de dolerita oscura, cortando rocas más claras de 1800 Ma. Islas Koster, Suecia.
Plutón/batolito	Los batolitos fueron grandes cámaras magmáticas, los plutones fueron cámaras más pequeñas. Cuando el magma se enfría lentamente, se forman rocas ígneas de grano grueso como el gabro. Por lo general queman la roca circundante, formando una aureola metamórfica.			Imagen de satélite del intrusivo granítico Masivo Brandberg, de 30 km de ancho, en Namibia, que quemó la roca circundante generando una oscura aureola metamórfica.

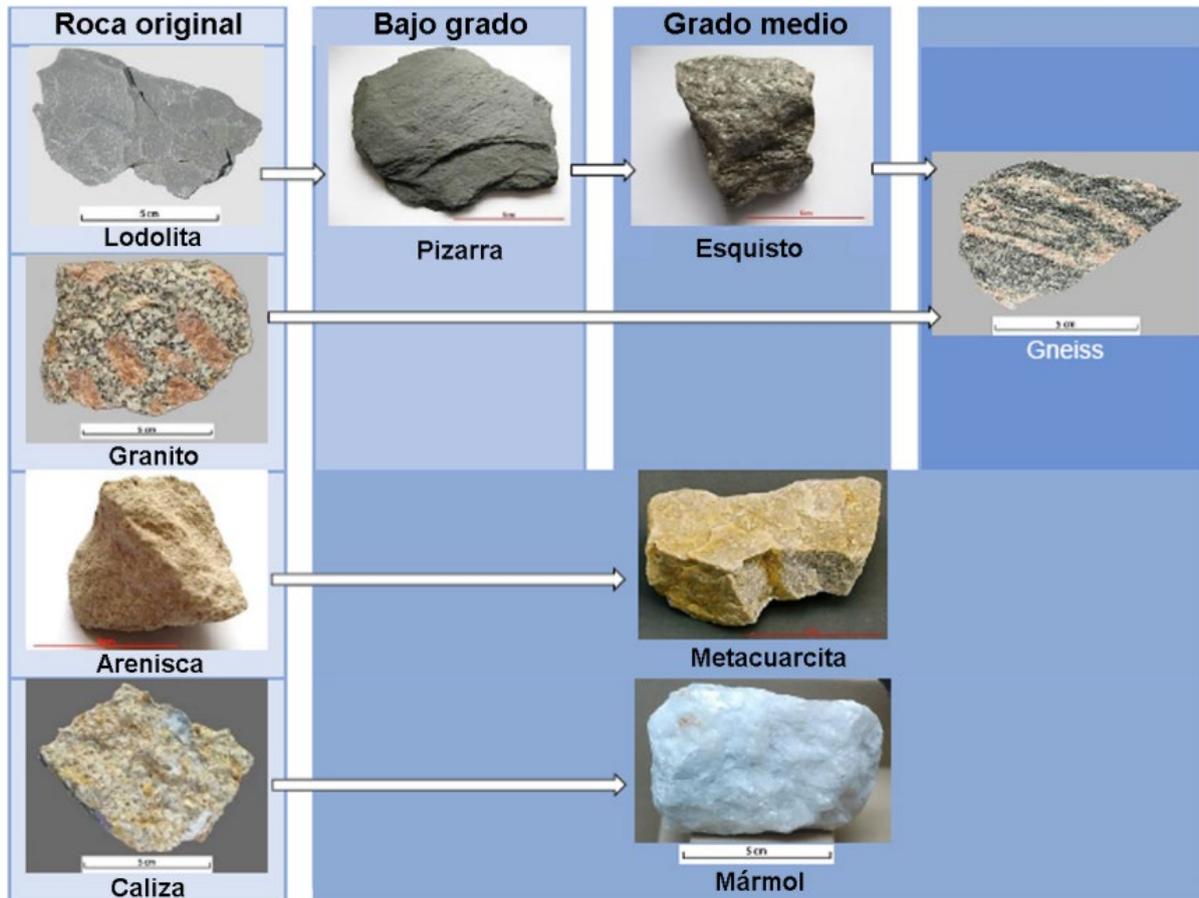
Los procesos ígneos forman parte del ciclo interno de las rocas, la parte del ciclo de las rocas que es impulsado por la energía de la Tierra. Durante muchos años hemos sabido cómo operan los procesos del ciclo de las rocas ígneas, pero sus causas subyacentes solo se han entendido recientemente, a través de la teoría de la tectónica de placas, como se muestra en la tabla 4.21.

4.1.2.4 Procesos Metamórficos

Las rocas se metamorfizan cuando las placas tectónicas colisionan en episodios de construcción de montañas, con grandes incrementos de temperatura y presión a nivel subterráneo. Este proceso se denomina metamorfismo regional. Las rocas también pueden metamorfizarse al entrar en contacto con magmas ígneos cercanos en estado de ebullición (metamorfismo térmico). En ambos casos, las rocas originales se recrystalizan y se convierten en rocas metamórficas.

Sin embargo, si las rocas se calientan tanto que se derriten por completo, el cambio ha ido más allá del metamorfismo para convertirse en un proceso ígneo. El metamorfismo regional, causado por colisión de placas, produce rocas que van desde pizarras de bajo grado hasta gneis de alto grado, junto con mármoles y metacuarcitas, como se muestra en la Tabla 4.16. Estas rocas resistentes suelen ser impermeables y tienden a formar terrenos más elevados y paisajes bastante accidentados.

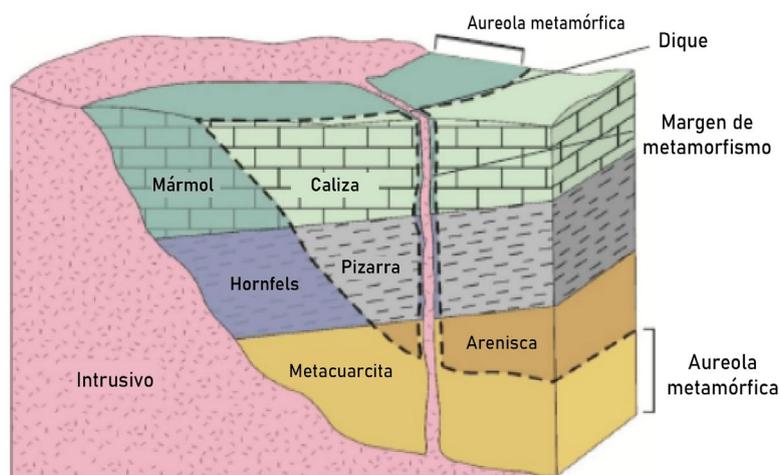
Tabla 4.16. Rocas Metamórficas formadas bajo metamorfismo regional



La cantidad de metamorfismo térmico causado por los magmas ígneos depende del tamaño del cuerpo del magma.

Los cuerpos pequeños simplemente hornean la roca circundante, produciendo estrechos márgenes horneados. Los cuerpos más grandes contienen mucha más energía térmica y producen amplias zonas horneadas llamadas aureolas metamórficas. Cuando las rocas de grano fino se transforman en hornfels, las areniscas se convierten en metacuarcitas y las calizas en mármoles (figura 4.8 y tabla 4.16).

Figura 4.8. Efectos del metamorfismo termal



4.1.2.5 Procesos deformantes

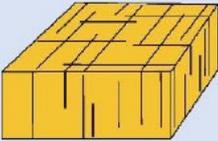
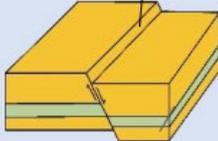
Cuando se producen episodios de colisión que dan origen a montañas, no sólo tienen lugar procesos metamórficos, sino que las rocas pueden ser también deformadas de diferentes maneras. A profundidades próximas a los 10km la temperatura y la presión son tan altas que la mayoría de las rocas pueden doblarse y comenzar a fluir para formar pliegues. A niveles más someros, si existen presiones laterales muy elevadas, las rocas tienden a romperse en lugar de plegarse. Es así como, cerca de la superficie las rocas se comportan de modo frágil y se fracturan, mientras que, a mayores profundidades se comportan plásticamente, plegándose y fluyendo.

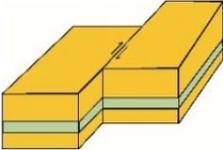
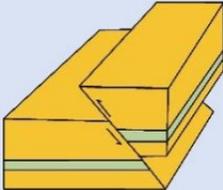
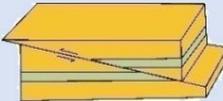
Las rocas también se deforman cuando las placas, en lugar de chocar, se separan o se desplazan lateralmente y, dado que las temperaturas son bajas, es más frecuente que se fracturen y no que se deformen plásticamente.

Cuando una roca se fractura, si no existe desplazamiento relativo de los bloques a un lado y otro de la superficie se fractura, se ha generado una **diaclasa**. Pero si ha habido desplazamiento de los bloques, se trata de una **falla**. Muchas diaclasas tienen su origen en esfuerzos tensionales, es decir cuando las rocas son sometidas a tracción. En estos casos si los bloques se desplazan, se generan fallas normales, en las cuales el bloque por encima del plano de falla se desliza hacia abajo sobre el plano de falla. Cuando los bloques se desplazan lateralmente uno con respecto al otro se forman las **fallas de rumbo** o **transcurrentes**, cuyas superficies son generalmente verticales.

Cuando las rocas son comprimidas, uno de los bloques puede ser forzado a montarse sobre el otro desplazándose sobre la superficie de fractura, se trata de una falla inversa, cuya inclinación suele ser de unos 45°. Si la compresión es muy intensa, las superficies de fractura pueden ser menos inclinadas, con ángulos cercanos a los 10° y en ese caso se utiliza el término **sobrecorrimiento** (Tabla 4.17).

Tabla 4.17. Fracturas causadas por deformación frágil – diaclasas y fallas

Rasgo	Esfuerzo	Descripción	Esquema	Fotografía	Localidad
Juegos de diaclasas	Tracción horizontal	Juegos de planos paralelos que afectan toda la roca sin desplazamientos relativos. Pueden ser verticales, horizontales o inclinadas			Banco de limolita diaclasada en una lutita ordovícica. Fort Plain, New York, USA.
Falla normal	Tracción	Bajo el esfuerzo el bloque superior se ha deslizado hacia abajo sobre el plano de falla. Usualmente empujadas, con	Escarpa de falla 		Fallas normales en las paredes del Canal de Corinto, Grecia.

		inclinaciones de 60° o más			
Falla de rumbo		Los bloques se deslizan uno junto al otro. Usualmente planos sub-verticales.			Imagen satelital de la falla Piquiang, montañas de Tian Shan, China
Falla inversa	Compresión horizontal	Por la compresión un bloque superior es forzado a montarse sobre el bloque que esta debajo. El plano inclina más de 45°			Falla inversa en areniscas. Oregón, USA
Sobre-corrimiento		Bajo una gran compresión el bloque superior se desliza sobre el inferior por un plano de falla que inclina generalmente unos 10°			Sobre-corrimiento del bloque a la derecha sobre el de la izquierda. Lilstock Bay, Somerset, Reino Unido.

Las rocas que, al ser deformadas, se comportan plásticamente, forman pliegues. Los pliegues pueden tener diferentes tamaños, desde milimétricos a miles de metros. Los pliegues se forman en series, como puede comprobarse al comprimir una tela apoyada sobre una superficie deslizante con ambas manos. Se forma un conjunto de pliegues, los que apuntan hacia arriba son **anticlinales** y los que lo hacen hacia abajo **sinclinales**. La forma o geometría de los pliegues depende tanto del tipo de roca como de la intensidad de la compresión; varían desde **pliegues suaves** y abiertos a **pliegues apretados** y pliegues **isoclinales**, cuyos lados son paralelos. Los pliegues pueden ser angulosos o redondeados. La zona del dobléz se llama **charnela** y los costados **limbos** (Tabla 4.18).

Tabla 4.18. Tipos de pliegues

Tipo de pliegue	Descripción	Fotografía	Localidad
Anticlinal	Anticlinal de tipo abierto con charnela redondeada		Anticlinal en el gneis precámbrico junto a la Ruta NJ23, cerca de Butley, New Jersey, USA. La persona de la escala.
Sinclinal	Sinclinal de tipo abierto con charnela bastante angulosa		Sinclinal en las areniscas de la Formación Barstow, del Neógeno. San Bernardino County, California, USA.
Pliegues abiertos	Ángulo entre limbos mayor de 45° y charnelas redondeadas		Calizas laminadas plegadas en la Garganta Glasenbachklamm, Austria.

Pliegues apretados	Ángulo entre limbos menor de 45°	Pliegues apretados con charnelas angulosas		Pliegues apretados cerca de Agios Pavlos, en el sur de Creta.
		Pliegues apretados con charnelas redondeadas		Pliegues en la Formación Hierro Bandeado (2.600 Ma). Cercanía de Soudan, Minnesota, USA.
Pliegues isoclinales	Pliegues en los que los flancos se inclinan en el mismo sentido.			Pequeño pliegue isoclinal en Monts d'Arrée, cerca de Commana, Francia.

La Teoría de la Tectónica de Placas brinda explicación para las causas que conducen a la deformación de la Tierra, tal como se explica en la Tabla 4.21.

4.1.3 La estructura de la Tierra y sus evidencias

Sabemos cómo son las rocas de la parte más externa de la Tierra porque en las áreas continentales podemos verlas en afloramientos en los acantilados marinos y en las montañas, pero también pueden verse rocas en los cortes de caminos y ferrocarriles y en las canteras. También podemos ver como son en el subsuelo gracias a las minas y a las perforaciones que alcanzan hasta algunos kilómetros de profundidad. El programa de perforación profunda de los océanos permitió también conocer como son las rocas del fondo oceánico. Pero para saber cómo es el material terrestre más allá de las perforaciones más profundas es necesario acudir a otro tipo de información.

Cuadro 4.5. La perforación más profunda del mundo



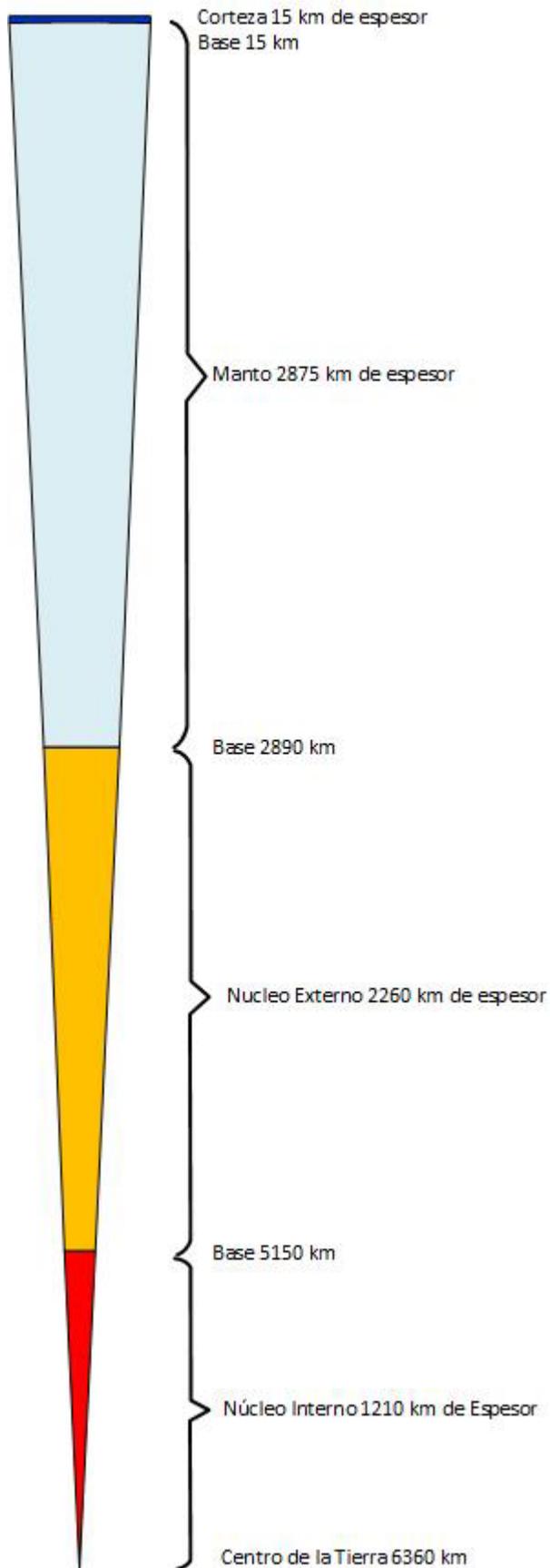
La perforación más profunda hasta ahora realizada es el Pozo Superprofundo de Kola, realizado en el extremo noroccidental de Rusia. Su realización tomó más de 20 años y finalizó en 1992 a una profundidad de 12,3km. Este pozo alcanzó casi un tercio del espesor de la corteza continental en la zona, atravesando mayormente granitos y gneises. Una de las sorpresas que deparó fue que las rocas de las profundidades contenían aún gran cantidad de agua.

4.1.3.1 Evidencias

La mejor fuente de información acerca de lo que existe bajo nuestros pies más allá de la profundidad de las perforaciones es la evidencia generada por los terremotos. Cada vez que se produce un sismo importante, las ondas viajan a través de la Tierra imprimiéndole sus vibraciones. Las ondas irradian del mismo modo que las ondas en el agua cuando se arroja una piedra. La velocidad de las ondas depende del material que atraviesan y esto ayuda a investigar tanto de qué tipo de rocas se trata como dónde se ubican los contactos entre los mismos.

Existen otras evidencias para identificar las capas de la Tierra que serán descritas en los próximos capítulos, pero son las ondas sísmicas las que proporcionan la mayor parte de la información que se muestra en la Figura 4.9.

Figura 4.9. Corte de la Tierra

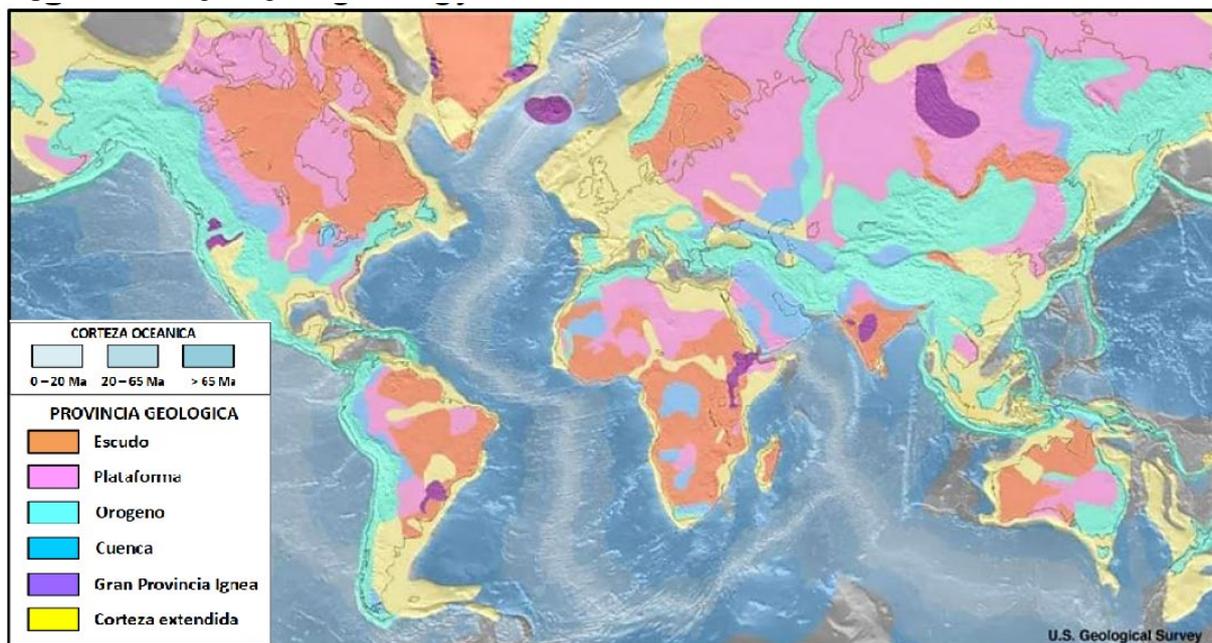


4.1.3.2 La corteza

La figura 4.9 muestra que la corteza terrestre es muy delgada en comparación con la distancia que hay hasta el centro de la Tierra. Un modelo comparativo adecuado es el espesor de una estampilla pegada sobre una pelota de fútbol. Hay dos tipos de corteza: la continental, que se encuentra bajo los continentes y plataformas continentales y la oceánica, presente bajo los océanos.

El mapa geológico de la figura 4.10 muestra que la corteza de los continentes es mucho más compleja que la de los océanos. Esto es así porque la corteza continental es generalmente mucho más vieja que la oceánica y, en algunas regiones, se ha visto involucrada en sucesivas repeticiones del ciclo de las rocas. Las rocas más antiguas encontradas hasta ahora en la Tierra tienen más de 4.000 millones de años y forman parte de la corteza continental de Australia. Por el otro lado, las partes más antiguas de la corteza oceánica raramente superan los 200 millones de años y tienen una historia mucho más simple.

Figura 4.10. La geología de la corteza terrestre



El espesor de la corteza continental, sobre la cual vivimos, varía entre los 25km y los 70km. Si bien las rocas sedimentarias constituyen sólo un 5% del volumen total de la corteza terrestre, cubren el 75% de la corteza continental, aproximadamente las tres cuartas partes del área de colores brillantes de la Figura 4.10. Las estimaciones realizadas sugieren que estas rocas sedimentarias continentales están constituidas en un 79% por fangolitas, un 13% por areniscas y un 8% por calizas. La mayor parte del volumen de la corteza continental está constituido por rocas ígneas como el granito y rocas metamórficas como el gneis (Figura 4.11). Todas estas rocas se han formado por los procesos habituales del ciclo de las rocas, si bien algunos de los materiales incorporados pueden haber circulado por el ciclo repetidas veces.

La evidencia de la estructura y las rocas en la corteza oceánica se basa en la información sísmica, las perforaciones oceánicas profundas e información de lugares como Chipre, donde el choque de las placas ha forzado la corteza oceánica sobre el continente. Estas evidencias ponen de manifiesto que la corteza oceánica tiene cuatro capas principales. En su tope se encuentra la capa de sedimentos de los mares profundos, que se encuentra ausente en las cordilleras centro-oceánicas, pero que se hace cada vez más gruesa al alejarse de ellas. Por debajo de estos sedimentos se encuentra una capa de basaltos de grano fino, habitualmente en forma de lavas almohadilladas. Este basalto cubre una capa formada por muchas capas verticales de diques de dolerita de grano medio. Por debajo se encuentra

una potente capa de basaltos de grano grueso, hasta llegar a la base de la corteza oceánica y el techo del manto (Tabla 4.19).

Figura 4.11. Las rocas más comunes de la corteza continental

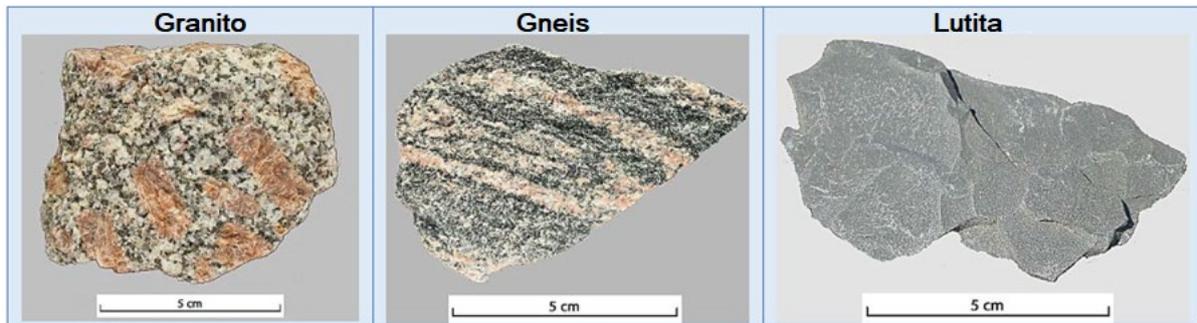
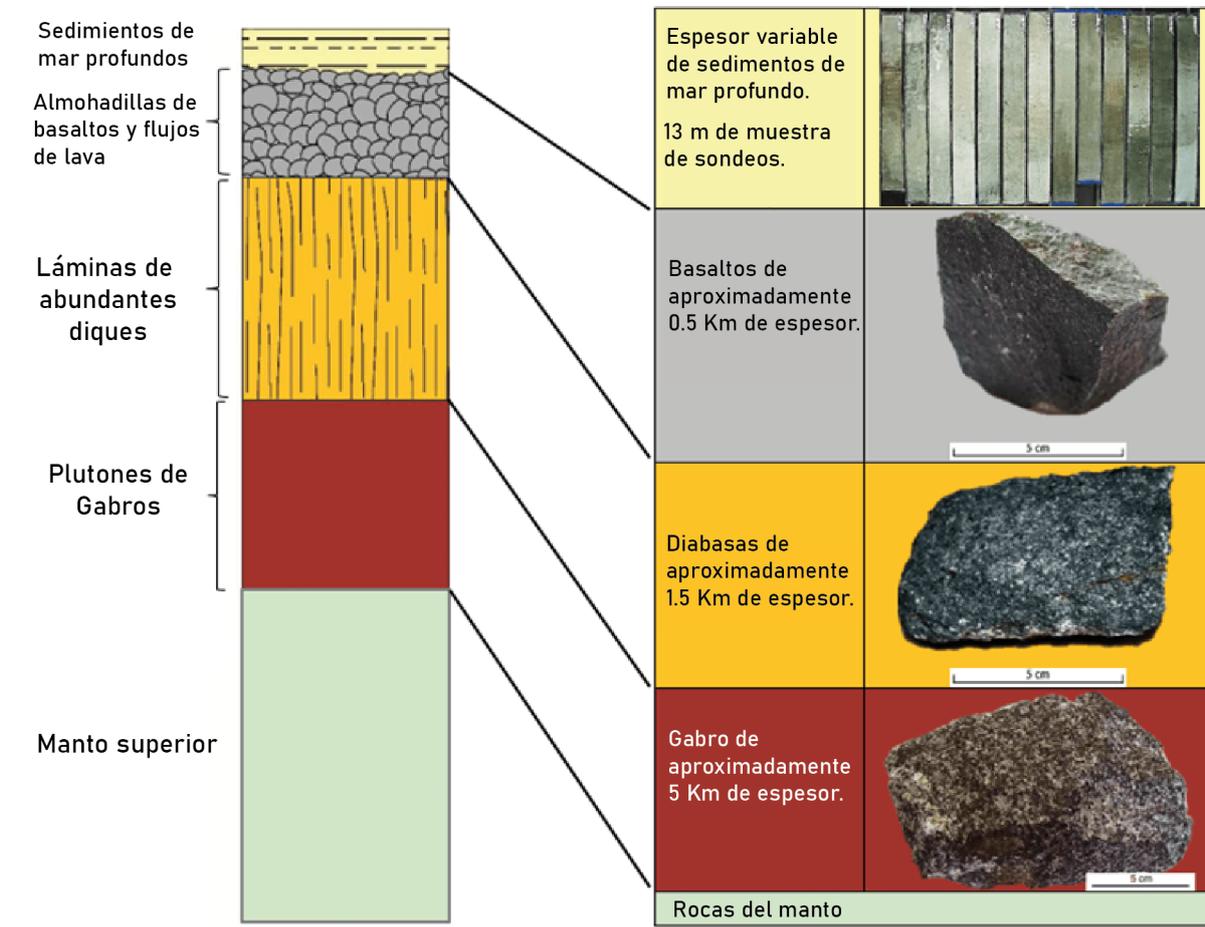


Tabla 4.19. Rocas de la corteza oceánica



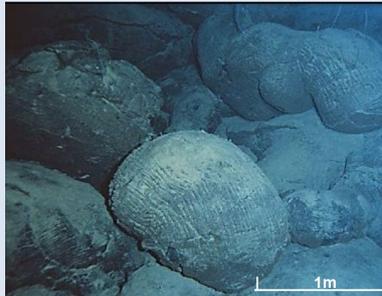
La evidencia muestra cómo se forma nueva corteza oceánica en los márgenes divergentes de las placas. El magma proveniente de la fusión parcial del manto surge por las dorsales oceánicas. Allí se acumula y solidifica bajo la superficie, formando gabbro de grano grueso. Si llega a la superficie a través de fracturas, se derrama sobre el fondo oceánico, generalmente formando las características almohadillas de lava, y solidifica rápidamente como un basalto de grano fino. Entretanto el magma retenido en las fracturas verticales solidifica más lentamente como dolerita de grano fino. Cada vez que se abre una nueva fractura se forma una nueva capa, generando más y más capas de diques de dolerita.

Cuadro 4.6. Formación submarina de lavas almohadilladas

Cuando la lava basáltica es extruida bajo el agua toma la forma de almohadillas. Las rojas o anaranjadas lenguas de lava caliente salen a la superficie y su superficie externa es rápidamente enfriada por el agua generando una cubierta sólida pero flexible. A medida que se extruye más lava, la roca que solidifica toma forma de almohadilla. Las almohadillas que se van formando en la parte alta caen y se acomodan sobre las almohadillas anteriores. Dado que este proceso sólo ocurre bajo el agua, la presencia de almohadillas preservadas en secuencias de rocas antiguas evidencia que las mismas se han formado bajo el agua. Filmar la formación de lavas almohadilladas puede ser muy peligroso ya que el océano en el entorno puede contener bolsas de aguas muy calientes.



Una lengua de lava submarina



Almohadillas en el fondo marino cerca de Hawái



Antiguas lavas almohadilladas (vista en corte)

La joven corteza oceánica, formada por tres capas, se aleja lentamente del borde divergente a medida que las placas se desplazan. Los fangos de grano fino (habitualmente ricos en valvas carbonáceas del plancton microscópico) proveniente desde los niveles superficiales del océano se acumula sobre las almohadillas. Cuanto más se desplaza la placa, más potente se hace la capa de sedimento, hasta alcanzar 1km o más en los bordes de los océanos.

En los bordes de los océanos, la corteza oceánica es normalmente transportada otra vez hacia el manto, mediante la subducción. Esto explica porque habitualmente la corteza oceánica no es más antigua que 200 millones de años y porque es cada vez más vieja cuanto más alejada de la dorsal oceánica se encuentra, como se ilustra en la Figura 4.10.

La densidad media de la corteza oceánica, como muestra la velocidad de las ondas sísmicas y las mediciones sobre muestra de roca, es mayor que la densidad media en la corteza continental. El manto subyace a toda la corteza y muchas observaciones han demostrado que es completamente sólido pero que, aun así, es posible que fluya muy lentamente (desplazándose aproximadamente 1cm por año) bajo las altas presiones y temperaturas reinantes a esa profundidad. De este modo la corteza oceánica y la continental están sostenidas por el manto sólido que esta debajo y que fluye lentamente. La causa de que la mayor parte de la corteza oceánica esté por debajo del nivel del mar es su mayor densidad respecto a la corteza continental, que está por encima del nivel del mar. La corteza oceánica es, además, más delgada, con un grosor promedio de 7km (Tabla 4.20).

Tabla 4.20. Características de las capas de la Tierra

Capa		Profundidad media (km)		Espesor medio (km)		Estado		Densidad relativa media (*)	
Corteza continental	Corteza oceánica	35	7	35	7	Sólido	Sólido	2,7	2,9
Manto		2890		2879		Sólido		3,3-5,7	
Núcleo externo		5150		2260		Líquido		9,9-12,2	
Núcleo interno		6360 Centro de la Tierra		1210		Sólido		12,6-13,0	

(*) La densidad relativa es la relación de la densidad de un material con respecto a la del agua y por lo tanto no tiene unidades

4.1.3.3 El manto

El límite entre la corteza y el manto subyacente fue descubierto en 1909 a partir del análisis de las ondas sísmicas. Los datos modernos brindan evidencia de que gran parte del manto sólido puede fluir en tiempos geológicos, explicando no sólo la flotación de la corteza sino también el movimiento de las placas tectónicas terrestres.

Cuadro 4.7. ¿De qué está hecho el manto?

Los intentos realizados para perforar la corteza oceánica y alcanzar el manto, realizados en los años sesenta fracasaron, por lo que las evidencias acerca de cómo pueden ser las rocas de manto son todas de segunda mano.



5 cm

En algunas erupciones volcánicas aparecen fragmentos de otras rocas que se supone han sido traídas desde el manto



5 cm

En algunas zonas de colisión y formación de montañas las rocas del manto parecen haber sido empujadas sobre el continente, con rocas de la corteza oceánica antigua sobre ella.



5 cm

Los meteoritos pétreos son interpretados como fragmentos del manto de pequeños planetas que se desintegraron en el pasado.

En base a esas evidencias se supone que el manto está constituido por una roca muy densa, formada principalmente por los minerales olivino (de color verde) y piroxeno (de color oscuro), llamada peridotita, y rocas similares a ella.

4.1.3.4 El núcleo

La densidad relativa del planeta Tierra es aproximadamente 5,5, pero la densidad de sus partes externas es mucho menor que ese valor, por lo que el núcleo debe ser mucho más denso. El límite del núcleo fue descubierto, a partir de estudios sísmicos, en 1914. Datos sísmicos adicionales demostraron que su parte externa es líquida (dado que no es atravesada por las ondas de cizalla) mientras que su parte central es sólida. Se piensa que el campo magnético terrestre es causado por las corrientes en la parte externa del núcleo.

Cuadro 4.8. ¿De qué está hecho el núcleo?

El límite del núcleo está a unos 3.000km por debajo de la superficie terrestre, por lo que nunca será posible tomar muestras de este. Necesitamos, en consecuencia, evidencias indirectas acerca de qué material puede formarlo. El hierro tiene la densidad apropiada para ser el constituyente del núcleo y es un material común en el espacio. Muchos meteoritos son metálicos, formados por una aleación de hierro con algo de níquel y se supone que se originaron por la desintegración de pequeños planetas en el pasado. Esta aleación de hierro-níquel tiene la densidad y las características sismológicas similares a las del núcleo, en consecuencia, se asume que el núcleo está constituido por una aleación de hierro-níquel. Es líquida en el núcleo externo y sólida en el central. Investigaciones recientes sugieren que el núcleo podría tener también algo de sílice.



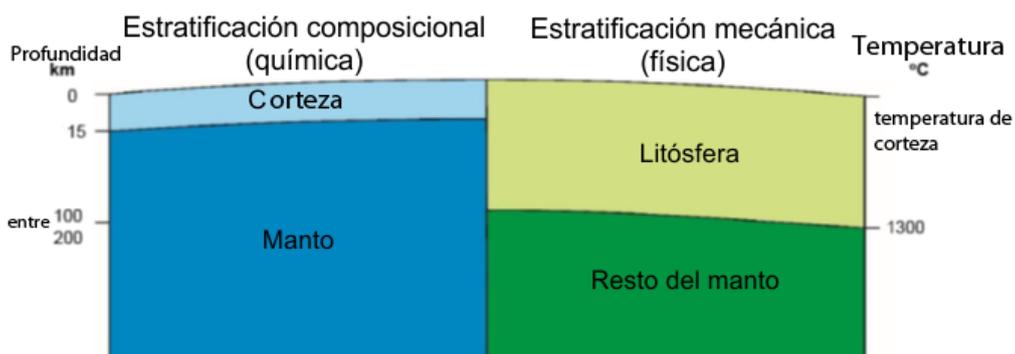
Meteorito de hierro de aproximadamente 30cm proveniente de Siberia – la parte exterior se fundió al atravesar a la atmósfera

4.1.3.5 La litosfera

Los límites entre la corteza y el manto y éste con el núcleo están señalados por cambios químicos; la corteza es rica en sílice con algo de hierro, el manto contiene muchísimo más hierro y el núcleo es casi exclusivamente hierro. Sabemos que existe otro límite importante en el interior terrestre, marcado por rasgos no químicos sino mecánicos, es decir cambios en el comportamiento de las rocas.

El límite constituye la base de la litosfera, indicada por la zona en la cual la temperatura de las rocas alcanza unos 1.300 °C. Por encima de esta temperatura las rocas son sólidas y rígidas, pero por debajo, si bien sólidas, son capaces de deformarse lentamente. La litosfera, sólida y rígida, está constituida por la corteza y la parte superior del manto y forma las placas terrestres. Éstas son desplazadas por los procesos de la tectónica de placas, facilitados por la relativa debilidad del manto subyacente. La Figura 4.12 muestra la estructura de la parte externa de la Tierra con la corteza, la litosfera y el manto.

Figura 4.12. La parte externa de la Tierra



Resumiendo, las placas terrestres están formadas por litosfera y pueden desplazarse sobre el resto del manto, que si bien es sólido puede fluir muy lentamente. Las propiedades y movimientos de las placas son descritos por la teoría de la Tectónica de Placas.

4.1.4 La tectónica de placas y sus evidencias

4.1.4.1 Una teoría unificadora

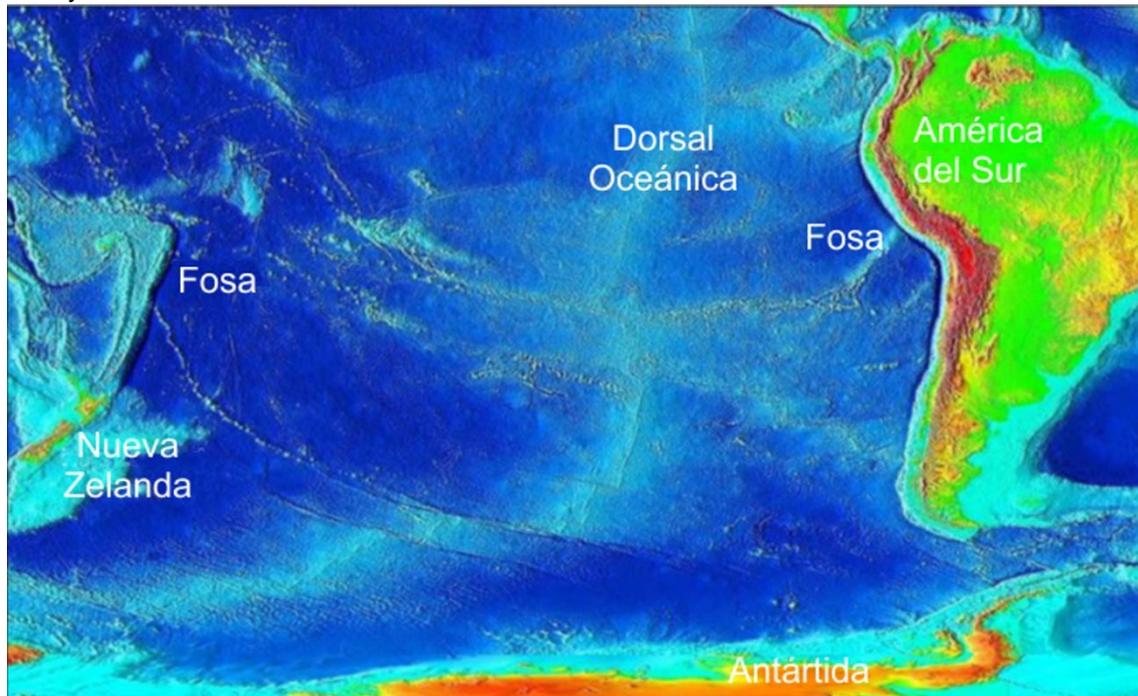
Tan pronto como se dispuso de mapas globales razonablemente exactos pudo verse que los contornos costeros de África y América del Sur encajaban uno junto al otro. Sin embargo, recién en 1915 Alfred Wegener publicó su teoría de la **Deriva Continental** con evidencias que mostraban que en algún momento habían estado juntos. El libro, publicado en inglés en 1922, no sólo mostraba el encaje de los contornos de los continentes, sino también la vinculación entre la geología y los fósiles a cada lado. Wegener también señaló cómo la deriva de los continentes podía explicar los cambios ambientales registrados en las rocas continentales, donde los depósitos dejados por el hielo eran a veces seguidos por areniscas de ambientes desérticos y éstas, a su vez, cubiertas por rocas de latitudes ecuatoriales. Su trabajo fue mayormente ignorado, en parte porque no pudo proponer un mecanismo convincente para el desplazamiento de los continentes. Muchos geólogos de la época aceptaban los movimientos verticales de la corteza, hacia arriba y hacia abajo, pero no desplazamientos laterales. También se consideraba que la corteza de la Tierra era demasiado delgada para formar continentes móviles. Actualmente sabemos que la corteza de la Tierra es demasiado delgada para formar placas, pero estas están constituidas por la litosfera, mucho más gruesa (Figura 4.12).

En la década de 1940, durante la Segunda Guerra Mundial, los científicos desarrollaron dos métodos para detectar submarinos que fueron luego fundamentales para la tectónica global. El método del sonar, que emite ondas de sonido y luego registra los ecos cuando las mismas chocan con algún obstáculo. Esto permite detectar a los submarinos, pero también el fondo del mar y la profundidad a que se encuentra.

Los magnetómetros también fueron desarrollados para detectar el magnetismo de los submarinos, pero luego se emplearon para registrar los cambios magnéticos en los materiales del fondo del mar.

En las décadas de 1950 y 1960 el sonar se empleó para cartografiar el fondo de los océanos. Estos mapas mostraron que los mismos tenían áreas menos profundas en su parte media, las cordilleras o dorsales, y zonas más profundas en los bordes, denominadas trincheras o fosas. Algunas de las cordilleras tenían alturas superiores a 1,5km, mientras la profundidad podía superar los 11km en algunas de las fosas (Figura 4.13). Esto condujo a Harry Hess a proponer, en 1962, la hipótesis de la **expansión del fondo oceánico**. Hess propuso que en las dorsales centro-oceánicas se generaba nueva corteza oceánica que se desplazaba luego lateralmente hasta alcanzar las fosas, en donde se sumergía nuevamente en el manto. La temperatura jugaba un rol fundamental en su teoría. Cuando se formaba el material nuevo, muy caliente de menor densidad, se elevaba para formar las dorsales. A medida que el material se desplazaba lateralmente se enfriaba y se iba hundiendo hasta que, se hacía tan frío y denso que podía hundirse nuevamente en el manto al llegar a las fosas.

Figura 4.13. El fondo del Océano Pacífico sur; dorsal centro-oceánica en la parte central y fosas en el Este y Oeste.



Mientras los científicos mapeaban el fondo oceánico con el sonar, también medían el magnetismo del suelo oceánico con magnetómetros. Descubrieron que ese fondo tenía propiedades magnéticas. En algunos lugares la señal del fondo se sumaba al magnetismo del planeta, generando una señal de mayor intensidad, pero en otros el magnetismo del fondo era opuesto al del planeta, debilitando la señal.

Cuando estas características se representaron en un mapa pudo observarse que existía un patrón que se repetía en ambos lados de las dorsales centro-oceánicas, como se muestra en la Figura 4.14. Este patrón fue interpretado en el año 1963, por Vine y Matthews en el Reino Unido y por Morley en Canadá. Ellos sabían que, cuando una roca que contiene minerales magnéticos se enfría, esos minerales se magnetizan en concordancia con el campo magnético que los afecta. De este modo, los minerales de las lavas que se enfrían en la actualidad se magnetizan de acuerdo con el campo magnético actual de la Tierra. También conocían la teoría respecto a que, si bien el polo norte del campo magnético actual se encuentra muy cercano al polo norte geográfico (y el polo sur magnético al polo sur geográfico), el campo magnético se había desplazado muchas veces en el pasado geológico. Hubo también períodos en los cuales el polo magnético norte estuvo en las inmediaciones del polo geográfico sur y, consecuentemente, el polo magnético sur en las inmediaciones del polo geográfico norte.

Esto les ayudó a interpretar el patrón magnético del fondo oceánico. Los basaltos se magnetizaban al enfriarse y, si lo hacían en un momento en el que el campo magnético terrestre era similar al actual, los minerales registraban un magnetismo norte-sur, pero si lo hacían en condiciones contrarias registraban un magnetismo opuesto, sur-norte. Las rocas con magnetismo norte-sur refuerzan el campo magnético actual, generando una anomalía positiva, denominada **polaridad magnética normal**, mientras que si es al contrario generan una anomalía negativa, llamada **polaridad magnética reversa**, tal como ilustra la Figura 4.15.

Figura 4.14. Anomalías magnéticas sobre la Dorsal de Reykjanes, al sudoeste de Islandia.

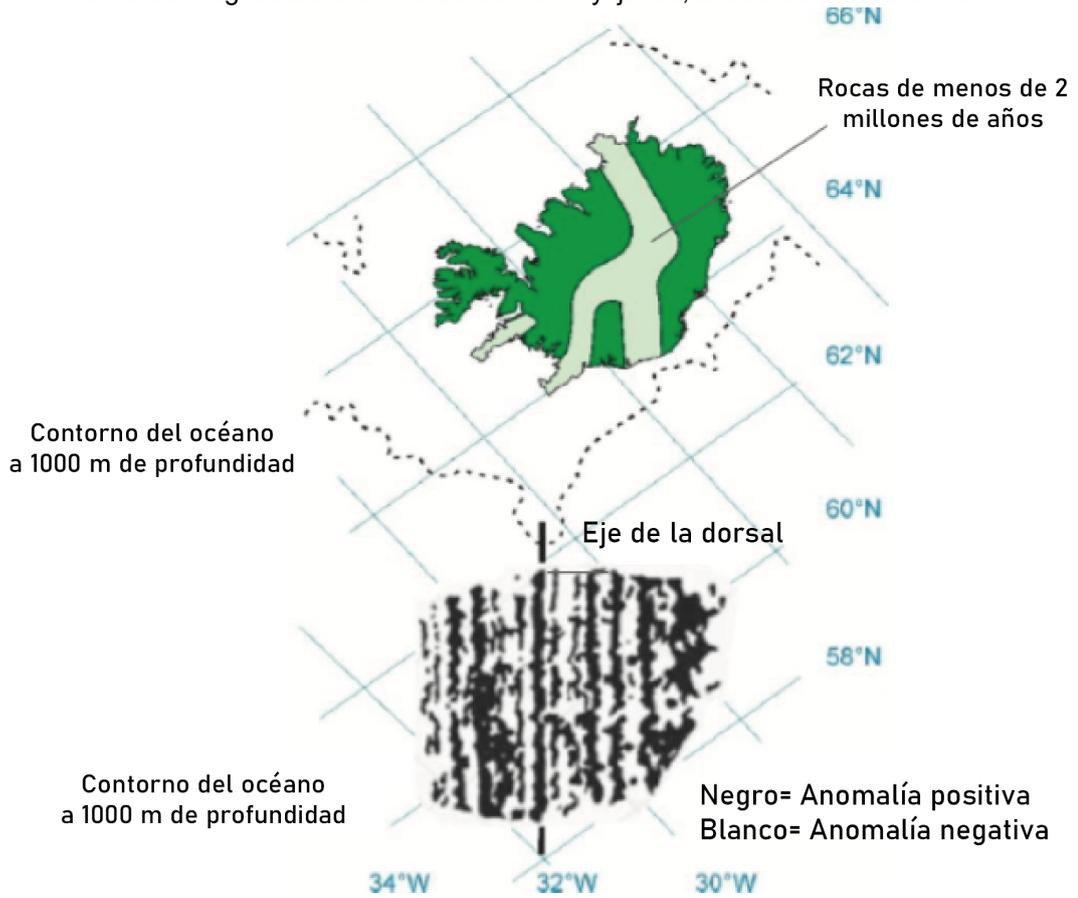
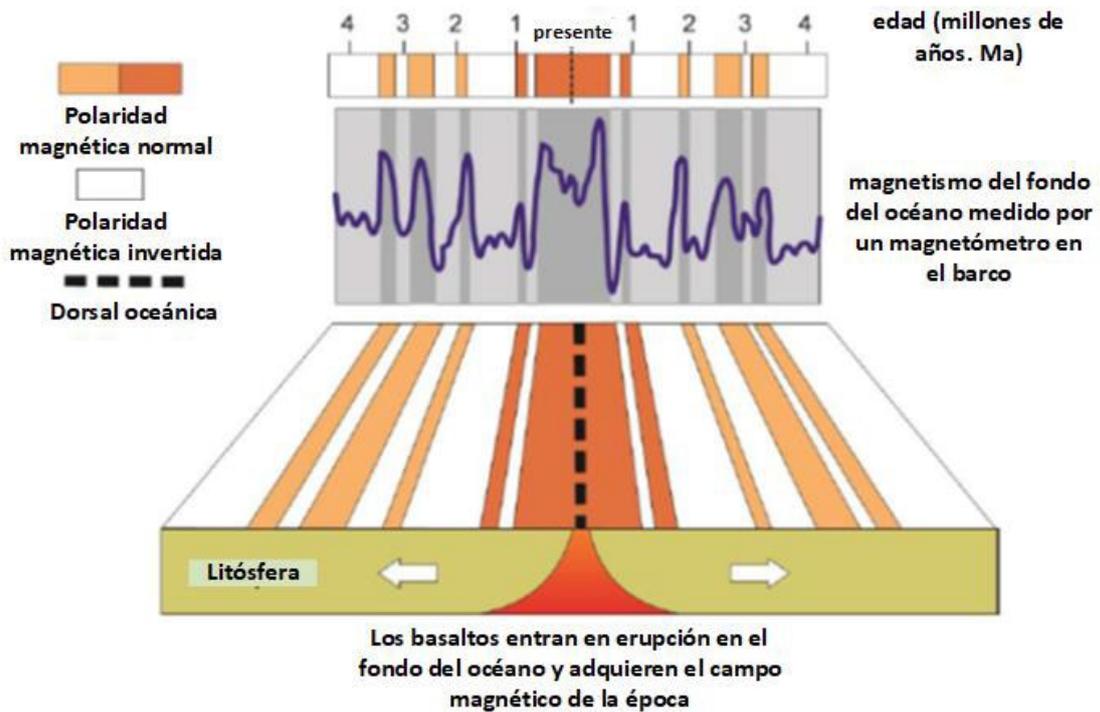


Figura 4.15. La formación de las bandas magnéticas por los basaltos del fondo oceánico

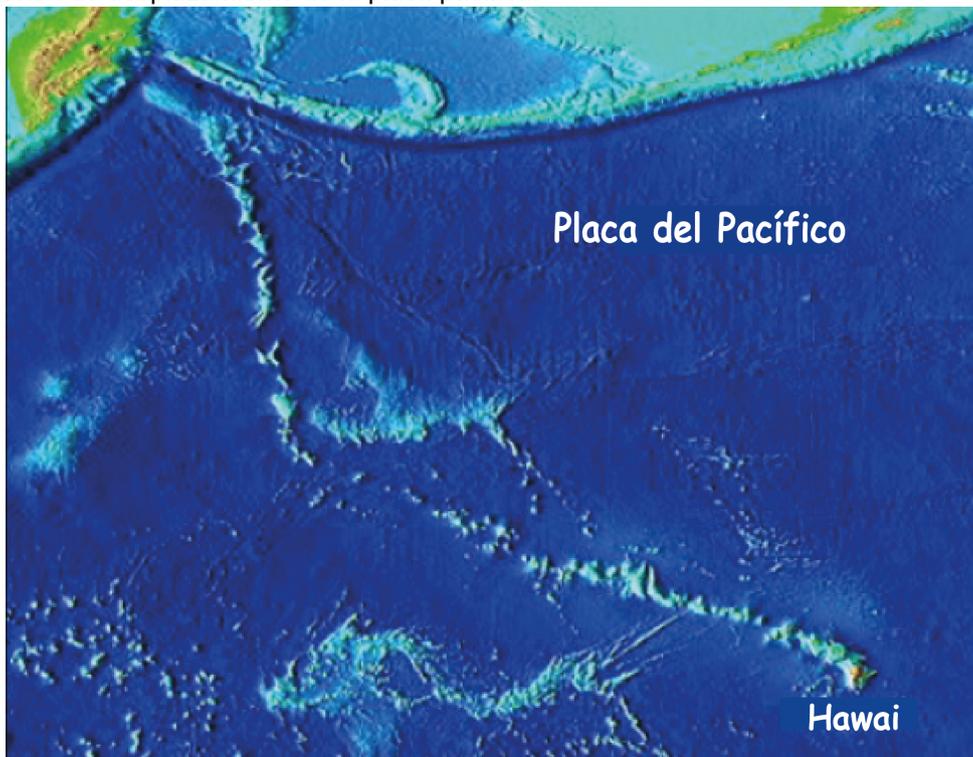


Los basaltos que hacen erupción sobre el fondo oceánico adquieren la magnetización correspondiente al momento en que se enfrían.

Las reversiones de los polos del campo magnético terrestre no son regulares: a veces hay un largo intervalo entre reversiones mientras otras la duración es muy breve. Esta es la razón por la cual las bandas tienen diferentes anchos y también explica porque el patrón a un lado de la dorsal es la imagen especular del lado opuesto. La evidencia de las bandas magnéticas brindó un excelente soporte a la hipótesis de la expansión de los fondos oceánicos de Hess.

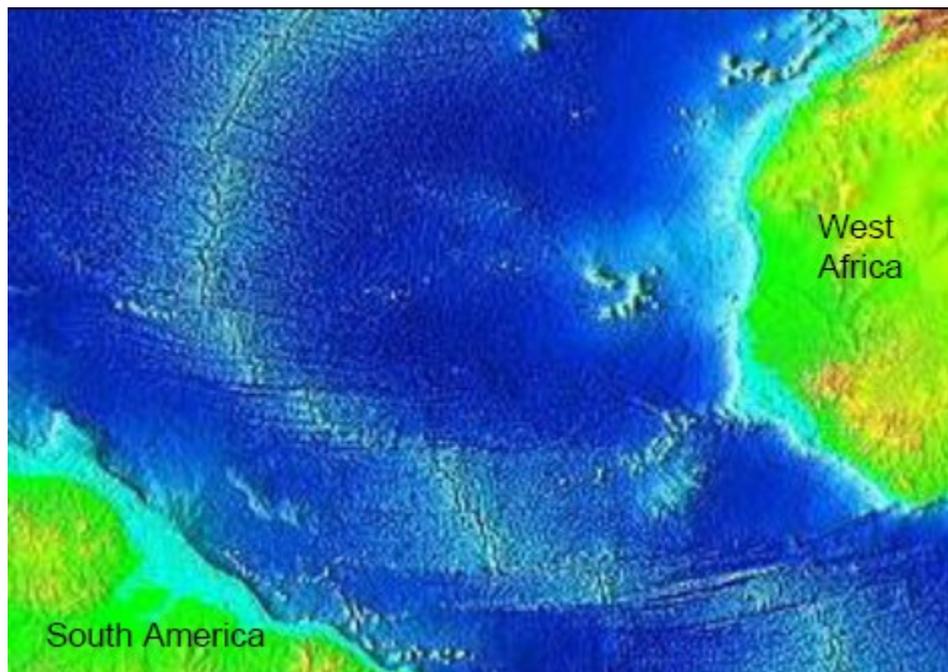
La presencia de actividad volcánica no sólo en las dorsales centro-oceánicas sino también en algunas islas volcánicas alejadas de las mismas fue uno de los problemas que debió resolver la propuesta de la expansión del fondo oceánico. John Tuzo Wilson encontró la explicación a esto con su teoría de los puntos calientes, presentada en 1963. Una columna de roca muy caliente se eleva a través del manto y funde parcialmente para dar origen a magma basáltico, el que asciende por la litosfera para formar un volcán. A medida que la litosfera se desplaza sobre el punto caliente, se genera una cadena de volcanes, tal como ilustra la Figura 4.16. Cuanto más lejos del punto caliente han sido transportadas las islas, más antiguas son.

Figura 4.16. La cadena de islas volcánicas y montañas submarinas asociada al punto caliente de Hawái, en el océano Pacífico. El brusco cambio en la dirección de la cadena está asociado a un cambio en la dirección de desplazamiento de la placa pacífica.



En 1964 John Tuzo Wilson reconoció otra evidencia fundamental a favor de la idea de la expansión de los fondos oceánicos. Se dio cuenta de que no sólo se formaba nuevo fondo oceánico en las dorsales para ser luego reintegrado al mando en las fosas oceánicas, sino que, además, notó que las dorsales oceánicas eran desplazadas en muchos lugares por grandes fallas que denominó **fallas transformantes** (Figura 4.17).

Figura 4.17. Fallas transformantes desplazando la dorsal del océano Atlántico.



Este conjunto de evidencias se constituyó en la nueva teoría unificadora de la tectónica de placas, que fue ampliamente reconocida a mediados de la década del '60. Esta teoría unía la teoría de la Deriva Continental de Wegener con la teoría de la expansión de los fondos oceánicos de Hess y con el resto de las evidencias para explicar el modo en el que la parte exterior del planeta se fragmenta en pedazos (luego denominados placas) que se desplazan sobre la superficie de la Tierra. Estas placas presentan tres tipos de límites o bordes: las dorsales y fosas reconocidos por Hess y las fallas transformantes identificadas por Wilson. A medida que las placas se desplazan transportan los continentes con ellas, por lo que los continentes no se mueven a la deriva, como proponía Wegener, sino que son transportados por las placas al desplazarse.

Wilson se dio cuenta luego de que el movimiento de las placas podría ser la causa de la existencia de supercontinentes en el pasado geológico, y de que una, vez que habían estado unidos en uno mayor, cuando éste se fragmentaba se formaban nuevos océanos. El ciclo de formación y ruptura de supercontinentes se denomina ahora **Ciclo de Wilson** o **Ciclo de los supercontinentes**.

Esta nueva teoría unificadora no solo explicó rasgos presentes a escala global, sino que brindó soporte a los episodios de formación de montañas y elevación de terrenos que eran claves en el Ciclo de las Rocas. Explicó cómo determinadas áreas podían tener secuencias sedimentarias depositadas en diferentes ambientes, desde polares a ecuatoriales y desde oceánicos profundos a montañosos. Pudo verse luego que el movimiento de las placas estaba también vinculado a la evolución, unificando así muchas áreas de la geología. Desde entonces se ha encontrado más y más evidencia en favor de la teoría de la tectónica de placas, ella explica la mayor parte de los rasgos geológicos... pero no todos. Son estos rasgos que la teoría de placas tradicional no explica los que concentran gran parte de la investigación científica actual.

4.1.4.2 Formación de placas y subducción

La litosfera terrestre se encuentra rota en una serie de fragmentos grandes y pequeños llamados placas tectónicas. Cuando estas placas se desplazan transportan con ellas los continentes. En las dorsales oceánicas, se adiciona nuevo material a las placas y el mismo se desplaza, alejándose de la dorsal, es por ello por lo que estos límites se denominan **bordes de placa divergentes**. Las dorsales

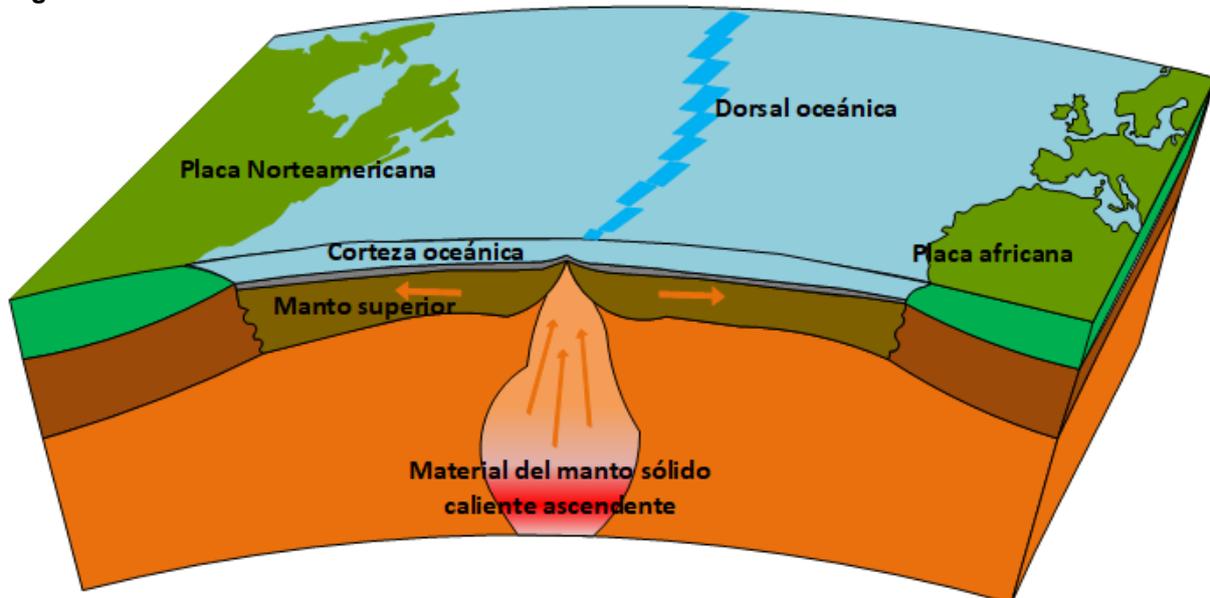
son desplazadas lateralmente por las fallas transformantes, sin adición ni eliminación de material, por lo que estas fallas constituyen **bordes de placa conservativos**.

Al desplazarse, el material caliente y liviano de las dorsales oceánicas se enfría y hunde y, eventualmente, puede hacerse tan frío y denso que comienza a hundirse nuevamente en el manto. Este proceso se denomina **subducción**. El resultado de la subducción es que dos placas se desplazan una hacia la otra, por lo que se denominan márgenes convergentes. La litosfera que ha subducido se reincorpora al manto, de modo que las rocas de la litosfera se reciclan en el ciclo global de la tectónica de placas.

4.1.4.3 Características de los márgenes de placas

Márgenes divergentes. En estos márgenes, el nuevo material se incorpora a las placas en las dorsales oceánicas a medida que las mismas se separan, permitiendo que el magma generado por la fusión parcial del manto ascienda. Si la solidificación se produce en las cámaras magmáticas, se generan gabros, si tiene lugar en forma de diques se generan doleritas y si fluye sobre el fondo oceánico al enfriarse la lava se forman basaltos (Tabla 4.19). Esta corteza nueva, con parte del manto subyacente, constituye nueva litosfera a medida que se forma la nueva placa oceánica (Figura 4.18).

Figura 4.18. Nueva corteza oceánica es creada en la dorsal oceánica en el océano Atlántico



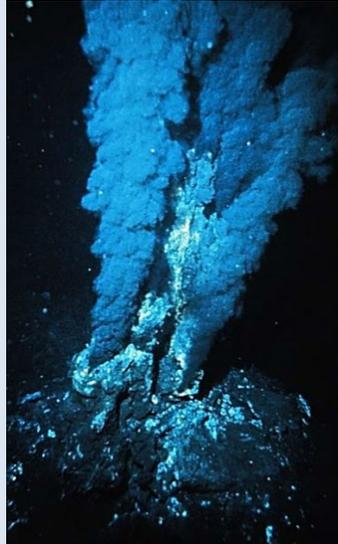
Cuadro 4.9. El descubrimiento de las fumarolas negras en las dorsales oceánicas

En 1977 el submarino Alvin, capacitado para alcanzar grandes profundidades, estaba investigando un área de dorsal oceánica a 2km de profundidad cuando sus dos pilotos vieron por primera vez las fumarolas negras. Descubrieron que el agua que surgía de ellas estaba a más de 400 °C y era fuertemente ácida. Encontraron también extrañas formas de vida que obtenían la energía y los nutrientes de esas fumarolas. Investigaciones posteriores demostraron que parte del agua oceánica fría era incorporada al suelo oceánico a través de fracturas y se calentaba al entrar en contacto con las rocas calientes del subsuelo. Estas aguas supercalientes disolvían algunos minerales de las rocas por las que circulaban en su vuelta a la superficie. Al surgir de los manantiales, esta agua reaccionaba con el agua oceánica fría y cristalizaban pequeñas partículas de minerales negros que formaban el "humo negro" de las fumarolas. Ahora se las denomina **fuentes hidrotermales**.

Este asombroso descubrimiento de un proceso no imaginado a gran profundidad en el fondo oceánico cambio la comprensión de no solo los procesos químicos marinos, sino también de como las comunidades vivas pueden desarrollarse en la ausencia de luz. Brindó también nuevas perspectivas acerca de la geofísica de las dorsales. Es poco frecuente que un descubrimiento produzca un impacto tan alto en la comprensión de la biología, la química y la física. El Alvin y otros submarinos especializados continúan actualmente las tareas de investigación. Recientemente se han descubierto fumarolas blancas, alejadas de las dorsales oceánicas, en las que el “humo” de minerales blancos o de colores claros se encuentra suspendido en dióxido de carbono líquido.



El submarino para grandes profundidades Alvin



Fumarola negra, Dorsal atlántica



Fumarolas blancas, Arco de las Marianas, Océano Pacífico

A medida que las placas recién formadas se apartan, se genera tensión y, como consecuencia, fracturación y formación de fallas directas. El hundimiento de la parte central entre dos fallas enfrentadas genera las denominadas fosas tectónicas o “rifts”. Estas fosas se encuentran en la parte central de las dorsales por todo el mundo (Figura 4.19). Islandia es uno de los pocos lugares en los que una fosa se encuentra por encima del nivel del mar. La figura 4.20 muestra una pequeña fosa islándica que forma parte de un sistema mayor de fosas en la dorsal oceánica.

Figura 4.19. La fosa en el centro de la dorsal oceánica

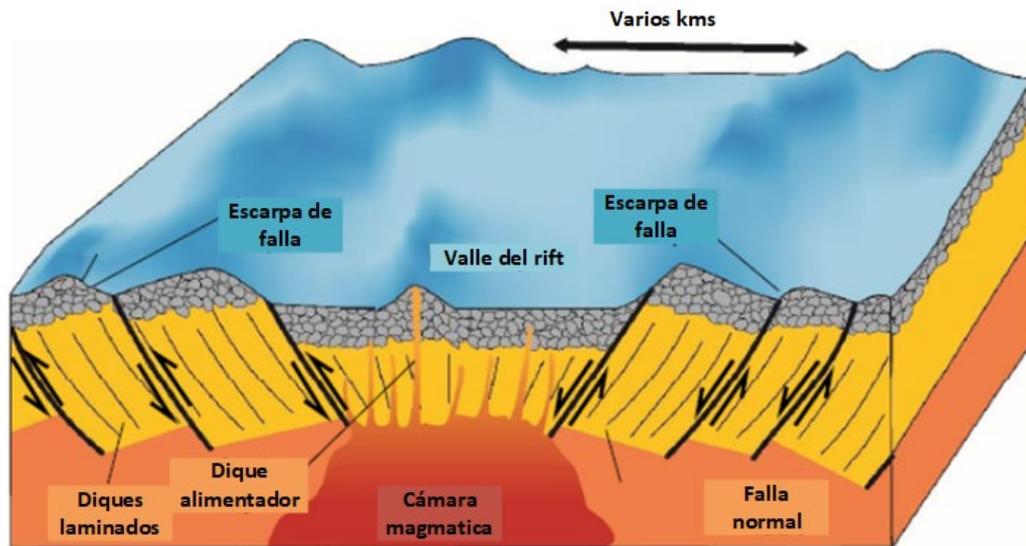


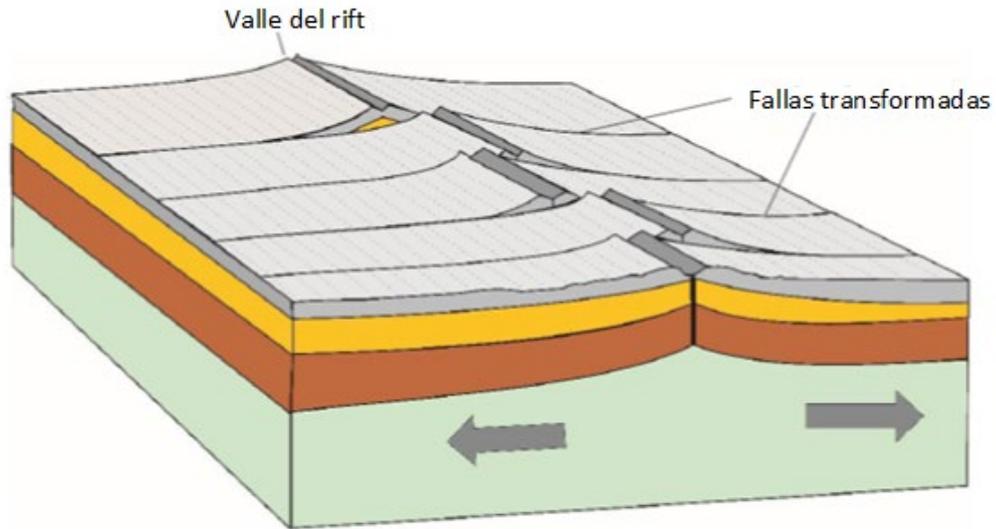
Figura 4.20. Una pequeña fosa en Islandia, asociada a la fracturación en la dorsal oceánica



La evidencia brindada recientemente por las perforaciones y la sismica mostró que la litosfera oceánica se forma de modo diferente en ciertas partes del océano. Parece que, en algunos lugares, fragmentos del manto son empujados desde abajo y movilizadas por fallas profundas hasta la superficie para formar litosfera oceánica, un proceso que está aún siendo investigado. De todos modos, cualquiera sea el modo en que la nueva litosfera oceánica se origine, tan pronto como aparece comienza a ser cubierta por los fangos que decantan desde las aguas oceánicas. Este manto de fangos marinos profundos se hace cada vez más potente a medida que la placa se aleja de la dorsal oceánica y se hunde por enfriamiento.

Márgenes de placa conservativos. Las dorsales oceánicas son desplazadas por fallas transformantes (Figura 4.17) que caracterizan estos márgenes y que son diferentes de cualquier otro tipo de falla. Si bien en su parte central se mueven de acuerdo con el desplazamiento de rumbo típico, más allá de las dorsales de un lado y otro del plano se prolongan en zonas de fractura en las que las rocas a cada lado de la fractura se mueven en la misma dirección, si bien a velocidades apenas diferentes, como se muestra en la Figura 4.21.

Figura 4.21. Una serie de fallas transformantes desplazando una dorsal oceánica y su fosa tectónica.



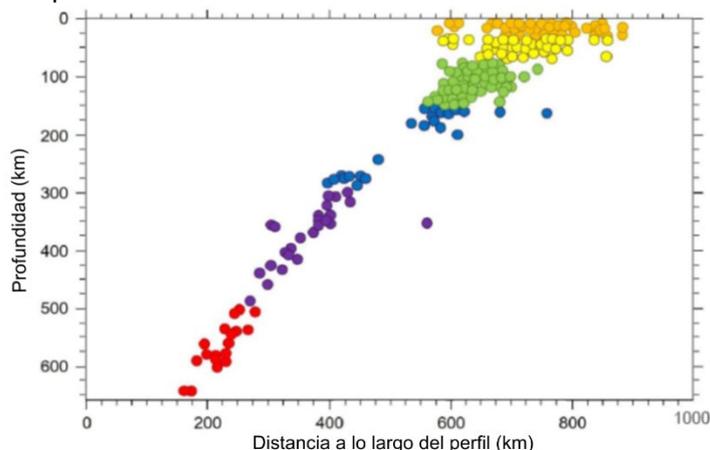
Las fallas transformantes no sólo desplazan las dorsales, sino que también vinculan a las mismas con las zonas de subducción. También afectan a los continentes, la falla Alpina en Nueva Zelanda y la falla de San Andreas en los Estados Unidos (Figura 4.22) son ejemplos famosos. Dado que son márgenes conservativos las fallas de transformación no muestran actividad volcánica asociada, más allá de lo que se pueda haber mostrado en algunas populares películas.

Figura 4.22. La falla de San Andreas en California (Estados Unidos). El terreno en la lejanía ha sido desplazado 130m hacia la izquierda luego de que el arroyo labrara su valle, desplazándolo en consecuencia una distancia igual.



Los terremotos se producen en todos los márgenes activos, pero, en comparación con los que tienen lugar en las zonas de subducción, los generados en márgenes divergentes y fallas de transformación tienen todos focos muy someros, sólo ocurren en el espesor de la litosfera que es menor de 100km. Sin embargo, donde las placas subducen, la litosfera fría es transportada hacia las profundidades y puede generar terremotos hasta profundidades de unos 750km. La subducción genera una zona sísmogénica inclinada, ilustrada en la Figura 4.23.

Figura 4.23. Registro de los sismos a través de la zona de subducción de las Islas Kuriles en el Pacífico Noroeste. Los focos sísmicos se han coloreado de acuerdo con su profundidad, mostrando que la placa es subducida hacia la izquierda.



A medida que la litosfera oceánica fría se hunde en el manto, transporta agua almacenada en las rocas que la componen. Esta agua, junto con el aumento de la temperatura asociado al aumento de la profundidad, facilita la fusión de las rocas de la litosfera que se hunde, generando magma. El magma así formado tiene una densidad menor que las rocas que lo rodean y asciende, causando actividad ígnea en la placa superior.

Los efectos de la subducción son diferentes según donde esta ocurra. Si una placa oceánica subduce por debajo de otra similar se genera una serie de islas volcánicas. Si lo hace por debajo de una placa que transporta un continente, se genera una cadena montañosa con actividad volcánica asociada. Cuando se enfrentan dos placas que transportan continentes, la subducción de la litosfera oceánica y la colisión de las masas continentales genera cadenas montañosas aún más grandes.

Márgenes convergentes océano-océano. Cuando dos placas oceánicas se desplazan en sentidos opuestos, la placa más fría es también la más densa y por lo tanto subduce. La subducción produce una profunda fosa oceánica en el área donde las placas chocan y una zona sismogénica inclinada, como en la Figura 4.23. La fusión parcial de una parte de la placa que subduce genera magmas de composición intermedia (ni ricos en hierro ni ricos en sílice) que asciende dando origen a erupciones volcánicas explosivas que generan cadenas de volcanes. La fosa y los volcanes forman curvas sobre la superficie terrestre, lo que da nombre a este tipo de margen: un **Arco Volcánico Insular** (Figura 4.24).

Figura 4.24. Subducción en la colisión de dos placas oceánicas

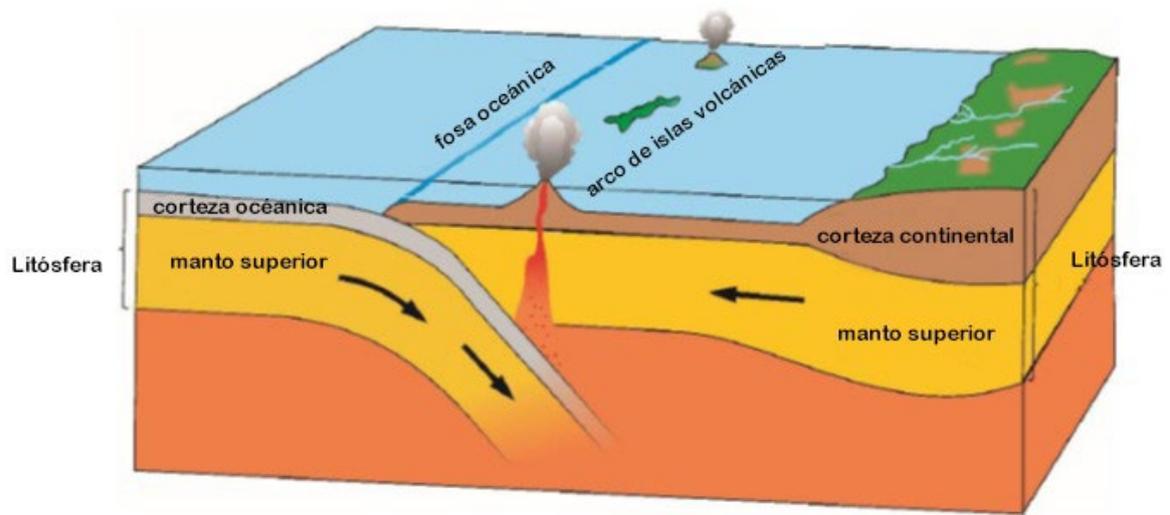


Figura 4.25. El arco insular del Caribe muestra la curvatura de la fosa oceánica profunda junto al arco volcánico en el sector interno, generado por la colisión de la placa del Atlántico noroccidental con la placa Caribe.



Figura 4.26. Erupción del volcán de los Montes Soufriere, en la Isla de Montserrat, en el arco volcánico insular del Caribe.



Márgenes convergentes océano-continente. Cuando una placa oceánica choca con una placa que transporta un continente, la menor densidad de las rocas continentales hace que la placa oceánica subduzca. Tal como ocurre en los arcos insulares, se genera una zona sismogénica inclinada, asociada a erupciones volcánicas explosivas. Sin embargo, debido a la presencia del continente, también se generan otros efectos. A medida que la placa oceánica subduce, tajadas de fondo oceánico son empujadas y apiladas para formar una enorme cuña de sedimentos denominada **prisma acrecional**, como ilustra la Figura 4.27. Se añade así nuevo material al continente, que crece lateralmente. También crece hacia arriba y hacia abajo dado que, a medida que se añaden tajadas de material se forman montañas y aumenta el espesor continental. En tanto las montañas se hacen más altas, el continente también se hunde en el manto por debajo de la placa, ya que el mismo, aunque sea sólido, puede fluir en tiempos geológicos. Es así como, a medida que las montañas en la corteza continental

se hacen más altas, su parte inferior es forzada a descender a mayor profundidad. Las masas de corteza continental que son soterradas para soportar las cadenas montañosas se denominan **raíces montañosas**.

Las temperaturas y presiones en las raíces montañosas son muy altas debido a la profundidad y a ellas se unen esfuerzos compresionales adicionales, causados por el movimiento de las placas. Son estos esfuerzos compresionales laterales los que deforman y metamorfizan las rocas. Entretanto, se genera también magma como consecuencia de la fusión de la placa que subduce. No solo se producen magmas intermedios, sino que la fusión parcial de los niveles inferiores de la corteza produce también magmas ricos en sílice. Son mayormente tan viscosos que solidifican en enormes cámaras magmáticas antes de alcanzar la superficie, dando origen a plutones y batolitos. El enfriamiento lento de este magma rico en sílice da origen a los granitos. Si el mismo alcanza la superficie, al igual que los magmas intermedios, genera erupciones explosivas de cenizas volcánicas, que son muy peligrosas.

Figura 4.27. Subducción de una placa oceánica por debajo de una continental.

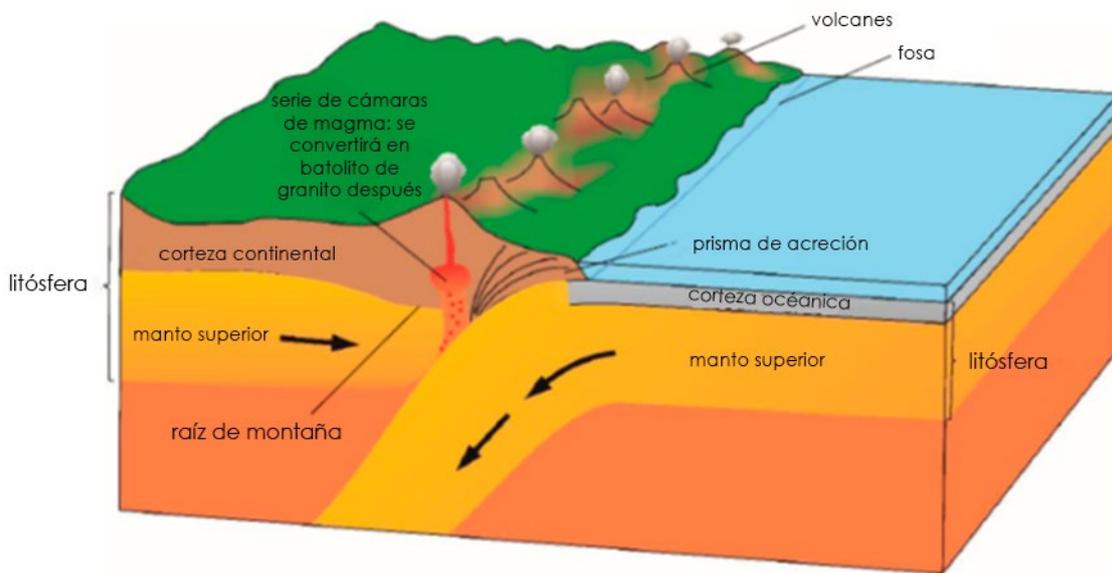


Figura 4.28. La zona de colisión generada por la placa de Nazca al subducir por debajo de la placa Sudamericana.

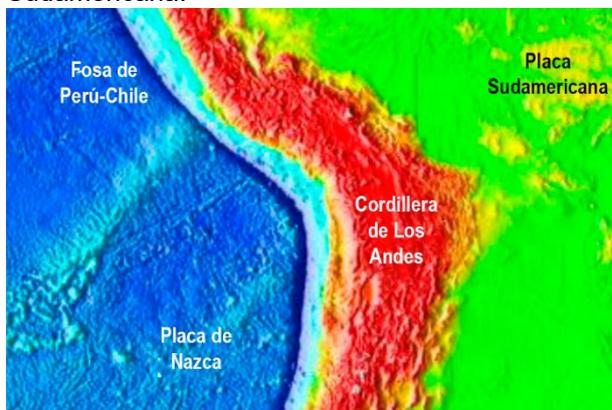


Figura 4.29. La cadena montañosa de los Andes entre Chile y Argentina.



Márgenes convergentes continente-continente. Cuando dos placas que transportan continentes se desplazan una contra la otra, la corteza oceánica subduce y el océano se cierra gradualmente. Cuando los continentes que están sobre las placas chocan, se generan altas cadenas de montañas, las más

altas de la Tierra, con profundas raíces. La colisión causa una muy intensa deformación, con plegamientos y sobrecorrimientos a gran escala, acompañados de metamorfismo en sus más altos grados. A pesar de que la zona de colisión puede estar activa por millones de años, ya no existe subducción y se interrumpe la actividad volcánica. No obstante, la región es afectada por numerosos terremotos, frecuentemente de gran magnitud y catastróficos (Figura 4.30, 4.31 y 4.32).

Figura 4.30. Una zona de colisión entre dos placas continentales.

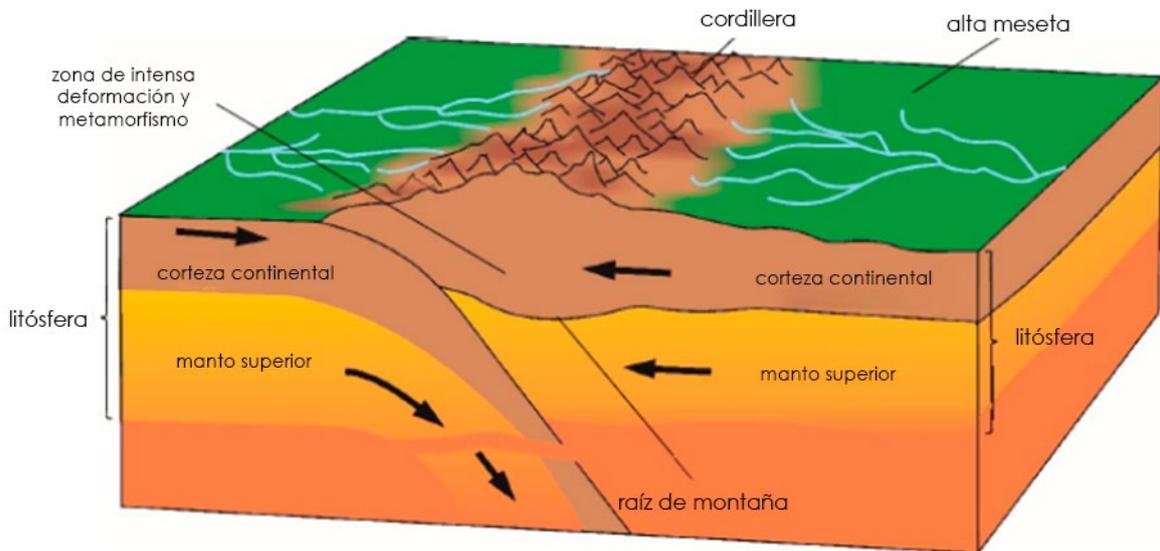


Figura 4.31. Colisión de la placa India con la placa Euroasiática, causante de la cadena de los Himalayas.

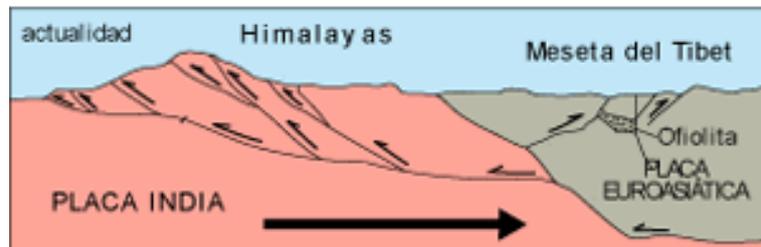


Figura 4.32. La cadena de los Himalayas vista desde la Estación Espacial Internacional, con el monte Everest en el centro de la parte superior.



Cuadro 4.10. Mantos de sobrecorrimiento generados por el choque de placas

Cuando dos placas continentales chocan, algunas capas de roca pueden ser empujadas hacia arriba y desplazadas por muchos kilómetros a lo largo de fallas inversas de bajo ángulo. A veces, las rocas en frente de estas fallas pueden ser invertidas en grandes pliegues como consecuencia del plegamiento en gran escala, quedando la secuencia rocosa completamente invertida.



La Falla Glarus, en los Alpes suizos. Como consecuencia del choque de las placas africana y europea, al levantarse la cadena alpina, la roca oscura cercana a la cima ha sido sobrecorrida hacia el Norte por más de 100km por encima de las rocas de la base.



El pliegue del Dent de Morcles, en los Alpes suizos cerca de Valais. Las rocas más oscuras en la cima de la montaña son de la misma edad que las que se encuentran en la parte inferior del pliegue, donde la secuencia ha sido invertida por la colisión de las placas africana y europea.

Ahora que sabemos cómo funcionan los márgenes de placas podemos explicar algunas partes del Ciclo de las Rocas que eran difíciles de comprender antes de que se dispusiera de la teoría de la tectónica de placas, como se ilustra en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21. Procesos del Ciclo de las Rocas que se explican actualmente por la Teoría de Placas.

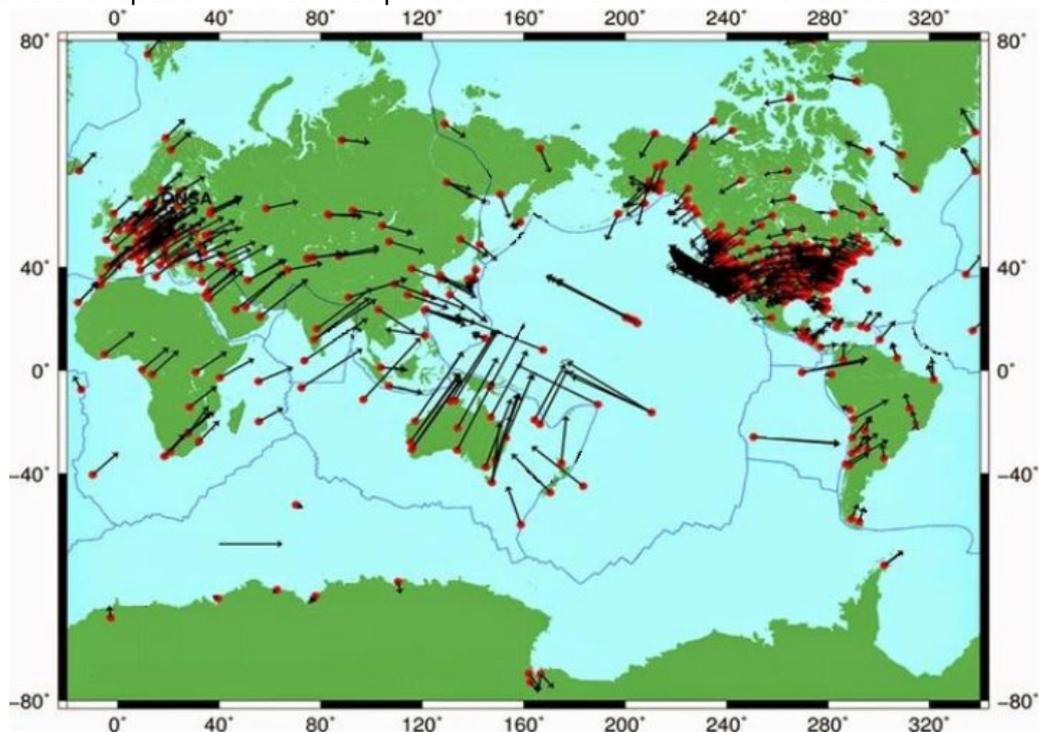
Proceso en el Ciclo Interno de las Rocas	Explicación dada por la tectónica de placas
Metamorfismo	Regional: Cuando las cadenas montañosas se forman en los bordes de contacto océano-continente y continente-continente, las rocas son arrastradas a profundidades en la cuales la temperatura y la presión causada por las rocas superiores a la base son muy altas. Esto, sumado al esfuerzo compresivo extra, causado por el choque de las placas, causa la recristalización de los minerales.
	Térmico: los magmas que se introducen, formados tal como se describe más abajo, “cocinan” las rocas que los rodean formando una aureola de metamorfismo.
Fusión (fusión parcial)	En las zonas de subducción: la placa que subduce lleva agua incorporada, esta agua y la creciente temperatura causan la fusión parcial de los materiales de la placa y el magma formado en el proceso, al tener menor densidad, asciende.
	En los márgenes divergentes: bajo las dorsales oceánicas el manto es tan caliente que el material funde parcialmente por la pérdida de presión al ascender, generándose magmas ricos en hierro y magnesio que generan nueva placa oceánica.

Intrusiones ígneas	A medida que el magma en los bordes de las placas asciende a través de la placa superior más fría, pierde temperatura y cristaliza en las cámaras magmáticas formando plutones o batolitos.
Actividad volcánica	Cuando el magma originado en los bordes de placa y en los puntos calientes alcanza la superficie hace erupción de diferentes modos, que varían entre inofensivos y catastróficos.
Levantamiento	Cuando se forman las cadenas montañosas en los bordes de contacto océano-continente o continente-continente, algunas rocas son elevadas, mientras otras son forzadas a descender a las raíces de las montañas. Dado que la cadena montañosa flota sobre el manto sólido, a medida que las rocas superiores son erosionadas las que están por debajo van siendo elevadas.
Deformación	<p>En los márgenes divergentes: a medida que las placas se alejan, las rocas frágiles se fracturan generando fallas directas, con un bloque superior que se desliza hacia abajo sobre el plano de falla.</p> <p>En los márgenes conservativos, la generación de fallas transformantes se produce por la fracturación de la placa en fallas de desplazamiento de rumbo, generalmente verticales.</p> <p>En los márgenes convergentes océano-continente o continente-continente, las enormes fuerzas compresivas causan la fracturación de las rocas cercanas a la superficie para formar fallas inversas y sobrecorrimientos. A profundidades mayores las rocas se deforman por plegamiento.</p>

4.1.4.4 Mecanismos y tasas de movimiento

Actualmente, el movimiento de las placas puede ser registrado por los satélites utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los cálculos muestran tasas de desplazamiento de las placas entre 1cm y 10cm por año, una velocidad similar a la del crecimiento de las uñas (Figura 4.33)

Figura 4.33. Velocidades de desplazamiento de las placas, la longitud de las flechas representa la velocidad de desplazamiento de cada placa en función de los cálculos realizados con el sistema GPS.



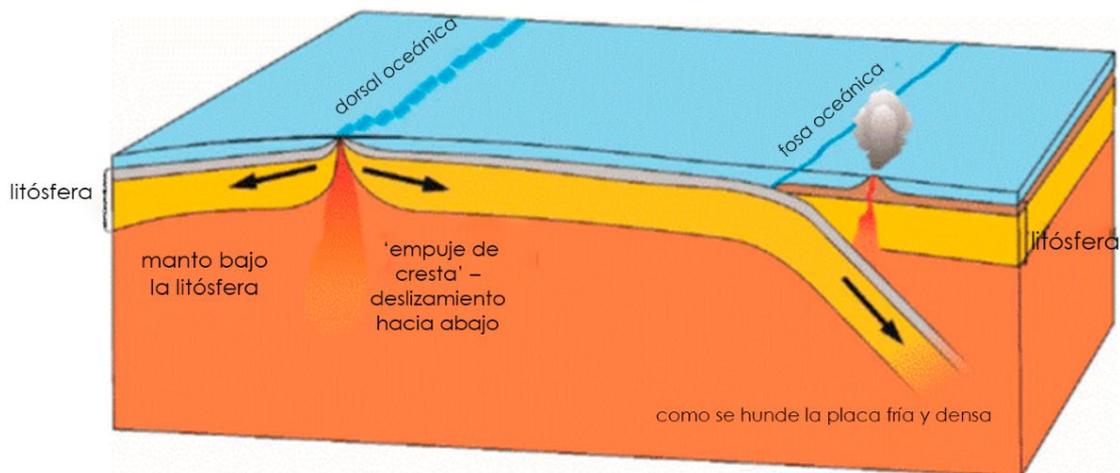
Por muchos años se consideró que lo que movía las placas eran las corrientes en el manto bajo ellas, este tipo de corrientes generadas por la temperatura se denominan **corrientes convectivas**. Actualmente puede utilizarse la información sísmica para explorar el interior terrestre en forma similar a como los exploradores (scanners) médicos se usan para explorar el interior del cuerpo. Esta exploración ha puesto en duda la existencia de corrientes de convección de gran escala en el manto, por lo que este mecanismo podría no ser la fuerza principal que mueve las placas mayores.

Las placas se hunden en las zonas de subducción porque son más densas que el material que las rodea. Parece que una parte importante del movimiento de las placas podría ser explicado por la tracción que la parte fría y densa de la placa litosférica que se hunde ejerce sobre el resto de esta, este mecanismo se denomina "**tracción de la losa**". El comportamiento es similar al de una tela con un borde colgando de una mesa, el peso de la parte que cuelga puede desplazar el resto de la tela.

Cuando no existe un efecto notable de tracción de la losa, parece que actúa el empuje originado en las dorsales oceánicas. Dado que las dorsales son más altas que el fondo oceánico que las rodea, la litosfera recién creada se desliza alejándose de las dorsales y empuja el resto de la placa, este mecanismo se denomina **empuje de la dorsal**.

La tracción de la losa y el empuje de dorsal parecen ser las fuerzas más relevantes en el desplazamiento de las placas, si bien esto se encuentra aún en estudio en la actualidad. Además de estas, otras fuerzas pueden también ser efectivas para mover las placas (Figura 4.34).

Figura 4.34. Mecanismos que mueven las placas

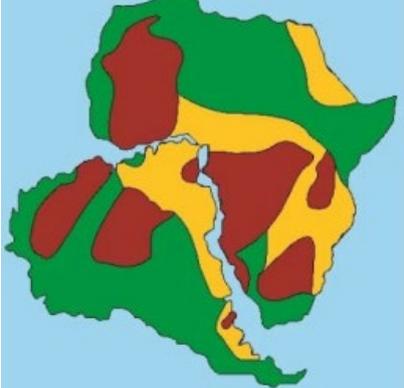
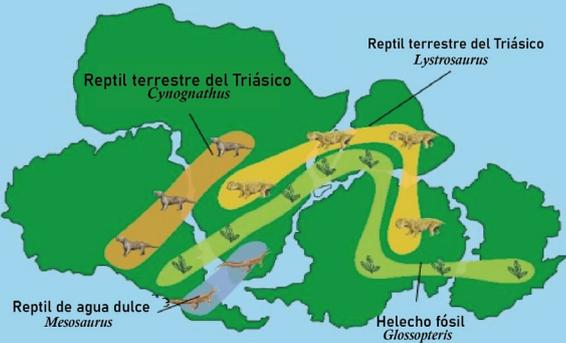


4.1.4.5 Evidencia

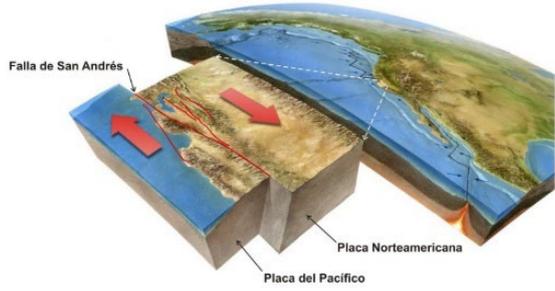
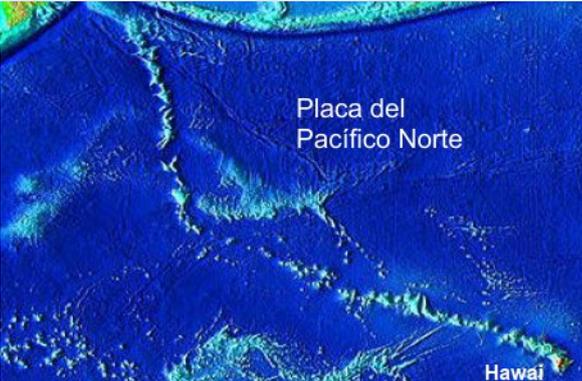
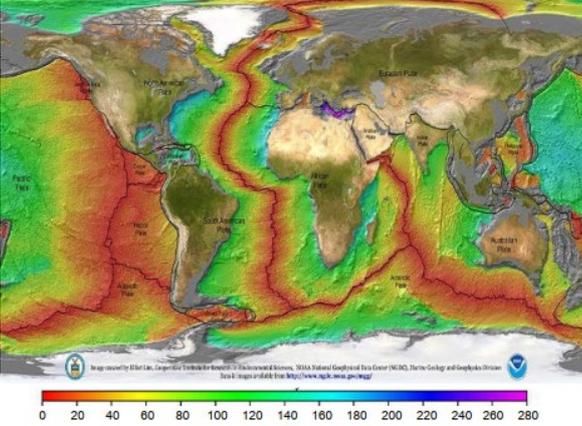
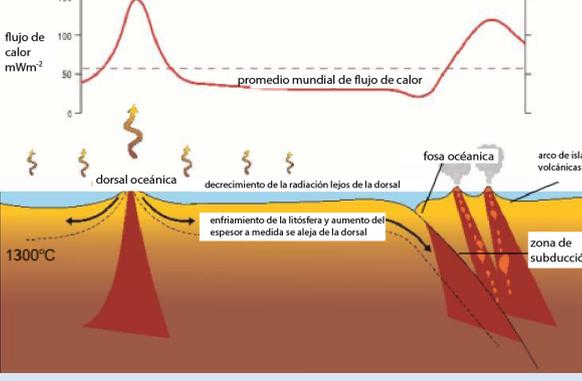
En la actualidad existe tanta evidencia a favor de la tectónica de placas que ya puede considerarse más un hecho que una teoría. Esto es así porque, como todas las buenas teorías, ha concentrado numerosas ideas y ha brindado predicciones que han sido comprobadas como correctas. Sin embargo, como muchas otras, la teoría de la tectónica de placas no explica todos los procesos externos de la Tierra y algunas de sus predicciones se encuentran siendo investigadas en la actualidad.

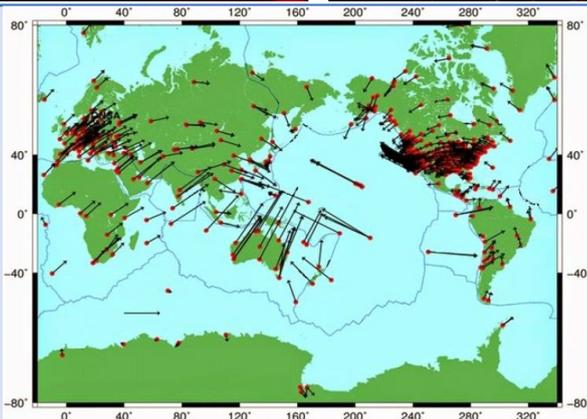
Las líneas principales de evidencia que respaldan la teoría de la tectónica de placas en la actualidad se resumen en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Evidencias principales que respaldan la teoría de la tectónica de placas

Evidencia	Propuesta por	Explicación	Imagen
Rompecabezas	Wegener, Du Toit	En algún momento los continentes estuvieron juntos, pero se separaron, razón por la cual sus formas encajan. Reconstrucciones más modernas, basadas en la forma de los márgenes de las plataformas continentales y el uso de modelado computarizado muestran que la coincidencia es muy estrecha.	 <p>Este mapa muestra la reconstrucción de los continentes durante la era de los supercontinentes. Las formas de los continentes se ajustan perfectamente entre sí, como si fueran piezas de un rompecabezas. Se utilizan líneas rojas para indicar áreas de superposición y líneas negras para indicar espacios que deberían estar presentes si los continentes no hubieran estado unidos.</p>
Evidencia geológica sobre el rompecabezas	Wegener, Du Toit	Las formas y rocas de los afloramientos sobre los continentes encajan cuando éstos son puestos lado a lado. Se muestran en color marrón las rocas con más de 2000 millones de años y las de 2.000 a 600 millones de años en color verde	 <p>Este mapa geológico muestra la distribución de rocas antiguas (marrón) y más recientes (verde) en los continentes. Cuando se juntan los continentes, las formas y colores de las rocas encajan perfectamente, lo que respalda la teoría de la tectónica de placas.</p>
Evidencia fósil sobre el rompecabezas	Wegener	Los lugares en los que se encuentran fósiles terrestres coinciden cuando se juntan los continentes. El mapa muestra los lugares donde se ha encontrado <i>Cynognathus</i> (marrón), <i>Lystrosaurus</i> (naranja), <i>Glossopteris</i> (verde) y <i>Mesosaurus</i> (azul).	 <p>Este mapa muestra la distribución de fósiles terrestres en los continentes. Los lugares donde se encuentran fósiles como <i>Cynognathus</i> (marrón), <i>Lystrosaurus</i> (naranja), <i>Mesosaurus</i> (azul) y <i>Glossopteris</i> (verde) coinciden perfectamente cuando se juntan los continentes, lo que respalda la teoría de la tectónica de placas.</p>
Evidencia paleoclimática	Wegener	Las áreas de los continentes que originalmente estaban cubiertas de hielo coinciden cuando los continentes se vuelven a unir. Los mapas muestran el área donde previamente existían glaciares que está sombreada	 <p>Este mapa muestra las áreas de los continentes que originalmente estaban cubiertas de hielo (sombreadas) y coinciden cuando los continentes se vuelven a unir. Los mapas muestran el área donde previamente existían glaciares que está sombreada.</p>

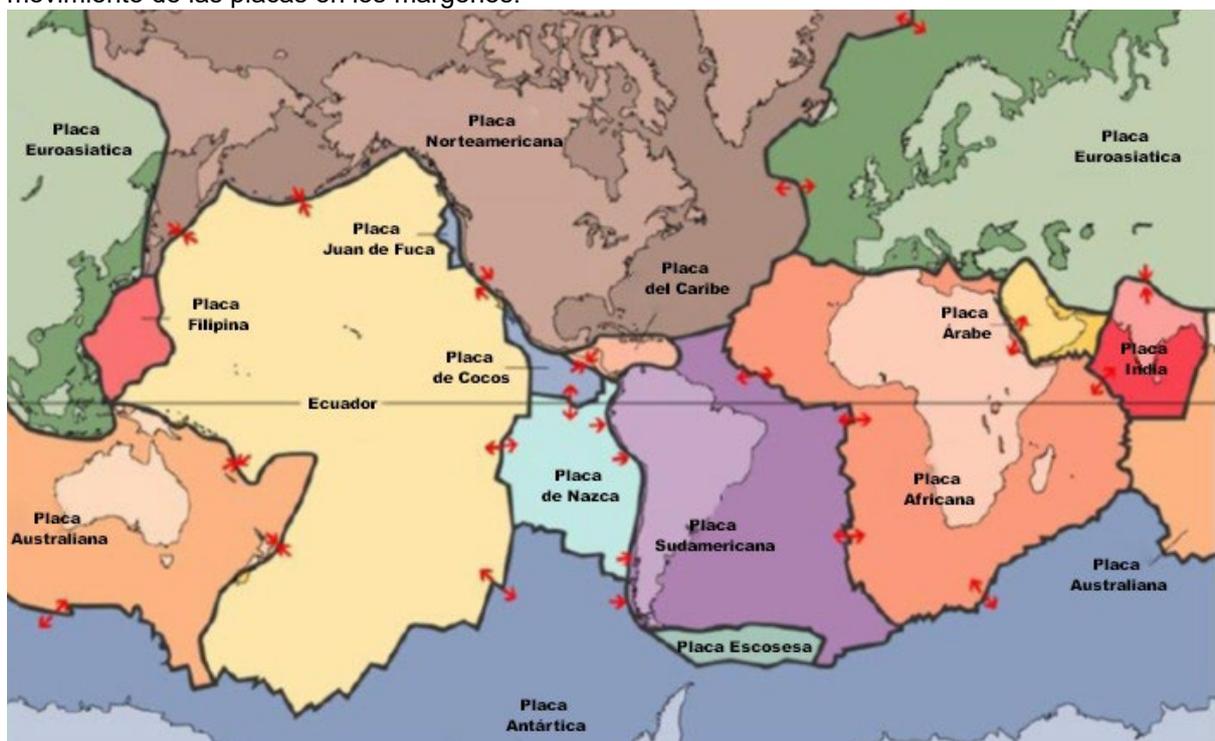
<p>Relieve terrestre</p>	<p>Hess</p>	<p>Hess se dio cuenta que los rasgos del fondo marino, como las fosas y las dorsales podían relacionarse en su hipótesis de la expansión del fondo oceánico. Esta idea fue luego ampliada por la tectónica de placas para incluir también rasgos continentales.</p>	
<p>Patrón de la distribución de los volcanes</p>		<p>La distribución de los volcanes, señalada con puntos rojos, muestra que los mismos están vinculados a bordes de placas o a puntos calientes.</p>	
<p>Distribución de los terremotos</p>		<p>La distribución de los sismos más importantes, representados como pequeños puntos naranja, muestra que, si bien hay terremotos en muchos lugares, la mayoría se concentra en los bordes de placas, particularmente en las zonas de subducción.</p>	
<p>Profundidad de los focos sísmicos</p>	<p>Beniof, Wadati</p>	<p>El incremento constante de la profundidad de los focos sísmicos en las zonas de subducción muestra la pendiente de la placa que se hunde, como se ha explicado más arriba.</p>	
<p>Bandas magnéticas</p>	<p>Vine y Matthews, Morley</p>	<p>El diseño simétrico de las bandas magnéticas registradas en los basaltos del fondo oceánico a ambos lados de las dorsales muestra que la nueva litosfera oceánica surge hacia ambos lados, como se ha explicado más arriba.</p>	

<p>Fallas transformantes</p>	<p>J. Tuzo Wilson</p>	<p>En donde las dorsales oceánicas están desplazadas se localizan fallas poco comunes que se desplazan lado a lado entre las dorsales, pero en el mismo sentido a partir de allí. Fallas de este tipo conectan también diferentes clases de márgenes de placas, como la falla de San Andrés, por ejemplo</p>	
<p>Puntos calientes</p>	<p>J. Tuzo Wilson</p>	<p>A medida que las placas se desplazan sobre los puntos calientes en el manto, la actividad volcánica se expresa en su superficie. Los volcanes extintos se hacen más viejos al alejarse del punto caliente, trazando la ruta de desplazamiento de la placa, como se ha explicado.</p>	
<p>Edad de los fondos oceánicos</p>		<p>La perforación en los fondos oceánicos ha provisto rocas que se han datado radiométricamente. El mapa muestra la edad de las rocas más antiguas halladas en diferentes puntos de los océanos. Las rocas que forman la litosfera oceánica son más jóvenes cerca de las dorsales y se hacen más antiguas a medida que se alejan de ellas.</p>	
<p>Flujo térmico</p>		<p>Las mediciones del calor que emite la Tierra desde su interior muestran que el mismo es muy alto en las dorsales oceánicas y en las áreas volcánicas continentales, presenta valores bajos en las dorsales y evidencian también el lento, pero constante, enfriamiento de la placa cuando esta se desplaza alejándose de la dorsal</p>	

<p>Composición del magma</p>		<p>Las erupciones de las dorsales oceánicas y los puntos calientes son basálticas. Las erupciones en las zonas de subducción son mayormente de andesitas y cenizas volcánicas. Los diferentes tipos de magma pueden explicarse por las diferencias en los procesos que tienen lugar en cada sitio.</p>	
<p>Medición del desplazamiento de las placas</p>		<p>Las determinaciones de la posición relativa de los continentes que pueden realizarse hoy en día con GPS permiten calcular la velocidad con que se desplazan las placas. Cuanto más largas las flechas más rápido es el desplazamiento.</p>	

Las numerosas investigaciones científicas realizadas acerca de la tectónica de placas han brindado la información necesaria para dibujar un mapa detallado con las placas más importantes y sus límites, como muestra la Figura 4.35. Un mapa de esta escala sólo muestra las placas más grandes, pero existen también muchas placas pequeñas.

Figura 4.35. Las principales placas tectónicas de la Tierra. Las flechas rojas indican la dirección del movimiento de las placas en los márgenes.



4.2 Hidrosfera

Hidrosfera es el nombre dado a toda el agua de nuestro planeta- desde los grandes océanos hasta la condensación que se puede ver en el exterior de una lata de bebida fría, y desde lo alto de la atmósfera hasta el fondo del pozo más profundo.

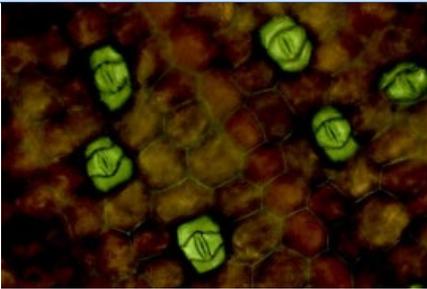
4.2.1 Agua continental

4.2.1.1 Fuentes de agua continental

El principal reservorio de agua en la Tierra son los océanos, pero el agua llega a los continentes a través de los procesos del ciclo del agua descritos en el Capítulo 1. Aunque solo el 2,5% del agua de la Tierra se encuentra en los continentes (el resto está en los océanos), el agua dulce en los continentes no sólo tiene una amplia gama de efectos geológicos, sino que también es esencial para la vida en la Tierra. Las diferentes fuentes de agua continental se muestran en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Agua continental en la Tierra.

Fuente del agua	% del agua continental	Imagen	Referencia
Capas de hielo, glaciares y nieve permanente	68,7		La capa de hielo que cubre la Isla Saunders en la Bahía Baffin, cerca de Groenlandia.
Agua subterránea	30,1		Agua subterránea emergiendo desde el suelo- un manantial (vertiente) que contiene minerales disueltos en las montañas del Cáucaso en Asia Occidental.
Hielo de suelo y permafrost (suelo congelado y agua subterránea)	0,86		“Suelo estampado” producido por el permafrost en la tundra congelada en los Parques Nacionales del Ártico Occidental, Alaska, EE. UU.

Lagos	0,26		Lago Satpara, uno de los lagos con mayor altitud en Pakistán
Humedad del suelo	0,05		Suelo húmedo del Lüningsburg en Baja Sajonia, Alemania
Atmósfera	0,04		Nubes en el cielo en el Muelle de El Quisco, Valparaíso, Chile, 1997
Agua de pantano	0,03		El bosque pantanoso de agua dulce de Ratargul en Sylhet, Bangladesh
Ríos	0,006		El serpenteante río Yukón, al norte de Canadá
Agua biológica	0,003		Una hoja de <i>Tradescantia zebrina</i> vista al microscopio, se observan las estomas verdes que liberan agua a la atmósfera en la transpiración

Más de dos tercios del agua continental se encuentran en los casquetes polares y en las zonas montañosas cubiertas de hielo y nieve. Esta agua se acumula como nieve que se almacena en capas de hielo y glaciares; reciclándose a medida que se funden.

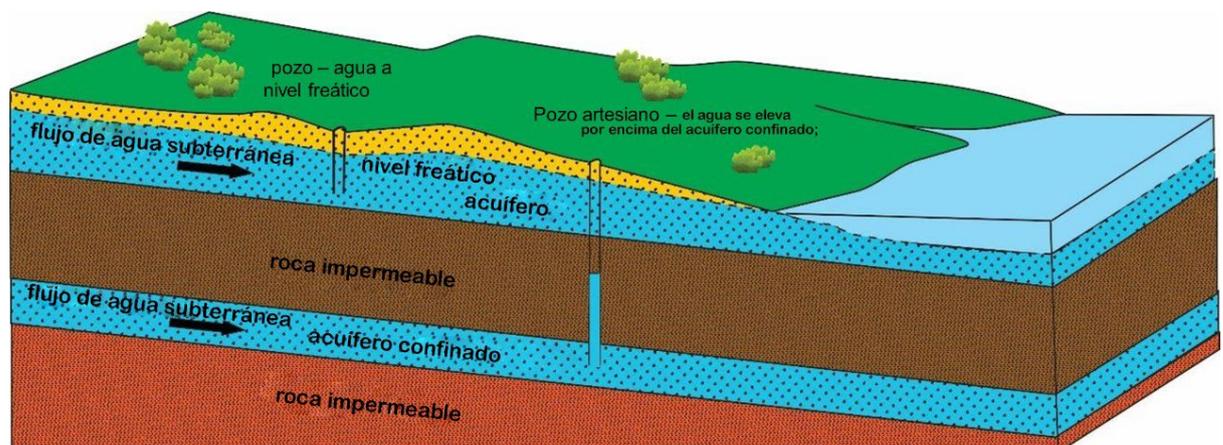
La mayor parte del agua continental restante se encuentra bajo tierra almacenada en los poros de las rocas como agua subterránea o, donde el suelo está congelado como permafrost. Menos del 1% del agua de la Tierra forma todos los lagos, embalses y sistemas fluviales. Un pequeño porcentaje del agua de la Tierra se encuentra en la atmósfera como vapor de agua invisible y como las gotas de agua visible de las nubes. El agua atmosférica se recicla rápidamente, trayendo agua a los continentes a través de la lluvia y otros tipos de precipitación como la nieve y el granizo.

Cuando llueve, parte de la lluvia fluye sobre el suelo en surcos y pequeños arroyos y luego en arroyos y ríos más grandes. Sin embargo, otra parte percola en el suelo, un proceso conocido como **infiltración**. Los animales y las plantas utilizan gran parte de esta agua del suelo y parte de ella es reciclada de regreso a la atmósfera por las plantas. Las plantas toman el agua a través de sus raíces, la mueven por sus tallos y troncos, y la pierden a través de sus hojas como vapor de agua al aire; este es el proceso de **transpiración**.

Un poco de agua se infiltra más en profundidad, hacia la roca madre. El agua fluye a través de la roca hasta que alcanza un nivel donde todos sus pequeños poros están llenos de agua. Esto se llama **la zona saturada** porque está saturada con tanta agua como puede contener. La parte superior de la zona saturada corresponde al **nivel freático**. Si miras hacia abajo en un pozo, es posible que puedas ver la superficie del agua, este es el nivel freático. El agua en la zona saturada se llama **agua subterránea** y fluye hacia zonas más bajas hasta que sale a la superficie nuevamente en un **manantial**, pantano o marisma, o desemboca en un río, lago o el mar. Las aguas subterráneas fluyen bajo la superficie terrestre lentamente, y a veces pueden permanecer en la roca durante miles de años.

Las rocas que contienen agua que puede ser extraída para su uso se denominan **acuíferos**. La mayoría de los acuíferos son abiertos al contacto con el aire, pero a veces la roca que contiene aguas subterráneas se encuentra bajo una capa impermeable (arcillas, por ej.), por lo que entonces el acuífero se convierte en un acuífero confinado y el agua que contiene se denomina **agua artesisana**. Cuando se perforan pozos en acuíferos confinados, el nivel del agua subterránea se eleva al nivel que tenía cuando se confinó por primera vez y se denomina **nivel piezométrico** (Figura 4.36). Si la zona donde fue primero confinado está por encima de la superficie donde se perfora el pozo, el agua fluye hacia afuera a través de un **pozo surgente**.

Figura 4.36. Acuíferos



4.2.1.2 Abastecimiento de agua

El agua puede ser nuestro recurso más importante de todos. Sin agua, la vida es imposible y los humanos no podríamos sobrevivir. El agua es vital para la agricultura y para muchas necesidades industriales, así como para nuestras necesidades domésticas cotidianas. La mayor parte del agua a nivel mundial se utiliza para la agricultura; alrededor de una cuarta parte del consumo mundial de agua corresponde a la industria y sólo alrededor del 8% a los hogares de todo el mundo. Sin embargo, sólo alrededor del 85% de la población mundial tiene acceso al agua potable del grifo. El 15% restante de las personas tiene que recoger su agua de ríos, lagos o pozos, a pesar de que se sabe que el acceso al agua potable es el factor más importante para la salud humana.

El agua del grifo, que proviene de aguas superficiales de ríos y embalses o de aguas subterráneas, debe tratarse para que sea apta para su uso. El tratamiento implica procesos de sedimentación y filtración para eliminar los sedimentos fangosos en suspensión, y procesos químicos y biológicos para eliminar el material orgánico como bacterias, algas y virus.

La mayor parte del agua en la Tierra proviene de fuentes superficiales, aunque alrededor del 40% es agua subterránea extraída de los acuíferos. El agua subterránea se filtra naturalmente a través de la roca madre y, por lo que generalmente es mucho más limpia que el agua superficial. Sin embargo, los suministros comerciales de agua subterránea todavía se someten a tratamientos, aunque la mayor parte del agua extraída directamente de los manantiales o vertientes se puede beber de manera segura. De hecho, gran parte del agua de manantial o vertiente se embotella comercialmente para la venta sin ningún tratamiento.

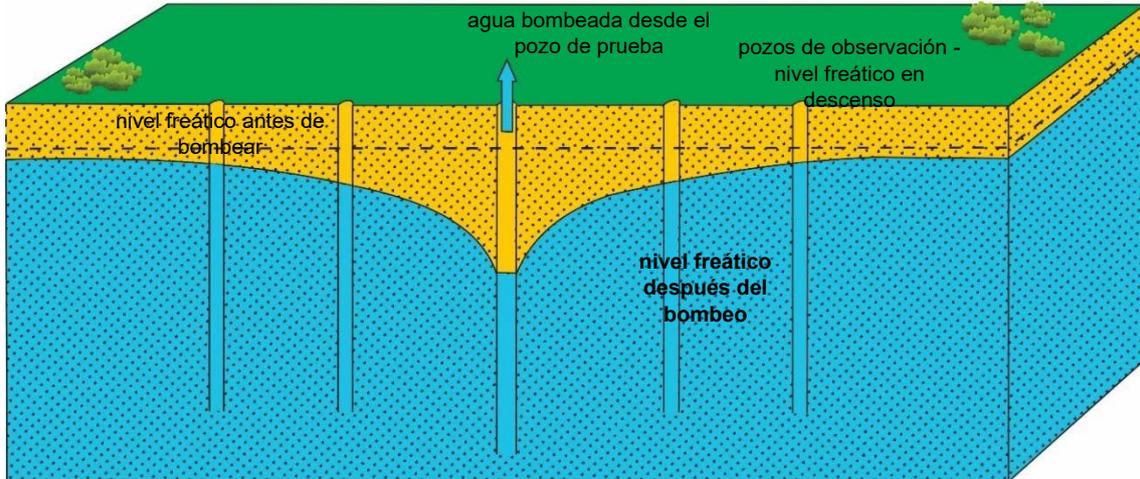
Cuadro 4.11. Agua de manantial vendida comercialmente

Hay una amplia gama de aguas de manantial embotelladas a la venta, también son llamadas aguas minerales.



Los hidrogeólogos exploran en busca de agua estudiando la disposición del terreno y la geología de un área para luego perforar una perforación de prueba llamada **pozo**. Se perforan una serie de pozos de observación en línea a cada lado del pozo de prueba y el agua se bombea desde el pozo de prueba, disminuyendo el nivel freático. Si el descenso ocurre en un área amplia, entonces el agua fluye fácilmente hacia el pozo de prueba y es probable que tenga éxito. Sin embargo, si el área de descenso es pequeña, la roca no es muy permeable y es probable que el pozo no sea confiable como suministro de agua (Figura 4.37).

Figura 4.37. Pruebas de pozos



Cuando un pozo resulta exitoso, el agua necesita ser bombeada desde el pozo para ser aprovechada (a menos que sea un pozo artesiano que fluye sin bombeo). En el pasado el bombeo solía ser manual o con enormes máquinas a vapor. Hoy en día, las bombas manuales todavía se utilizan en zonas rurales, junto con las bombas de viento, pero en otros lugares las aguas subterráneas se bombean utilizando bombas diésel o eléctricas.

Cuadro 4.12. Métodos de bombeo de agua subterránea



Estación de bombeo victoriana, Londres, Inglaterra, contaba con un motor de bombeo a vapor.



Bombas eólicas, Namaqualand, Sudáfrica.



Bomba diésel de agua subterránea usada en la actualidad, Inglaterra



Bomba de mano moderna, estación de tren de Pindial, India

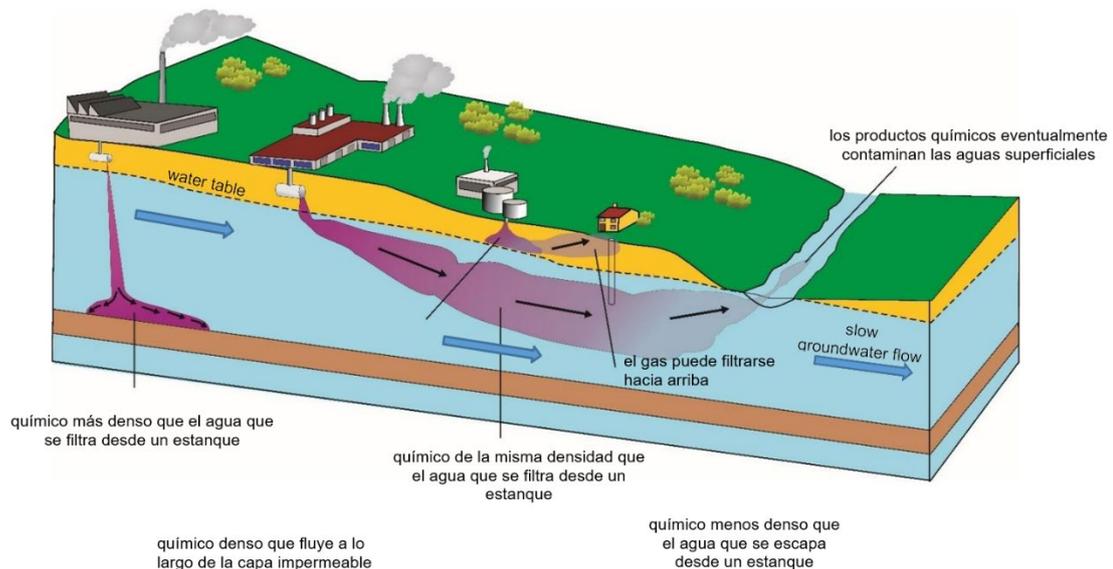
4.2.1.3 Contaminación del agua

Las aguas superficiales y subterráneas pueden contaminarse por fuentes naturales, pero la mayor parte de la contaminación del agua se debe a la actividad humana. La contaminación puede ser por fluidos ligeros (de baja densidad) como los combustibles que flotan en las aguas superficiales o en el nivel freático; por fluidos pesados (alta densidad) que se hunden hasta el fondo de embalses o acuíferos; o por una amplia gama de materiales suspendidos o disueltos en el agua.

Los principales contaminantes de las aguas superficiales provienen de la actividad urbana. Incluyen sal y aceite de las carreteras, contaminación industrial por fugas en tanques de químicos y combustible y desechos de la minería y residuos de limpiadores, detergentes, aceite, pinturas y productos de jardinería desechados por personas a través del desagüe. La agricultura también produce residuos, incluidos desechos animales, fertilizantes y pesticidas.

También existe contaminación en profundidad de las aguas subterráneas. Ésta puede provenir de vertederos urbanos, de alcantarillas y fosas sépticas con filtraciones, de tuberías industriales y de pozos mal construidos en zonas urbanas y rurales (figura 4.38).

Figura 4.38. Plumas de contaminación de aguas subterráneas.



Los geólogos ambientales trabajan para prevenir la contaminación tanto de las fuentes superficiales como de las subterráneas. Buscan áreas con rocas impermeables para disponer la eliminación de desechos, de modo que los fluidos generados por estos no se filtren y contaminen los suministros de agua; también monitorean los sitios de eliminación de desechos industriales y de vertederos para detectar posibles filtraciones. La protección del medio ambiente puede incluir la recolección regular de muestras de agua superficial para su testeo por posible contaminación, además del monitoreo de pozos de prueba alrededor de sitios de potencial contaminación. Cuando se produce contaminación de las aguas subterráneas es posible limpiarlas, pero los métodos de remediación son muy costosos.

4.2.2 Agua oceánica

Actualmente el océano y el agua de mar cubren más de dos tercios de la superficie terrestre, aunque ha habido momentos en el pasado geológico en que los océanos cubrían áreas mucho mayores o mucho más reducidas. Los principales océanos profundos de la Tierra incluyen a los océanos Pacífico, Atlántico, Índico, Ártico y Sur, además existen muchos mares en las plataformas continentales.

4.2.2.1 Composición del agua

El agua de mar contiene alrededor de 3,5% de sales disueltas, por lo que la salinidad del agua de mar normal es del 3,5%. Las sales están compuestas principalmente por iones de sodio y cloro, pero también incluyen magnesio, calcio, potasio, carbonato de hidrógeno, sulfato y otros iones menores. Estos iones han sido traídos al mar por los ríos durante el pasado geológico lejano y se han ido concentrando allí.

Cuando el agua dulce de los ríos se mezcla con el agua de mar, la salinidad se reduce y el agua se vuelve salobre. En otros lugares, en mares poco profundos con fuerte evaporación, la eliminación del agua hace que la salinidad aumente hasta que el agua eventualmente se sobresatura tanto en sales que comienza la formación de cristales en el fondo marino. El agua de mar tiene un sabor desagradable, pero el agua de mar sobresaturada tiene un sabor realmente horrible y puede picarte los ojos.

El agua dulce es menos densa que el agua salada, de modo que cuando las aguas de los ríos desembocan en el mar, su agua flota en la superficie sin mezclarse durante un largo tiempo. Por lo general, hay un límite claro entre el agua dulce de arriba y el agua de mar más salina de abajo.

4.2.2.2 Mareas

Las zonas costeras se ven afectadas por las mareas, que son causadas por la atracción gravitatoria de la luna y el Sol vinculada a la rotación de la Tierra.

Figura 4.39. Marea baja y marea alta- Puente Humber, Inglaterra

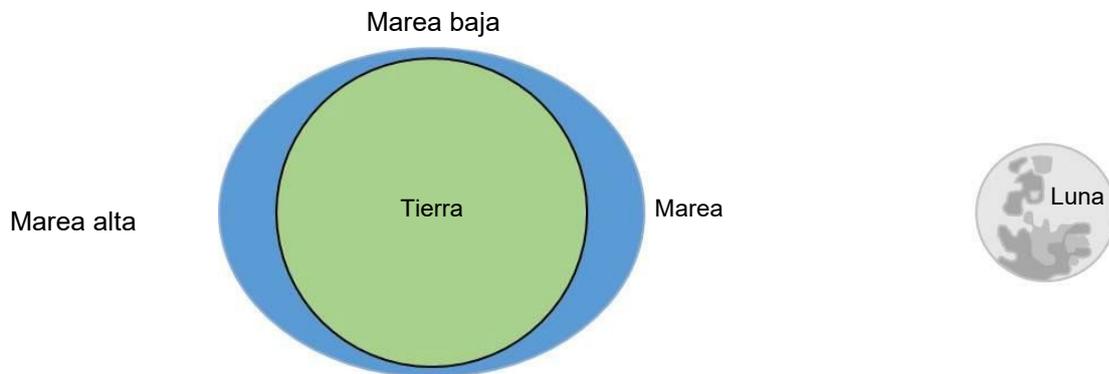


La mayoría de las zonas costeras experimentan cada día dos mareas altas separadas por dos mareas bajas. La marea sube como una marea de inundación durante varias horas hasta que alcanza su nivel más alto, la marea alta. Luego, la marea disminuye lentamente hasta que alcanza su punto más bajo, la marea baja, antes que el ciclo comience de nuevo. Las mareas ascendentes y descendentes mueven la zona del oleaje hacia arriba y hacia abajo de las playas y en las áreas costeras rocosas. Mientras tanto, las llanuras mareales se inundan por agua bastante tranquila, antes de que se drene, dejándolas expuestas nuevamente.

La causa principal de las mareas es la atracción gravitatoria de la luna. La atracción de la luna causa una marea alta en el lado de la Tierra en la que se encuentra la luna, y en el lado opuesto también, con mareas bajas en el medio, como se muestra en la Figura 4.40. La mayoría de las áreas experimentan dos mareas altas y dos bajas por día. Dado que el tiempo para que esto

suceda es de alrededor de 25 horas, el patrón de marea se mueve alrededor de una hora cada día.

Figura 4.40. La luna provocando protuberancias de marea

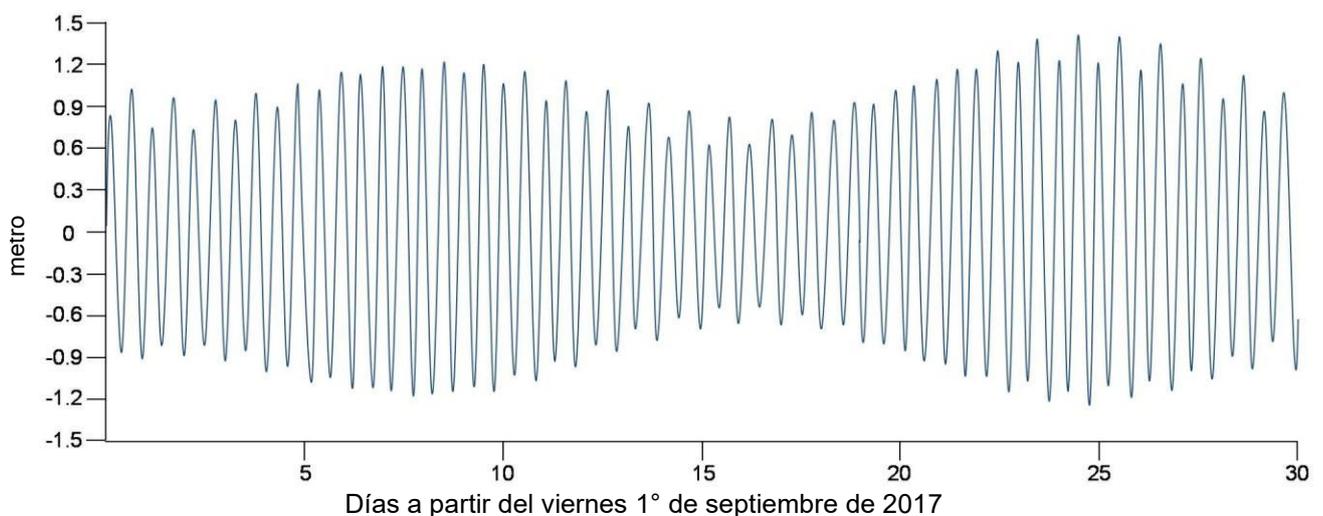


Marea baja

Aunque el Sol está mucho más lejos, es mucho más grande que la luna y también tiene un efecto. Esto significa que cuando la luna y el Sol están alineados, hay una mayor atracción, con mareas altas más altas y mareas bajas más bajas -estas son las llamadas **mareas vivas**. Sin embargo, cuando la atracción de la luna y el Sol están en ángulo recto entre sí, su atracción gravitacional general se reduce, con mareas altas más bajas y mareas bajas más altas, las **mareas muertas**.

El resultado para la mayoría de las zonas costeras es un gráfico de mareas como el que se muestra en la figura 4.41. El gráfico muestra que cada día tiene dos mareas bajas y dos altas, pero que la marea alta es más alta, y la marea baja es más baja, alrededor de los días 8 y 25, estos son los días de las mareas vivas. Las mareas muertas ocurren alrededor de los días 3 y 16. Si deseas ver las playas en su mayor extensión y los fangos de llanura mareal, visita la costa durante la marea viva baja. Sin embargo, si desea ver la mayor erosión costera de las costas escarpadas, visite las mareas vivas más altas, cuando las mareas traen las olas más altas en la playa y los acantilados. Al mismo tiempo, las llanuras de marea están completamente inundadas

Figura 4.41. Cambios de marea – un ejemplo de Bridgeport, Connecticut, EE. UU



4.2.2.3 Olas

Cuando observas olas a la orilla del mar, parece como si estuvieran moviendo enormes volúmenes de agua. Sin embargo, si observas algo flotando más allá de la línea del oleaje, verás que simplemente se mueve hacia arriba y hacia abajo y apenas se mueve hacia los lados. Esto se debe a que a medida que pasa una cresta de ola, el agua sube y avanza un poco, mientras que a medida que pasa el valle de la ola, cae y se mueve hacia atrás un poco, de modo que el agua superficial simplemente se mueve en un círculo vertical. Más profundo, debajo de cada ola, el agua se mueve en círculos más pequeños hasta que la ola muere en profundidad. Por lo tanto, aunque las olas en los océanos abiertos tormentosos pueden tener muchos metros de altura, no causan ningún movimiento horizontal general del agua.

A medida que las olas llegan a la costa, la fricción con el fondo marino aumenta, por lo que el fondo de la ola se ralentiza, haciendo que la ola crezca más alto. Eventualmente se vuelve lo suficientemente alto como para colapsar hacia adelante en una rompiente. Cuando las rompientes son altas, son buenas para el surf. Cuando la rompiente colapsa en la playa, una avalancha de agua la inunda, pero posteriormente fluye de nuevo por la gravedad, hasta que llega la siguiente ola.

Figura 4.42. Olas – grandes y pequeñas



Las olas son causadas por los vientos que soplan sobre la superficie del mar en el océano abierto. La fricción entre el viento y el agua hace que las olas pequeñas se eleven siendo empujadas hacia adelante por el viento. Así, cuanto más extenso es el tiempo y mayor es la extensión del océano sobre el cual sopla el viento, más grandes se vuelven las olas; los vientos más fuertes también producen olas más grandes. Las mejores playas de surf, por lo tanto, con las olas más grandes, se encuentran frente a los océanos abiertos.

Las olas y las mareas trabajan juntas para producir una serie de características costeras.

Tabla 4.24. Características costeras producidas por las olas y las mareas.

Proceso	Descripción	Imagen	Referencia
Formación de una playa de tormenta	Cuando una tormenta coincide con la marea viva, una marejada ciclónica empuja las olas de tormenta aún más arriba de lo normal, construyendo un banco de gravas y bloques en la parte posterior de la playa.		Una playa de tormenta en la parte posterior de la playa de Veluga en Batanes en Filipinas

Formación de una llanura mareal	<p>Durante las mareas altas, y particularmente en las mareas vivas, las llanuras mareales están cubiertas por agua; el fango se asienta en el agua tranquila formando una capa cada vez que la superficie se inunda; las capas se van acumulan con el tiempo en las llanuras mareales.</p>		<p>Fangos de llanura mareal cerca de Palau Melaka, ciudad de Malacca, Malaysia</p>
Formación de una flecha	<p>Cuando las olas golpean una playa en un ángulo, el frente de olas que colapsa empuja la arena diagonalmente hacia arriba de la playa, pero la ola fluye directamente hacia abajo, llevando la arena de vuelta. De esta forma la arena se mueve constantemente a lo largo de la playa en un movimiento zigzagueante (como los dientes de una sierra). Al final de la playa, la arena es llevada al mar, formando una flecha.</p>		<p>Vista satelital de la Flecha de Farewell en el extremo norte de la Isla Sur, Nueva Zelanda</p>

4.2.2.4 Circulación de fluidos a gran escala en la Tierra

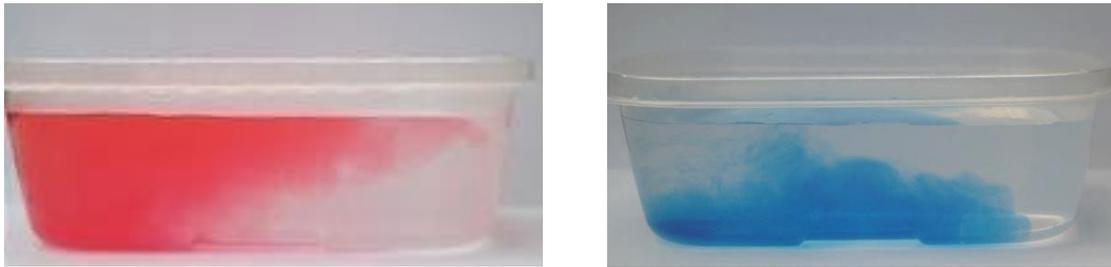
Tanto los océanos como la atmósfera son fluidos y las fuerzas que actúan sobre estos son similares produciendo efectos semejantes.

Cuando ambos tipos de fluido (agua y aire) se calientan, se vuelven menos densos que el fluido circundante y por lo tanto se elevan; cuando alcanzan condiciones superiores y más frías, fluyen hacia afuera. En los océanos, esto significa que el agua que se ha calentado en las regiones tropicales fluye como corrientes a través de la superficie del océano. A medida que el agua caliente fluye, el agua más fría desde abajo se eleva; esta agua es a menudo rica en nutrientes y por lo tanto estas son áreas de una fértil vida oceánica. Mientras tanto, en la atmósfera el aire caliente ascendente ejerce menos presión sobre la superficie de la Tierra, causando **baja presión**. El aire caliente se eleva y fluye hacia afuera en la atmósfera superior. Estos flujos de fluidos son parte de la convección.

Cuando los fluidos se enfrían se vuelven más densos y se hunden. En los océanos, el agua más fría se encuentra en las regiones polares. Esta agua fría se hunde y fluye sobre el fondo oceánico profundo. En la atmósfera, el aire frío se hunde, causando alta **presión**. Cuando llega a la superficie terrestre, fluye a través de ésta hacia áreas de baja presión; este flujo superficial de aire es el **viento**. Estos flujos completan el ciclo de convección.

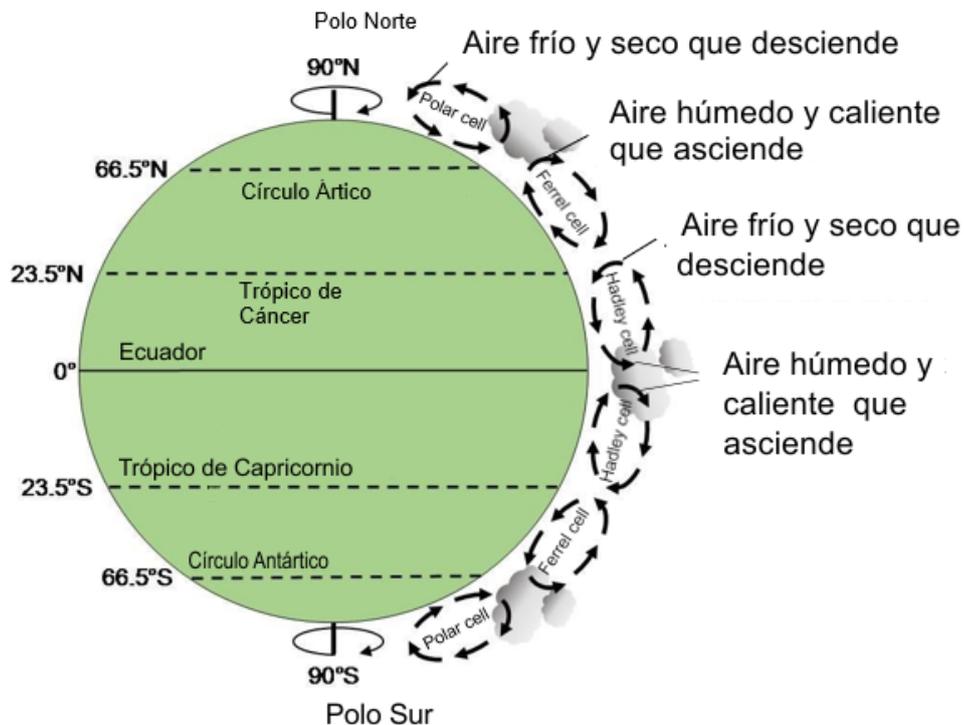
Los flujos de fluidos calientes y fríos también ocurren a escalas mucho más pequeñas. A menudo se puede ver el brillo del aire caliente que se eleva sobre un calentador o en un incendio; lo contrario sucede si abres un congelador vertical con los pies descalzos, puedes sentir el aire frío fluyendo hacia abajo sobre tu piel. Si te estás bañando y agregas más agua caliente, normalmente se puede sentir como ésta fluye sobre la superficie, mientras que, si se agrega agua fría, fluye a través de la parte inferior del baño y no es tan agradable (Figura 4.43).

Figura 4.43. Corriente cálida de color rojo que fluye sobre la superficie; corriente fría de color azul que fluye sobre la parte inferior, ambas en una caja de plástico.



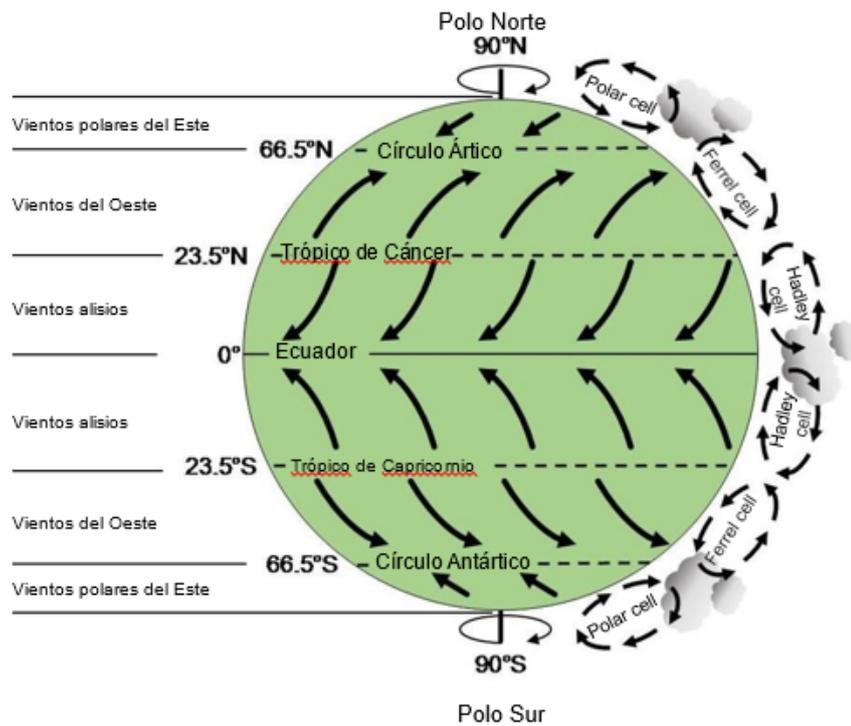
Las zonas ecuatoriales al ser muy cálidas tienen aire ascendente y baja presión. El aire cálido que fluye a través de la atmósfera superior se vuelve más frío y se hunde sobre las zonas desérticas subtropicales, como se muestra en la figura 4.44. Cuando este aire que se hunde llega al suelo, parte de él fluye de regreso hacia el Ecuador para completar la circulación tropical/subtropical llamada la **célula de Hadley**. Pero parte del aire que se hunde, fluye hacia los polos. A medida que cruza los mares cálidos, se vuelve más cálido y eventualmente se eleva. En la atmósfera superior, parte del aire fluye de vuelta hacia el Ecuador para completar la célula de **circulación de Ferrel**. Sin embargo, algunas ráfagas se mueven hacia los polos, volviéndose más fríos a medida que lo hacen. Finalmente se hunden sobre los polos y fluyen hacia el Ecuador por la superficie terrestre, completando la célula de **circulación polar**.

Figura 4.44. Circulación de masas de aire en la Tierra



Este simple patrón de circulación atmosférica se ve afectado por la rotación de la Tierra. Los flujos de aire en el hemisferio norte se desvían en el sentido de las agujas del reloj, mientras que los del hemisferio sur se desvían en sentido antihorario. Esto da un patrón generalizado de circulación de vientos superficial como se ve en la figura 4.45.

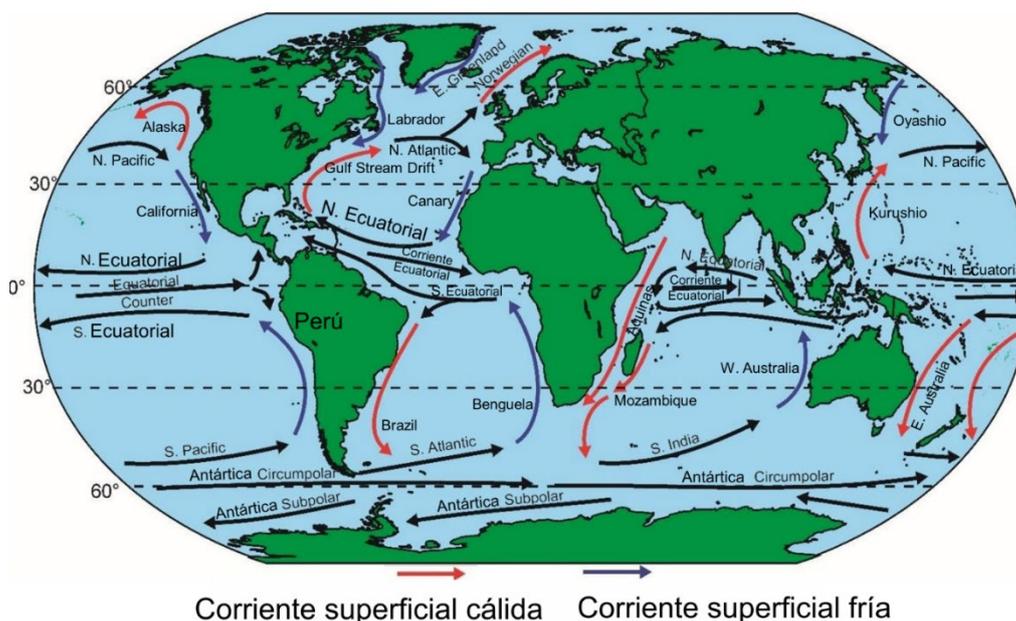
Figura 4.45. Patrón generalizado de viento superficial en la Tierra



Los vientos superficiales generales en la base de la célula de Hadley son los Vientos Alisios del Este. Los que están en la parte inferior de la célula de Ferrel son los vientos del Oeste (vientos que soplan desde el oeste) y los vientos superficiales de la célula polar son los Vientos Polares del Este.

Los vientos globales se arrastran sobre la superficie del océano, haciendo que se mueva en la dirección en la que sopla el viento y aumentando la dirección natural del flujo: en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido antihorario en el hemisferio sur. Así, las principales corrientes oceánicas superficiales giran en el sentido horario en el hemisferio norte y en sentido antihorario en el hemisferio sur, impulsadas por la rotación de la Tierra (Figura 4.46).

Figura 4.46. Circulación oceánica superficial



Cuadro. 4.13. Corrientes oceánicas y la isla más contaminada de la Tierra

La isla Henderson ubicada en el sur del Océano Pacífico está deshabitada y es una de las islas más alejadas de todos los continentes. La científica Jennifer Lavers, quien dirigió una expedición a la isla en 2015, se sorprendió por la cantidad de contaminación plástica que se había acumulado allí. Ella dijo: "He visto mucho plástico en mis viajes, en algunos de los lugares más remotos, pero la Isla Henderson encabeza la lista. La cantidad de plástico es realmente alarmante y te quita el aliento". La expedición encontró hasta 671 piezas de plástico por cada metro cuadrado de playa y estimó que las playas de toda la isla contenían más de 37 millones de trozos de escombros, la peor contaminación plástica registrada en el mundo. Se está dañando gravemente la vida silvestre: una tortuga fue encontrada estrangulada por una cuerda de plástico y los cangrejos ermitaños estaban haciendo sus hogares en contenedores plásticos de cosméticos.

La contaminación se acumula cerca del centro del Giro del Pacífico Sur. Esta corriente oceánica superficial circula en sentido antihorario en el sur del Océano Pacífico, llevando restos flotantes hacia el centro.

Jennifer Alvers agregó: "Una vez que el plástico está en el océano, es prácticamente imposible sacarlo con la tecnología actual. La atención debe centrarse en evitar que llegue allí en primer lugar". Ella vio muchos cepillos de dientes plásticos y mencionó que los cepillos de dientes bambú y fibra de madera cuestan lo mismo que los de plástico, pero no contaminarían la Tierra durante cientos de años. Todo el mundo debería dejar de tirar basura en las playas y usar menos plástico cambiando a materiales menos dañinos.



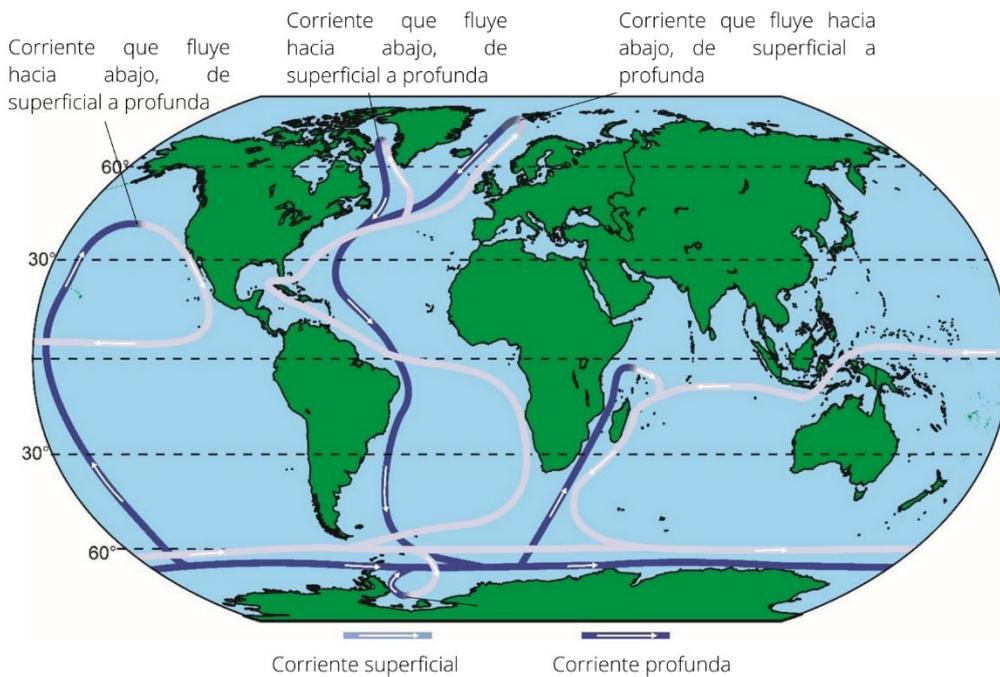
Corrientes oceánicas circulantes en el norte y sur del Océano Pacífico.



La playa contaminada de la deshabitada isla de Henderson en el remoto Océano Pacífico sur

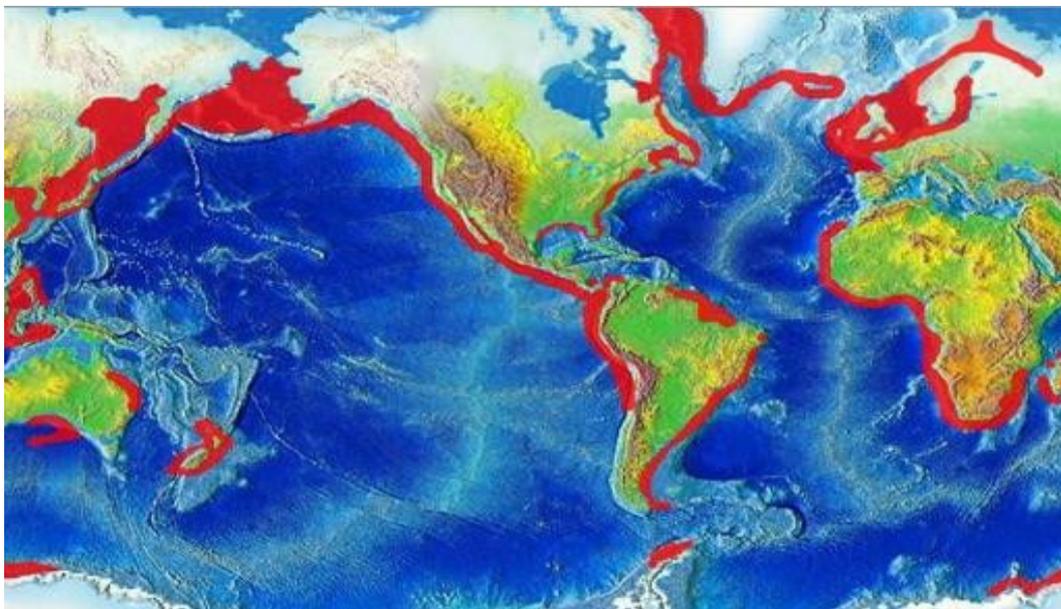
Las corrientes oceánicas superficiales se vinculan con las profundas. Donde las corrientes oceánicas cálidas fluyen hacia los polos, se vuelven más frías y salinas debido a la evaporación. Esto aumenta su densidad, por lo que se hunden cerca de los polos por su densidad. Esto produce el patrón de circulación superficial-profundo que se muestra en la Figura 4.47.

Figura 4.47. Patrón de circulación de superficial a profunda en los océanos de la Tierra.



La surgencia de aguas oceánicas profundas, frías y ricas en nutrientes son causada por los vientos que arrastran las aguas superficiales más cálidas, dando lugar a floraciones de plancton; estos proporcionan el alimento en las mejores zonas de pesca de la Tierra, como se muestra en la Figura 4.48.

Figura 4.48. Las mejores zonas de pesca, en rojo, producidas por la surgencia de aguas frías y profundas del océano.



Estas interacciones muestran cuán estrechamente están interrelacionados los sistemas de la Tierra. El flujo de aire atmosférico, o viento, impulsa las corrientes oceánicas superficiales, mientras que el océano calienta el aire, contribuyendo a la circulación atmosférica. Entonces la surgencia oceánica de agua rica en nutrientes causa abundante vida marina. La atmósfera, la hidrosfera y la biosfera están clara y estrechamente unidas por estos procesos.

4.3 Atmósfera

La atmósfera terrestre, al igual que las otras esferas, es crítica para la vida en la Tierra. La atmósfera tiene varias capas, pero la capa más importante para la vida es la capa más baja, la troposfera; esta es la más oxigenada y tiene la temperatura adecuada para la vida. La troposfera tiene alrededor de 16 km de espesor en el Ecuador, adelgazando hacia los polos. Si la corteza terrestre es equivalente en grosor a un sello postal pegado a un balón de fútbol, entonces la troposfera es como un sello postal de medio espesor pegado en la parte superior. La capa sobre la troposfera también es importante porque contiene ozono, que nos protege de la dañina radiación ultravioleta del Sol (Figuras 4.49 y 4.50).

Figura 4.49. La Tierra “mármol azul” muestra la fina capa de atmósfera en morado en su parte exterior



Figura 4.50. El transbordador espacial Endeavour orbitando en la atmósfera exterior, mostrando la troposfera en naranja y la capa blanca que contiene ozono



4.3.1 Composición atmosférica

A medida que la Tierra primitiva se fue enfriando hace más de 4000 Ma, las atmósferas tempranas que se haya formado fueron barrida por el viento solar y la Tierra fue bombardeada por meteoritos. Pero, a medida que el bombardeo disminuyó, la intensa actividad volcánica agregó agua, dióxido de carbono y otros gases como nitrógeno, metano y azufre a una nueva atmósfera. Gran parte del agua cayó como lluvia, formando los primeros océanos.

Esta atmósfera primitiva no contenía oxígeno. Hace unos 2500 Ma, las primeras bacterias que realizaban fotosíntesis fueron evolucionando en los océanos. Las bacterias absorbieron el dióxido de carbono de la atmósfera y liberaron oxígeno a través de la fotosíntesis (Figura 4.51). El primer oxígeno formado reaccionó con otros materiales como el hierro, por lo que no fue hasta aproximadamente 200 Ma más tarde que el oxígeno libre comenzó a acumularse en la atmósfera.

Figura 4.51. Bacterias oceánicas microscópicas, que absorben el dióxido de carbono, liberando oxígeno a través de la fotosíntesis



El oxígeno libre en la atmósfera hizo de la superficie terrestre un ambiente oxidante por primera vez, pero no fue hasta fines del Precámbrico- comienzos del Cámbrico hace 541 Ma, que los animales que usan oxígeno se volvieron abundantes en la Tierra. Desde entonces los porcentajes de los diferentes gases que componen la atmósfera han seguido cambiando. La atmósfera actual contiene 78,09% de nitrógeno; 20,95% de oxígeno; 0,93% de argón y 0,04% de dióxido de carbono, con pequeñas cantidades de otros gases. También contiene una cantidad variable de vapor de agua que puede llegar a ser más del 4%, pero esto no se incluye en los cálculos porcentuales de los gases atmosféricos porque es muy variable.

La humedad es la medida de la cantidad de vapor de agua en el aire. Cuando el aire alcanza el 100% de humedad, no puede contener más vapor de agua. Entonces el gas invisible comienza a cambiar de estado, a pequeñas gotas de agua líquida (en condensación, niebla, niebla, rocío o nube). Las gotas pueden reunirse para formar gotas de agua o cristales de hielo, que caen como lluvia u otro tipo de precipitación. El aire muy húmedo se siente desagradable si hace calor o frío, por lo que las personas generalmente prefieren las condiciones de aire seco.

4.3.2 Flujo atmosférico

El flujo de aire global es impulsado por la desigualdad en el calentamiento del aire que causa diferencias de densidad, sumado al giro de la Tierra, como se muestra en la sección 4.2.2.4 anterior.

Estos son factores clave en los flujos de aire más locales también. Las masas de aire caliente se elevan a través de las regiones de la Tierra; mientras lo hacen, la rotación de la Tierra hace que giren, en sentido antihorario en el hemisferio norte y en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur. Estas masas de aire ascendente, que causan baja presión sobre la superficie terrestre, se denominan ciclones. En la base de los ciclones, en la superficie terrestre, el aire fluye hacia adentro como vientos en espiral que son recogidos durante la formación de nubes de la Figura 4.52.

Figura 4.52. Las nubes en espiral de un ciclón cerca de Islandia el 4 de septiembre de 2003



Las nubes se forman porque el aire ascendente se enfría y el aire más frío puede contener menos agua que el aire más cálido. El agua forma gotas de nubes, que luego producen lluvia o nieve. Así que los ciclones normalmente causan condiciones ventosas y húmedas.

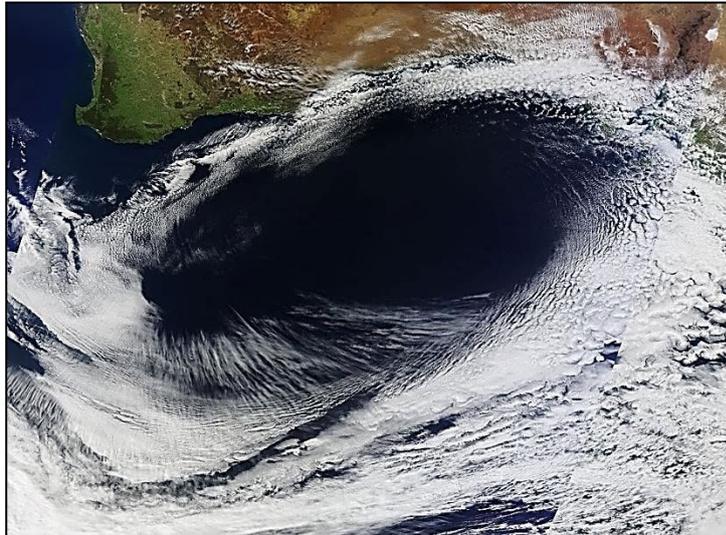
Cuando los ciclones se desarrollan sobre el mar en zonas tropicales, el mar cálido contiene mucho calor que puede convertir a los ciclones en huracanes o tifones mucho más grandes (Figura 4.53). Cuando los huracanes y tifones golpean tierra traen vientos huracanados y lluvias muy fuertes. Los fuertes vientos pueden obligar a que el agua de mar entre en la costa en marejadas ciclónicas que pueden ser muy perjudiciales cuando coinciden con mareas altas.

Figura 4.53. Huracán Isabel en el Océano Atlántico Norte en 2003, con el ojo característico en el centro. Se registraron vientos altamente dañinos de 265 km/h con muchos milímetros de lluvia caída.



En otros lugares, las masas de aire frías que se hunden también giran, en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en la dirección opuesta en el sur. Estos anticiclones son zonas de alta presión (Figura 4.54). El aire que se hunde suavemente en las áreas de alta presión causa vientos más ligeros que los ciclones y poco viento en los centros. A medida que el aire se hunde, se calienta y puede contener cantidades cada vez mayores de vapor de agua, por lo que los anticiclones tienen pocas nubes o lluvia.

Figura 4.54. Un anticiclón cerca del sur de Australia en 2012. Los vientos y las estelas de nubes giran en espiral en sentido contrario a las agujas del reloj (en el hemisferio norte lo harían en espiral en el sentido de las agujas del reloj), pero el aire que se hunde y se calienta no produce nubes en el centro.



A escalas aún más pequeñas, el hundimiento del aire frío puede atrapar la contaminación, el humo y las nubes debajo, lo que puede ser muy desagradable en algunas ciudades (Figura 4.55). En otras áreas, el fuerte calentamiento de la tierra puede causar remolinos de aire caliente ascendente llamadas térmicas, donde las aves y los planeadores pueden elevarse durante muchas horas (Figura 4.56).

Figura 4.55. Contaminación por smog en Shanghái, China, atrapada bajo el aire frío que se hunde.



Figura 4.56. Un parapente cerca de Reichenburg, Suiza, utilizando corrientes térmicas para la elevación.

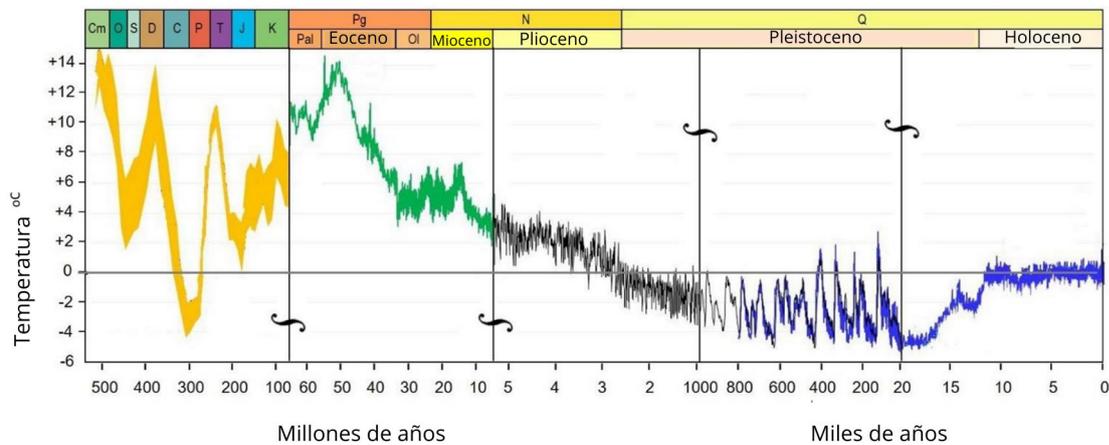


A una escala aún menor, el humo aumenta porque es transportado hacia arriba por el aumento de las corrientes de aire caliente por encima de los incendios. Por el contrario, si te paras al pie de un glaciar en un día tranquilo, sentirás remolinos de aire frío descendente desde el glaciar fluyendo hacia abajo alrededor tuyo.

4.3.3 Cambio atmosférico

La evidencia de varias fuentes diferentes muestra que la temperatura media de la superficie terrestre ha cambiado mucho en el pasado. La figura 4.57 tiene cinco gráficos que muestran cómo se cree que la temperatura ha variado por encima y por debajo de 0 en el gráfico, siendo la temperatura media actual de la superficie de 14°C. El primer gráfico muestra el cambio de temperatura de 540 a 65 Ma, el segundo de 65 a 6 Ma, el tercero de 6 a 1 Ma, el cuarto de 1 Ma a 20.000 años y el gráfico final de los últimos 20.000 años.

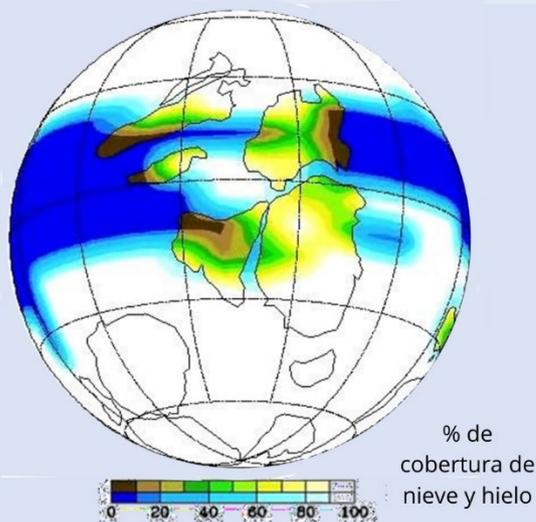
Figura 4.57. Temperatura media pasada de la superficie terrestre (°C) como lo demuestra la evidencia de varios indicadores. Se trazan cinco gráficos, de extremo a extremo, que muestran el cambio en períodos de tiempo cada vez más cortos, hasta el día de hoy. El cero (0°C) en los gráficos corresponde a la temperatura media actual de la Tierra (15°C).



Los gráficos muestran que en el pasado geológico las temperaturas medias más altas estaban más de 10°C por encima de la temperatura actual (incluso a veces más de 14°C); las menores temperatura estuvieron 5°C por debajo de las mínimas de hoy. A las temperaturas actuales los polos están congelados, lo que demuestra que cuando las temperaturas eran más bajas en el pasado, las glaciaciones deben haber sido mucho más amplias. Los gráficos muestran glaciaciones extendidas o **condiciones de periodos fríos** en el Pleistoceno y en el Carbonífero/Pérmico. También hay evidencia de **condiciones de periodos fríos** en los períodos Ordovícico/Silúrico y de dos glaciaciones en el Precámbrico, antes del inicio de los gráficos de la Figura 4.57. La edad de hielo precámbrica tardía fue la más grande que la Tierra ha experimentado; toda la Tierra puede haber estado cubierta completamente de hielo (“snowball” o Tierra bola de nieve) o condiciones glaciares menos severas cercanas al Ecuador (“slushball” o Tierra bola de aguanieve).

Cuadro 4.14. ¿Tierra bola de nieve o Tierra bola de aguanieve?

La teoría de la Tierra bola de nieve se basa en la evidencia de que entre 650 y 635 Ma rocas sedimentarias depositadas por capas de hielo cubrieron continentes que, según las mediciones paleo magnéticas, estaban cerca del Ecuador. Esta idea se vería reforzada si se pudiera demostrar que todos los depósitos sedimentarios que se formaron en ese momento eran de origen glacial. Pero esto es muy difícil de probar, ya que no hay fósiles disponibles hasta la fecha en las rocas sedimentarias depositadas en ese periodo de tiempo (ya que la vida con partes duras aún no habría evolucionado y normalmente no se encontraría en depósitos glaciares de todos modos). También hay evidencia sedimentaria de que habría algunas áreas de aguas abiertas en ese momento (sin hielo). Muchos geocientíficos creen más probable una idea de la Tierra bola de aguanieve (con aguas abiertas en los mares cercanos al Ecuador) que con la de la Tierra bola de nieve. Sin embargo, hay buena evidencia de que la Tierra experimentó una glaciación muy severa hace alrededor de 640 Ma.



Simulación computacional de la cobertura de hielo durante el periodo de la Tierra bola de nieve

Uno de los procesos que se cree que han desencadenado las glaciaciones en todo el mundo es la retroalimentación positiva del efecto albedo, descrito en la sección 1.3 de este libro. A medida que las capas de hielo crecían, reflejaban más y más la radiación del Sol, enfriando la Tierra y causando mayor crecimiento de la capa de hielo, hasta que gran parte del planeta estaba cubierto por hielo.

El final de esta severa edad de hielo puede haber sido provocado por volcanes que emitieron grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, causando un calentamiento a gran escala a través del efecto invernadero.

Entre los períodos muy fríos, hubo momentos en que la Tierra era mucho más cálida que hoy en día, particularmente en el Paleoceno/Eoceno, el Permo-Triásico, el Devónico y el Cámbrico. Estos tiempos, en los que no existían capas de hielo extendidas mundialmente, a menudo se denominan "condiciones invernadero"

Figura 4.58. Extracción de un testigo de hielo desde un pozo realizado en el hielo.

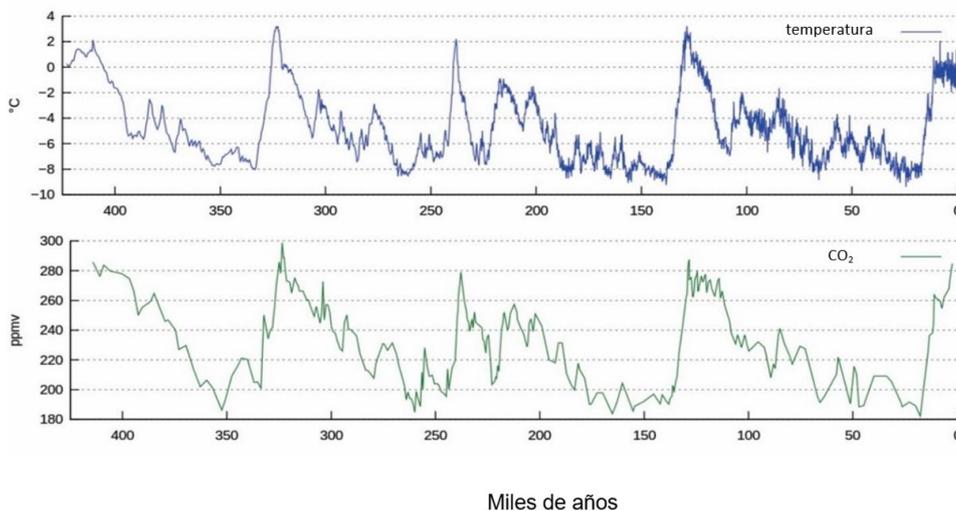


A lo largo del tiempo geológico, la energía total que llega a la Tierra desde el Sol ha ido en aumento, por lo que podríamos esperar que las temperaturas globales también muestren un aumento constante. Dado que no ha habido un aumento constante en la temperatura media de la Tierra, otros factores deben estar teniendo un efecto.

Los testigos de hielo dan pistas de los principales factores que afectan a la temperatura de la Tierra. Los pozos se perforan en las partes más gruesas de las capas de hielo polar para extraer testigos de hielo (Figura 4.58). Los datos obtenidos de ellos se pueden utilizar para mostrar la temperatura, así como el contenido, de diferentes gases en la atmósfera en el momento en que se formó esa capa de hielo.

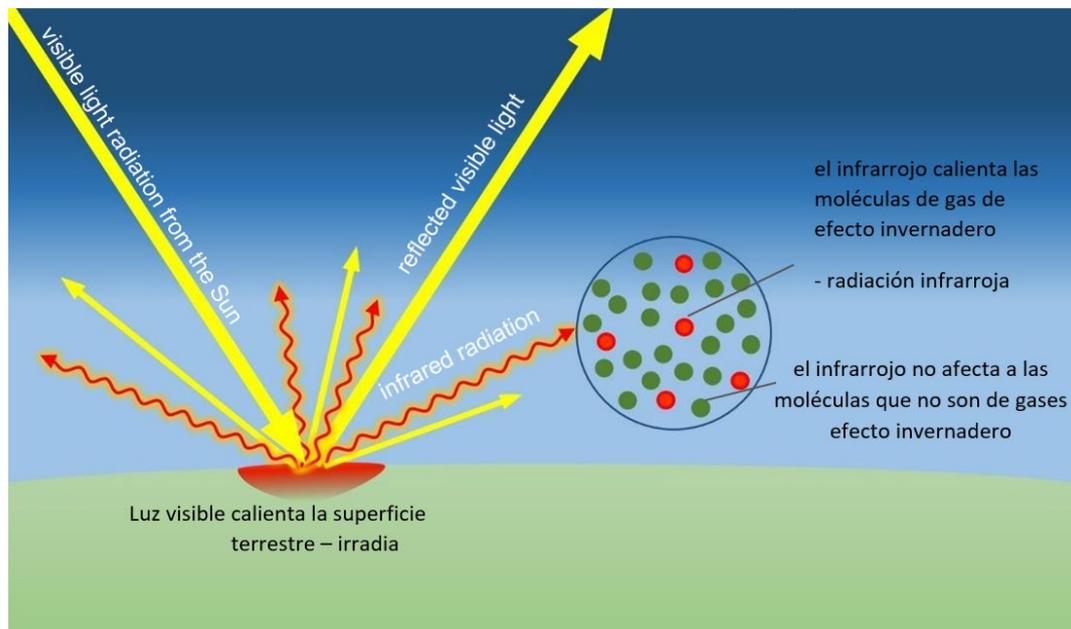
La figura 4.59 muestra gráficos de la temperatura y el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera en los últimos 400.000 años. Los gráficos muestran una conexión muy estrecha entre la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y la temperatura de la Tierra. Mientras que algunos geocientíficos argumentan que es la temperatura de la Tierra lo que causa el cambio en los niveles de dióxido de carbono, la mayoría de los científicos de la Tierra piensan lo contrario, creyendo que los cambios en los niveles de dióxido de carbono causan los cambios en la temperatura de la Tierra. Por lo tanto, es ampliamente aceptado que los altos niveles de dióxido de carbono causan altas temperaturas de la Tierra.

Figura 4.59. Gráficos del cambio de temperatura y variación en CO₂ en la atmósfera de los últimos 400.000 años registrada en el testigo de hielo Vostok de la Antártida (ppmv = partes por millón de CO₂ en la atmósfera por volumen)



El vínculo entre la temperatura de la Tierra y la cantidad de dióxido de carbono (y otros gases clave) en la atmósfera se denomina **efecto invernadero**, como se muestra en la Figura 4.60.

Figura 4.60. Efecto invernadero (la radiación infrarroja es calor)



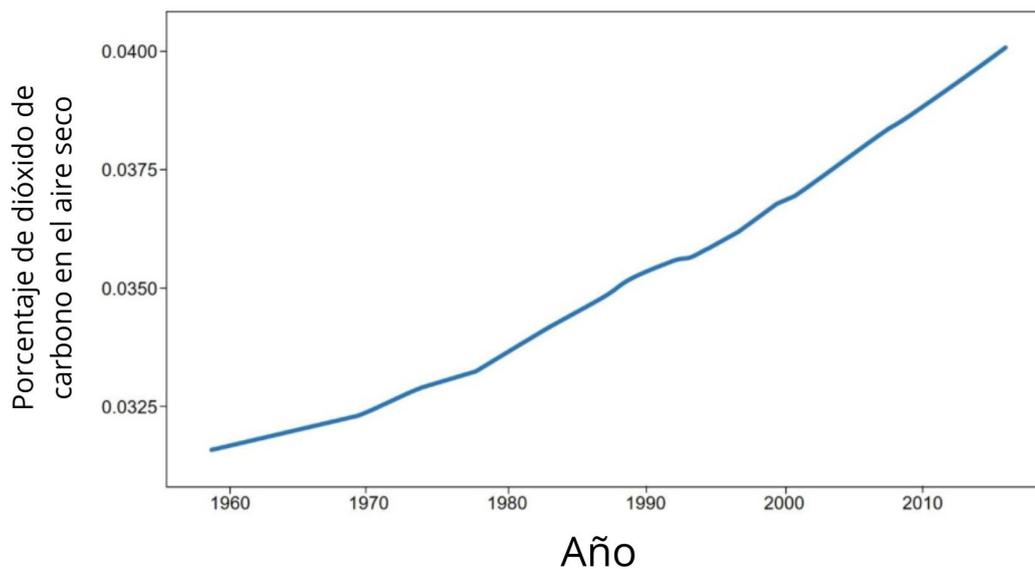
La radiación del Sol llega a la Tierra como luz visible. Parte de esto se refleja de nuevo en el espacio, pero parte es absorbida por la superficie terrestre y se refleja como calor o radiación infrarroja. Parte del calor re-irradiado pasa a través de la atmósfera y hacia el espacio, pero parte es absorbido por los gases de efecto invernadero, lo que hace que la atmósfera sea más cálida. Cuantos más gases de efecto invernadero hay en la atmósfera, más caliente se vuelve, calentando la Tierra a su vez. El gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera de la Tierra es el vapor de agua, seguido por el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera varía todo el tiempo y las cantidades de metano y óxido nítrico son pequeñas, por lo que el principal gas que afecta a la Tierra a largo plazo parece ser el dióxido de carbono.

Si no hubiera gases de efecto invernadero en la atmósfera, toda la radiación del Sol se volvería a irradiar, y la Tierra sería tan fría que estaría permanentemente congelada. Por esto es por lo que necesitamos el efecto invernadero, para que la Tierra esté lo suficientemente caliente para que exista la vida. El problema surge cuando se añaden gases de efecto invernadero adicionales a la atmósfera que causan el **efecto invernadero aumentado**. Parece ser que los períodos muy cálidos del pasado de la Tierra (condiciones de invernadero) están relacionados con altos niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos pueden estar relacionados con períodos de actividad tectónica activa que causan un aumento de la actividad volcánica, liberando los gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, el cambio climático parece estar estrechamente relacionado con las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Esta es la razón por la que a los científicos les preocupa que

esté aumentando la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera. Esta concentración de CO₂ ha sido monitoreada desde el observatorio ubicado en la cima del tranquilo volcán Mauna Loa, en Hawái, desde 1958. Estas mediciones muestran un aumento constante observado en la figura 4.61.

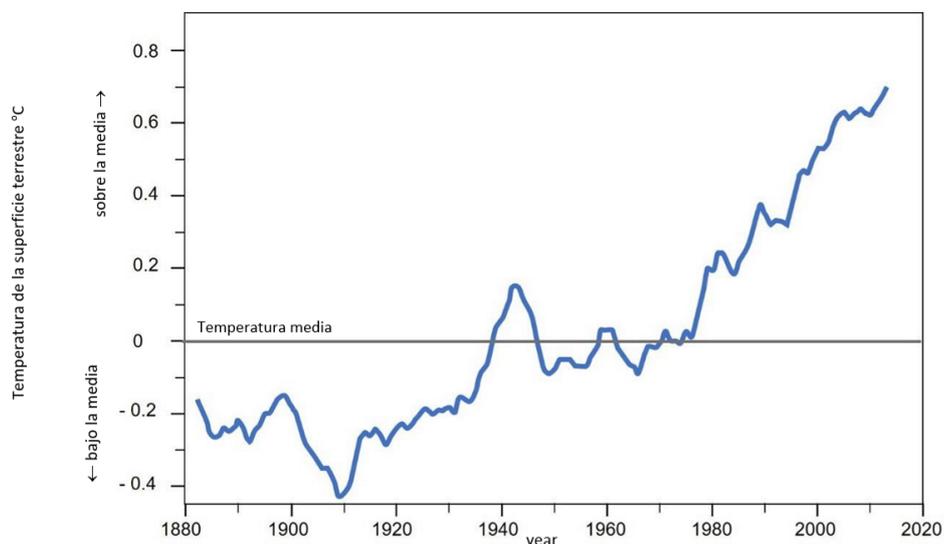
Figura 4.61. Cambio en los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera desde que comenzaron las mediciones en 1958, medido desde el observatorio de Mauna Loa (Hawái). Mauna Loa alta fue elegida el sitio para estas observaciones porque se encuentra en un área elevada lejos de las masas continentales. Las mediciones no están relacionadas con ninguna actividad volcánica.



La mayoría de los científicos piensan que este registro del aumento constante en el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera se debe principalmente a que los humanos queman combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural, junto con la deforestación a gran escala de áreas de la selva tropical. La quema de combustibles fósiles libera dióxido de carbono adicional a la atmósfera y la destrucción de la vegetación deja menos plantas disponibles para eliminar y almacenar dióxido de carbono a través de la fotosíntesis. Si bien sabemos que los océanos pueden absorber parte del dióxido de carbono adicional de la atmósfera, los científicos continúan investigando cuánto se puede absorber y cómo esto podría afectar a los océanos.

Este aumento constante en el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera parece estar relacionado con el aumento bastante constante de la temperatura de la Tierra que ha sido medida desde la década de 1960, que se muestra en el gráfico que contiene datos compilados por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en los EE. UU., que se muestra en la figura 4.62.

Figura 4.62. Cambio en la temperatura de la superficie terrestre, a partir de datos compilados por la NASA.



Por lo tanto, a medida que aumenta el dióxido de carbono en la atmósfera, muy probablemente debido a la actividad humana, la Tierra se está volviendo más cálida. Una Tierra más cálida podría parecer una buena idea para las personas que viven en países más fríos, pero una Tierra que se calienta constantemente podría causar grandes problemas, como se prevé en la tabla 4.25.

Tabla 4.25. Problemas que probablemente sean causados por el calentamiento global.

Problema potencial	Efecto probable
Se puede alcanzar un "punto de inflexión" (como se describe en la Sección 1.3) donde los bucles de retroalimentación positiva hacen que la Tierra se vuelva mucho más cálida	Todos los problemas de la siguiente tabla serían mucho mayores.
Los océanos más cálidos aportan más calor a la atmósfera	El calor oceánico impulsa las tormentas, por lo que la Tierra podría volverse mucho más tormentosa
Las condiciones más cálidas aumentan las tasas de evaporación y condensación.	Los cambios en el ciclo del agua significan que algunas áreas del planeta se vuelven más húmedas y otras más secas.
Los casquetes polares terrestres se derriten e incorporan agua a los océanos	Los aumentos del nivel del mar provocan inundaciones adicionales en las zonas bajas, especialmente durante las tormentas
Las aguas del océano se expanden a medida que se calientan	La expansión de las aguas oceánicas contribuye al aumento del nivel del mar
El aumento del nivel del mar reduce las áreas de tierra disponibles para la agricultura y la industria	Puede ocurrir una migración masiva de poblaciones humanas, en busca de tierras más favorables en áreas del mundo ya pobladas.
El calentamiento de los océanos afecta el volumen y la velocidad de las corrientes oceánicas con efectos en los océanos y la atmósfera.	Las corrientes oceánicas redistribuyen el calor en la Tierra; el cambio de estas corrientes puede hacer que algunas regiones sean más cálidas y otras más frías.
Los cinturones climáticos se mueven hacia los polos	El movimiento de los cinturones climáticos hace que algunas especies prosperen en nuevas áreas, pero otras mueran.

El agua del océano se vuelve más ácida a medida que disuelve el dióxido de carbono

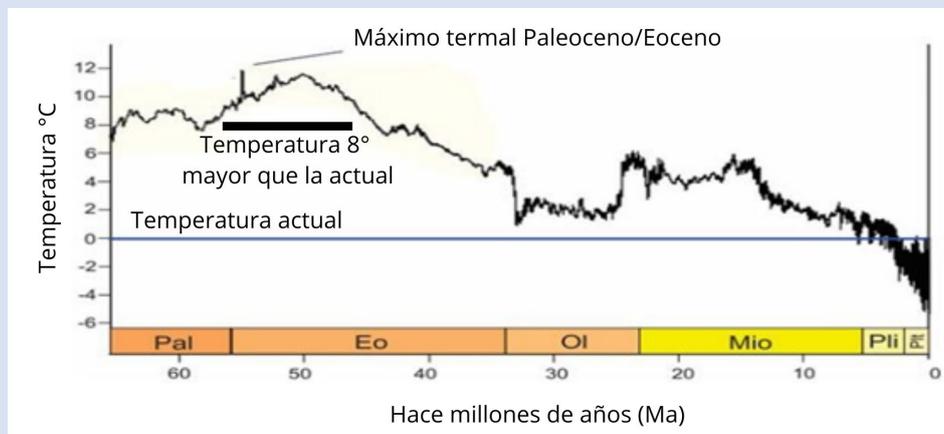
Especies como los corales que no pueden adaptarse a aguas más ácidas mueren, junto con las comunidades del arrecife.

Puede haber algunas ventajas en el calentamiento de la Tierra, como la posibilidad de cultivar nuevas especies en áreas más cercanas a los polos, un mayor crecimiento forestal alentado por el dióxido de carbono adicional y el paso marítimo por el noroeste de Canadá hacia el norte se vuelve viable para el transporte marítimo en el verano. Sin embargo, la mayoría argumentaría que las desventajas superan fuertemente las posibles ventajas.

La Tierra ha sido sometida a un fuerte calentamiento global en el pasado, como lo fue durante el Paleoceno/Eoceno, y ha sobrevivido. Sin embargo, la supervivencia de los humanos y de una amplia gama de otras especies en esas condiciones es muy dudosa.

Cuadro 4.15. La Tierra durante el máximo termal del Paleoceno/Eoceno

Durante las condiciones de invernadero en el límite entre el Paleoceno y el Eoceno temprano, hace unos 56 Ma, existe evidencia que la Tierra era hasta 12 grados más cálida que hoy y se mantuvo más de 8 grados más caliente durante casi 10 millones de años. Esto probablemente estuvo relacionado con la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera en ese momento, aunque los geocientíficos están investigando muy activamente este período de alta temperatura, porque podría arrojar algo de luz en los estudios actuales sobre el cambio climático.



Temperatura de la Tierra (°C) comparada con la temperatura actual, en los últimos 65 Ma

No había capas de hielo en la Tierra en este momento y la expansión del océano cálido contribuyó al aumento del nivel del mar que inundó muchas áreas continentales bajas. La evidencia fósil muestra que los bosques cubrían toda la Tierra, desde el Ecuador hasta los polos, aparte de algunas áreas más secas. Las selvas tropicales crecieron en América del Norte y Europa y las palmeras en el Ártico. Evolucionaron nuevas especies de mamíferos, pero en su mayoría eran especies enanas muy pequeñas, probablemente porque éstos se adaptan mejor a las condiciones de calor que los animales más grandes. Los reptiles eran abundantes, particularmente pitones y tortugas. Los insectos eran comunes. Hubo grandes cambios en los océanos. Mientras que muchas

especies microscópicas que vivían en el fondo se extinguieron, florecieron los organismos planctónicos cerca de la superficie del mar. Los cálidos océanos estaban repletos de peces y otras formas de vida marina. Era un mundo muy diferente al actual.

Los gráficos de la temperatura de la Tierra, particularmente durante los últimos millones de años, como se muestra en las Figuras 4.57 y 4.59, muestran ciclos regulares de cambio de temperatura. Se cree que estos están relacionados con la cantidad de radiación solar recibida por la Tierra, debido principalmente a cambios regulares en la forma en que la Tierra gira y rota alrededor del Sol. Sin embargo, los efectos de invernadero modernos pueden tener incluso más impacto que los cambios regulares causados en esos tiempos.

4.4 Biósfera

Cuanto más estudiamos la vida en la Tierra, más descubrimos cómo los procesos de la biósfera están estrechamente interrelacionados con la geósfera, la hidrósfera y la atmósfera. También hemos descubierto cómo pequeños cambios en una parte de uno de estos sistemas pueden producir grandes cambios en los otros.

4.4.1 Evolución

William Smith había demostrado que los fósiles en las rocas siempre se encontraban en la misma secuencia (ver Sección 3.2), pero los científicos no sabían por qué sucedía esto. En 1858, Charles Darwin y Alfred Russel Wallace propusieron una teoría que explicaba por qué las secuencias de fósiles cambiaban de esta manera; esta es la teoría de la evolución.

La teoría de la evolución se basa en tres observaciones científicas sobre la biósfera:

- 1) los organismos individuales (como animales, plantas, fósiles) son diferentes entre sí;
- 2) algunos individuos están mejor adaptados para sobrevivir y reproducirse que otros; y
- 3) muchas de las características de los individuos se transmiten de una generación a la siguiente.

Estos dieron como resultado un proceso que hizo que grupos de animales y plantas cambiaran con el tiempo, o evolucionaran, lo que Darwin llamó selección natural. Más tarde se denominó la "supervivencia del más apto", donde los organismos mejor equipados para sobrevivir producen descendencia, mientras que los menos aptos mueren. La evolución fue, por primera vez, capaz de explicar la mayor parte de la gran cantidad de observaciones que se habían hecho sobre la vida en la Tierra.

Ahora sabemos cómo se pueden explicar las tres observaciones científicas de la evolución:

- 1) los individuos se diferencian entre sí porque la reproducción sexual hace que cada individuo tenga un conjunto único de genes;
- 2) algunas combinaciones de los genes de un individuo le dan una mejor oportunidad de supervivencia que otras; por ejemplo, algunas combinaciones de genes pueden dar a un animal patas más largas,

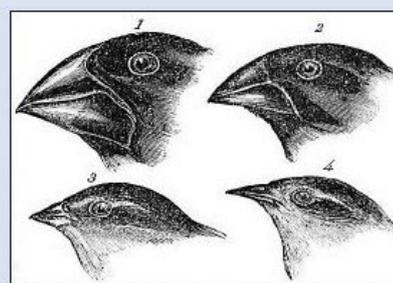
permitiéndole correr más rápido; otras combinaciones de genes pueden hacer que un árbol tenga un tronco más grueso, lo que le permite crecer más alto;

3) durante la reproducción sexual en plantas y animales, la mitad de los genes provienen de un padre y la otra mitad del otro; la mitad de los genes recibidos de un padre llevan algunas de las características del padre a la siguiente generación.

La evidencia del registro fósil muestra que algunos tipos de vida parecen evolucionar constantemente, mientras que otros muestran que un grupo evoluciona repentinamente hacia un grupo diferente. Los saltos evolutivos repentinos parecen ocurrir cuando un grupo de animales o plantas se separa del resto de su grupo, por ejemplo, en una isla o en la cima de una cadena montañosa. En estas condiciones, cuando una planta o un animal desarrolla una nueva característica, no se pierde al cruzarse con otros individuos principales, sino que puede conservarse y desarrollarse a lo largo de las generaciones.

Cuadro 4.16. Charles Darwin y la evolución

En 1831, Charles Darwin se unió al viaje de exploración del velero HMS Beagle como naturalista, un científico que estudia geología y biología. Durante el viaje alrededor del mundo de casi cinco años, Darwin registró una enorme cantidad de observaciones de la geología, los fósiles y la vida silvestre de los países que visitó recolectando muchos especímenes. Más tarde se demostró que algunas de las aves que recolectó de las Islas Galápagos en el Océano Pacífico oriental eran tipos de pinzones. Estas aves se habían adaptado a diferentes estilos de vida en diferentes islas con adaptaciones especiales en sus picos para permitirles comer nueces, frutas o gusanos. Darwin razonó que probablemente una especie de pinzón había llegado originalmente a las islas desde la parte continental de América del Sur, pero que, a medida que se mudaban a diferentes islas, se aislaron y evolucionaron de manera diferente en especies distintas. Esta y otras observaciones similares fueron un importante desencadenante de su pensamiento sobre la evolución.



Después del viaje en 1839, Darwin publicó su libro de observaciones, incluidos sus estudios de rocas volcánicas y su experiencia de un terremoto de magnitud 8,5 en Chile. No fue hasta 20 años después, en 1859, que publicó su libro sobre la teoría de la evolución, llamado 'Sobre el origen de las especies'.

Las diferentes distribuciones de los continentes resultantes del movimiento de las placas han tenido efectos importantes en la evolución de la vida en la Tierra. Cuando todos los continentes estaban juntos en un supercontinente, había pocas áreas terrestres aisladas y muy pocas posibilidades de un salto

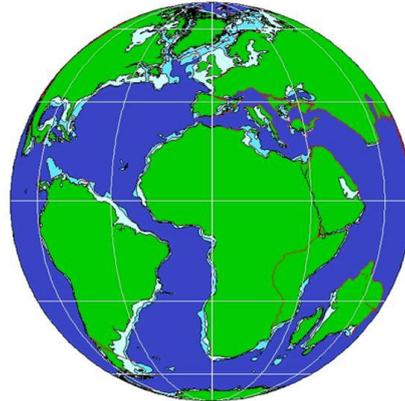
evolutivo. Mientras tanto, alrededor de las costas del supercontinente, las áreas de mar poco profundo se interconectaron nuevamente, lo que también redujo las oportunidades de evolución.

En otras épocas, cuando los continentes se separaron, se produjeron saltos evolutivos en las masas de tierra separadas y en los mares poco profundos separados. Un ejemplo son los cambios evolutivos que le han dado a Nueva Zelanda una mezcla única de vida silvestre.

Figura 4.63. Mapa de los continentes hace 280 Ma, durante tiempos del Pérmico, con un supercontinente que une áreas terrestres y mares poco profundos interconectados (evolución más lenta).

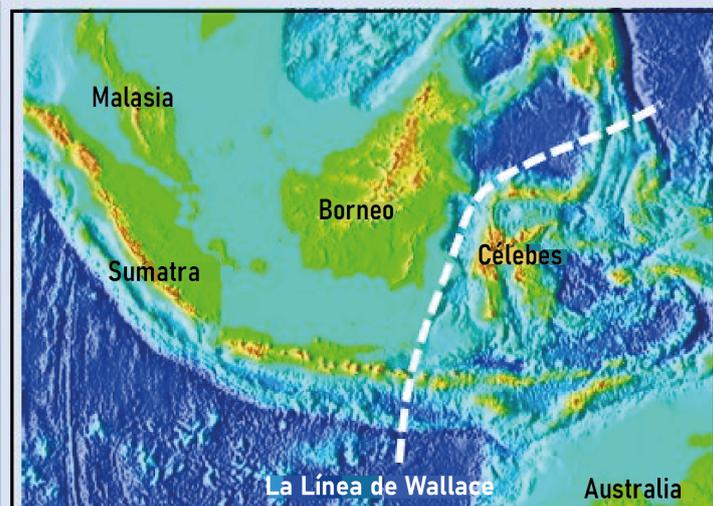


Figura 4.64. Mapa de los continentes hace 85Ma, durante el Cretácico, con continentes separados y mares poco profundos (evolución más rápida).



Cuadro 4.17. La línea de Wallace

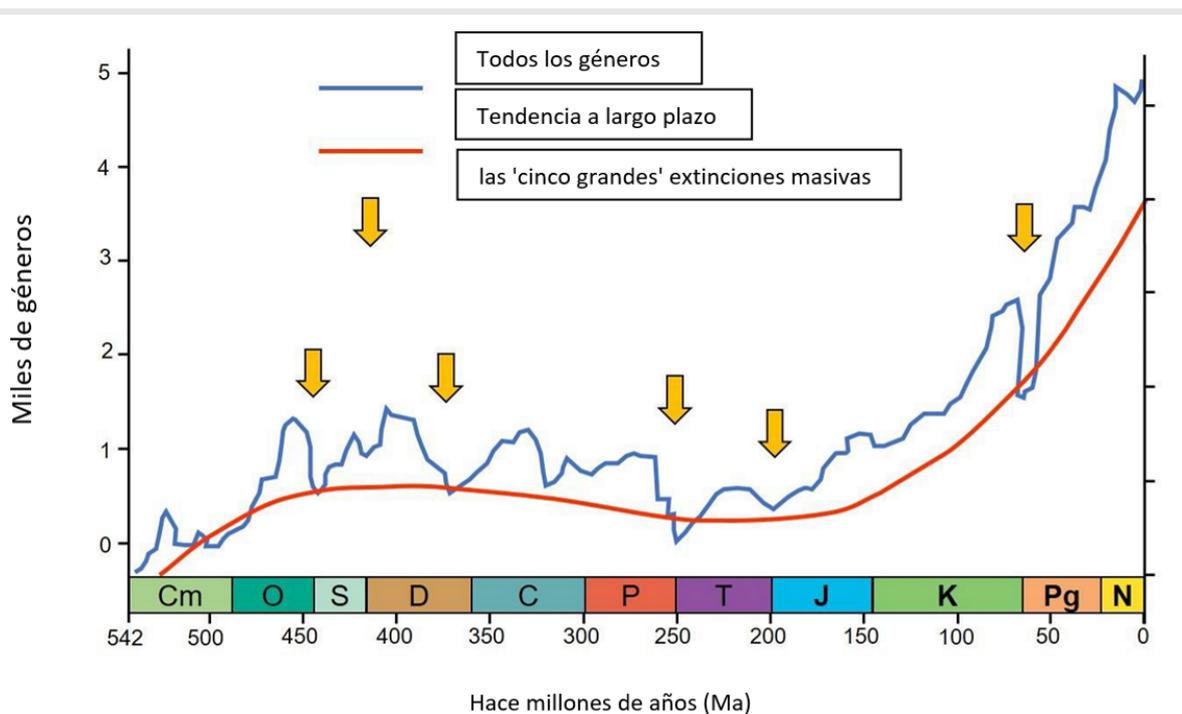
Alfred Russell Wallace, quien codesarrolló la teoría de la evolución con Charles Darwin, reunió sus ideas durante sus amplios viajes, primero en el área amazónica de América del Sur y luego en el sudeste asiático. Identificó la línea en el sureste de Asia, ahora llamada Línea de Wallace, que separa a los animales principalmente asiáticos al oeste de una mezcla de animales asiáticos y de Australasia al este. Esto lo llevó a pensar en cómo estos diferentes grupos de animales podrían haberse formado primero, y así lo llevó a desarrollar la teoría de la evolución. Cuando Australasia se separó de Asia en el pasado geológico, diferentes grupos de animales evolucionaron en las diferentes regiones.



La secuencia global de rocas registra episodios de extinción masiva, donde muchos grupos diferentes se extinguieron al mismo tiempo. De hecho, se definieron los límites estratigráficos de cada uno de los principales períodos geológicos desde el Cámbrico, donde un evento de extinción masiva provocó cambios importantes en el registro fósil. Por lo general, antes de un evento de extinción masiva, la vida parecía progresar normalmente. Luego, en el evento, una amplia gama de grupos se extinguió repentinamente. Después del evento, los grupos que sobrevivieron se convirtieron en una serie de nuevos grupos, probablemente porque no hubo competencia de los grupos que se habían extinguido. Entonces, además de causar la extinción de muchos grupos, las extinciones masivas también desencadenaron la evolución posterior de muchos grupos nuevos.

En los últimos 450 millones de años, ha habido cinco grandes extinciones masivas donde más del 60% de todas las especies murieron, pero la mayor fue al final del período Pérmico cuando se extinguió más del 90%.

Figura 4.65. Tendencia a largo plazo de la vida en la Tierra y principales extinciones, como lo muestra el número de géneros (agrupaciones biológicas que contienen un número de especies).



Se han presentado muchas teorías diferentes para explicar las extinciones masivas; estos incluyen enormes erupciones volcánicas, caídas globales del nivel del mar, impactos de asteroides y grandes cambios en el clima (enfriamiento y calentamiento). A veces, varios de estos eventos, junto con otros cambios importantes, parecen haber ocurrido al mismo tiempo.

Cuadro 4.18. La extinción masiva de la "gran mortandad"

Al final del período Pérmico (y el comienzo del Triásico) hace 252 Ma, más del 90% de todas las especies de la Tierra se extinguieron. Hasta el 96% de todas las especies marinas se extinguieron, con importantes extinciones de animales terrestres e insectos también. Las condiciones devastadoras durante esta extinción masiva son casi imposibles de imaginar: no solo se extinguió tanta vida animal y vegetal en la tierra, sino también en los océanos, cuando "casi toda vida murió".

Se han propuesto muchas ideas para explicar esta "gran mortandad", incluida la extrusión de enormes volúmenes de lava basáltica, que ocurrió en el momento de la extinción y habría liberado enormes cantidades de ceniza y gas volcánico a la atmósfera. La ceniza habría bloqueado la luz solar, deteniendo la fotosíntesis, mientras que la liberación de dióxido de carbono volcánico habría provocado el calentamiento global y la acidificación de los océanos.

La extinción masiva puede haber sido provocada por un asteroide que golpeó la Tierra, pero si esto fue así, y el sitio del impacto fue en los océanos, el sitio probablemente ya habría desaparecido, ya que el fondo del océano es reciclado por la tectónica de placas. Sin embargo, tampoco parece haberse conservado ninguna otra evidencia de un impacto importante de esa época, por lo que parece poco probable una explicación de la colisión de asteroides para este evento.



Hojas de árbol y vainas de semillas de Glossopteris: encontradas solo antes del evento de la "gran mortandad"

Cuadro 4.19. La extinción masiva del K-Pg

En 66 Ma, el final de los periodos Cretácico y el comienzo del Paleógeno, las tres cuartas partes de la vida en la Tierra se extinguieron. No sobrevivieron grandes anfibios, grandes reptiles (incluidos los dinosaurios, pero sin incluir los cocodrilos) o grandes mamíferos. Los grupos marinos también fueron devastados. Las amonitas se extinguieron, junto con muchos grupos de peces, tiburones y plancton.

Las condiciones en ese momento deben haber sido devastadoras, con tantas plantas y animales en la tierra y en el mar desapareciendo en muy poco tiempo.

Se ha sugerido una variedad de ideas científicas para explicar un evento tan repentino y dramático, incluidas las enormes erupciones volcánicas de los basaltos de Deccan Traps (en lo que ahora es India), el aumento del nivel del mar, el cambio climático o una combinación de estos.

Cuando se descubrió en la década de 1980 que el límite K-Pg está marcado en muchas secuencias de rocas por una capa de arcillita rica en el elemento Iridio, se propuso la idea

de que un asteroide habría chocado con la Tierra. Los asteroides son ricos en Iridio, pero la Tierra no. Poco después se descubrió el cráter de Chicxulub en el Golfo de México en Centroamérica. Se cree que este cráter de 180 km de ancho y 20 km de profundidad es el lugar del impacto de un asteroide de al menos 10 km de diámetro. La evidencia adicional del impacto la proporcionan el "cuarzo impactado" (cristales de cuarzo deformados por una presión repentina) y las perlas de vidrio (tectitas) de rocas derretidas y expulsadas por la colisión. Los científicos están casi seguros de que la colisión de un asteroide causó el cráter, pero aún se debate acaloradamente si esa colisión causó la extinción masiva de K-Pg., o contribuyó a ella, o tuvo poco efecto en la vida en la Tierra en ese momento.

La extinción masiva de K-Pg dejó muchos hábitats casi vacíos, lo que brinda oportunidades para un repentino estallido de evolución después del evento de extinción. Las aves, los peces y los mamíferos en particular evolucionaron en muchos grupos nuevos; los mamíferos se convirtieron en caballos, murciélagos, ballenas y primates.



Tyrannosaurus rex: uno de los últimos grupos de dinosaurios encontrados antes de la extinción masiva del K-Pg. Geólogos recolectando muestras en el límite K-Pg., Wyoming, EE. UU.

La extinción masiva del Cretácico/Paleógeno a menudo se denomina extinción masiva K-Pg porque, en la columna geológica, el período Cretácico se puede abreviar como 'K' (la letra 'C' se usó más abajo en la columna para 'Carbonífero') y el Paleógeno se abrevia como 'Pg' (ya que 'P' se había usado previamente para el período 'Pérmico') (Figura 4.65). De manera confusa, la extinción masiva K-Pg solía llamarse extinción masiva K-T antes de que se subdividiera la T ("Terciaria"). Una de las subdivisiones se llamó "Paleógeno" y el término "Terciario" ya no se usa formalmente.

Las extinciones masivas no solo han tenido efectos negativos, puesto que cada extinción masiva genera nuevos hábitats disponibles para nuevos estallidos de evolución. Entonces, sin la extinción en general y la extinción masiva en particular, la evolución no hubiera podido producir la enorme diversidad de vida en la Tierra que se tiene en la actualidad.

4.4.2 Impacto en otros sistemas

Parece que cuanto más estudiamos los sistemas de la Tierra, más descubrimos los efectos vitales que tiene la vida en ellos. La biosfera ha tenido efectos importantes en la evolución de todo el planeta.

Por ejemplo, la meteorización de las rocas implica una serie de procesos. La congelación-descongelación y el calentamiento y enfriamiento tienen efectos físicos al romper la roca en pedazos más pequeños. Las plantas también tienen muchos efectos físicos, desde las raicillas de los líquenes que separan los granos de roca, hasta el movimiento de las raíces de los árboles en las tormentas que levantan los rodados de las paredes rocosas. De manera similar, los efectos químicos de la lluvia ácida y la oxidación en la descomposición química de las rocas se ven incrementados por la vida en el suelo que agrega dióxido de carbono adicional a la lluvia, lo que hace que el agua del suelo sea aún más ácida y capaz de atacar las rocas. La materia orgánica en descomposición también produce ácido, lo que se suma al contenido de ácido del agua, con una variedad de otros efectos de descomposición bioquímica. El suelo se forma solo donde hay vida que incorpora material vegetal y animales del suelo. Por lo tanto, donde hay poca vida, como en las zonas polares o desiertos secos, no hay suelo.

La vida también juega un rol importante en la formación de rocas, tanto como en su meteorización tal como se muestra en la Tabla 4.26. Alrededor del 10% de todas las rocas que se encuentran en la superficie de la Tierra son calizas, y la mayoría de ellas resultan de procesos biológicos. Por lo tanto, la vida es muy importante para la formación de rocas.

La vida también ha producido todos nuestros suministros de combustibles fósiles. El carbón se forma como se describe en la Tabla 4.26 y durante su formación libera gas natural o metano. El petróleo se forma principalmente por la descomposición de diminutas plantas y animales planctónicos depositados sucesivamente en los lodos del fondo marino.

Tabla 4.26. La contribución de la vida a la formación de rocas

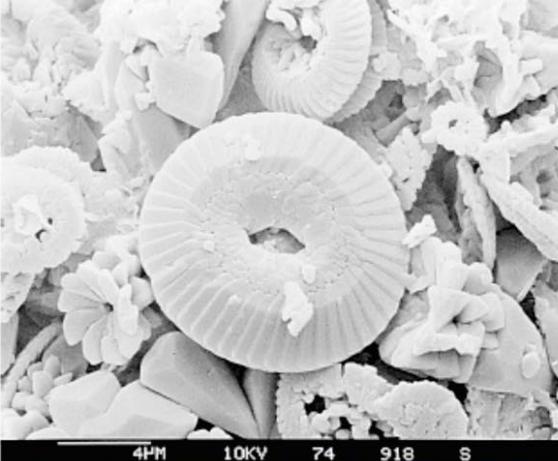
Proceso	Descripción	Imagen	Recurso
Formación de carbón	Cuando hay abundante vida vegetal y las plantas mueren, se caen en un ambiente sin oxígeno no se descomponen por completo; primero forman turba y luego, por enterramiento, carbón		Fósiles de hojas en carbón carbonífero
Formación de arrecifes en calizas	Los corales y otros animales construyen actualmente arrecifes y también lo han sido en el pasado geológico; son importantes contribuyentes a la formación de caliza		Coral fósil del Pleistoceno en Windley Key Fossil Reef Geological State Park, Florida, EE.UU.
Calizas formadas a partir de restos fósiles	La mayoría de las calizas están formadas por restos fósiles. Los fósiles a veces son fáciles de ver, como en este espécimen, pero también pueden dividirse en pequeños fragmentos, imposibles de ver a simple vista.		Piedra de construcción desgastada: piedra caliza formada por pelecipodos y gastrópodos cenozoicos rotos en el templo de Zeus, Olimpia, Grecia
Creta (Tiza): caliza de grano muy fino formada por coccolitos.	Antes que estuvieran disponibles los microscopios electrónicos de barrido (SEM), los geólogos tenían poca idea de cómo se formaba la creta. Ahora, los SEM han demostrado que está hecha principalmente de coccolitos, las diminutas plaquetas de carbonato de calcio de las algas planctónicas, junto con otros microfósiles.		Imagen de microscopio electrónico de barrido de coccolitos; estos forman el lodo carbonatado muy fino que eventualmente puede convertirse en creta.

Tabla 4.26. La contribución de la vida a la formación de rocas, continuación

Proceso	Descripción	Imagen	Recurso
Sedimentos modificados (bioturbados) por excavación	Las madrigueras de animales en muchas areniscas y lutitas han destruido el lecho original y otras estructuras		Madrigueras de animales parecidos a cangrejos en lutita jurásica, Makhtesh Qatan sur de Israel

El equilibrio entre el almacenamiento de carbono en la formación de caliza y su liberación a través de la meteorización probablemente jugó un papel clave en el pasado geológico, a través de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y el efecto invernadero resultante. La subducción de calizas en los márgenes de las placas convergentes también puede haber jugado un papel importante en los climas del pasado geológico, a través de la descomposición de la caliza para formar dióxido de carbono, que luego se libera en forma de gases volcánicos.

Cuadro 4.20. La hipótesis Gaia de James Lovelock

James Lovelock ha propuesto no solo que la vida juega un papel importante en los sistemas de la Tierra, sino que los controla. Llamó a su idea la hipótesis de Gaia (en honor a la diosa griega de la Madre Tierra, Gaia) y argumenta que, de la misma manera que su cuerpo tiene muchos sistemas diferentes para regularlo, la Tierra también. Por ejemplo, si tienes demasiado calor, sudas para refrescarte, pero si tienes demasiado frío, los escalofríos te hacen entrar en calor. Cuando los científicos no estuvieron de acuerdo en que la Tierra podría tener sistemas para regular su temperatura y otros aspectos de sus sistemas, Lovelock ideó un programa de computadora que llamó "Daisyworld" para mostrar cómo podría funcionar.

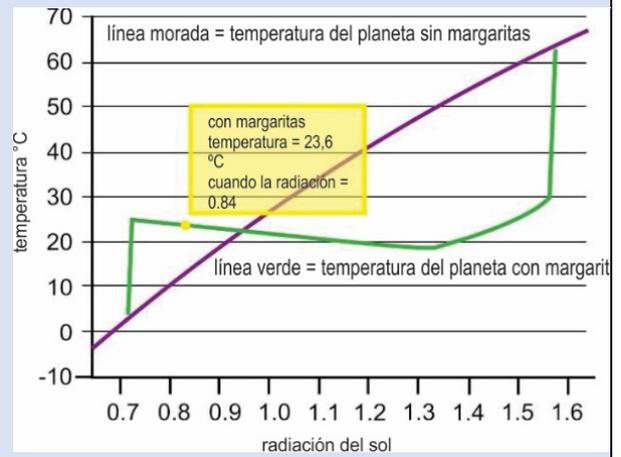
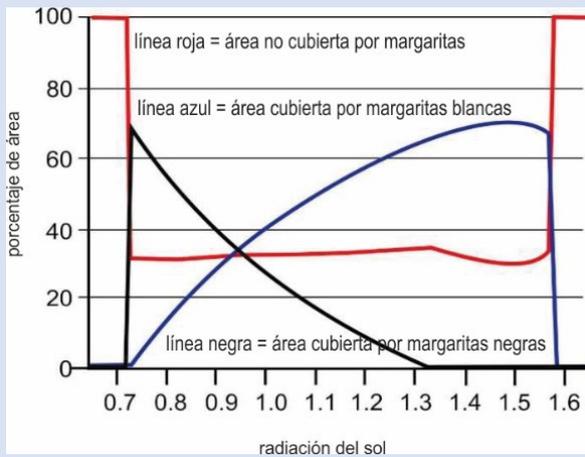
En la simulación que se muestra en los gráficos, la línea marrón en el gráfico de la derecha muestra cómo la temperatura de su planeta simulado, si no tuviera vida, aumentaría a medida que aumenta la radiación solar. El planeta simulado de Lovelock es similar a la Tierra, donde la radiación recibida de nuestro Sol ha ido aumentando de manera constante a lo largo del tiempo geológico.

Si, en los primeros días del planeta simulado, una gran área estaba cubierta por margaritas negras (línea negra en el gráfico de la izquierda), el color negro habría absorbido más radiación y aumentado la temperatura del planeta a más de 20 °C: la línea verde en el gráfico de la derecha. Luego, a medida que aumentaba la radiación del sol, las margaritas negras se calentaban demasiado y comenzaron a morir, y fueron reemplazadas constantemente por margaritas blancas (línea azul en el gráfico de la izquierda). A medida que se recibía más y más radiación del sol, más y más se reflejaba en las margaritas blancas, manteniendo la temperatura cerca de los 20°C. Al final, las margaritas no pudieron más y se extinguieron. Luego, la temperatura del planeta aumentó drásticamente a lo que habría sido si no hubiera tenido margaritas. Entonces, el efecto de las margaritas ha sido mantener el planeta simulado

a una temperatura bastante constante a medida que la luminosidad solar (la radiación del sol) se duplica con creces.

Mediante esta simulación, Lovelock demostró cómo la evolución de la vida podría regular la temperatura de un planeta. Razonó que, de diferentes maneras, la vida podría regular los sistemas de todo un planeta como la Tierra, manteniendo su capacidad para la vida, desde el momento en que la vida abundante evolucionó por primera vez hasta ahora.

Parte del pensamiento de Lovelock ahora sustenta la forma en que los científicos investigan los sistemas de la Tierra, aunque muchos no están de acuerdo en que la vida regula todo el sistema de la Tierra en la forma en que lo describe Lovelock.



Tyrannosaurus rex: uno de los últimos grupos de dinosaurios encontrados antes de la extinción masiva del K-Pg.

Geólogos recolectando muestras en el límite K-Pg., Wyoming, EE. UU.

5 El Sistema terrestre produce recursos

Traducido por: César Chacaltana y Julio Cárdenas

Los recursos naturales son todos los materiales de la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera que pueden ser utilizados por los seres humanos. Incluyen la amplia gama incluida en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Recursos naturales de la Tierra

Fuente	Algunos de los recursos naturales extraídos para su uso	Imagen	Fuente
Geósfera	<ul style="list-style-type: none"> • Suelo • Rocas a granel para construcción e industria • Evaporita antigua, minerales • Minerales metálicos • Combustibles fósiles • Energía geotérmica • Uranio 		Los Jardines Butchart, Victoria, Columbia Británica, Canadá, están ubicados en una cantera de caliza recuperada
Hidrosfera	<ul style="list-style-type: none"> • Agua potable • Agua para la industria y agricultura • Minerales de evaporita • Hidroeléctrica, olas y energía de las mareas 		Estanques de evaporación de sal, La Palma, Islas Canarias
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> • Gases de la atmósfera • Aire para la industria • Energía eólica 		Planta de oxígeno de membrana, utilizada para extraer oxígeno del aire
Biósfera	<ul style="list-style-type: none"> • Peces y otros animales marinos • Árboles • Productos de la agricultura en tierra y en el mar 		Cultivo de algas en Indonesia

5.1 Materias primas y combustibles fósiles

Todas las materias primas y combustibles fósiles que se extraen del suelo han sido concentrados de forma natural. Esta concentración natural ocurre de una de dos maneras: o bien los procesos naturales han concentrado el material en sí mismo, o los procesos naturales han eliminado los otros materiales no económicos, dejando atrás los materiales útiles.

Los materiales solo se extraen para su uso si son económicamente viables. Esto significa que un material se extrae solo si el equilibrio entre la necesidad local o global del material (la demanda) y su disponibilidad local o global (la oferta) hace que el precio sea lo suficientemente alto. Si el precio es lo suficientemente alto como para cubrir los costos de prospección, extracción y rehabilitación, procesamiento y transporte, entonces vale la pena extraer el material.

Todo desarrollo destinado a satisfacer las necesidades humanas debe ser sostenible. El desarrollo sostenible ha sido descrito como “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Esto significa que las necesidades económicas y de población deben ser satisfechas sin perjudicar el medio ambiente tan mal que no se pueden satisfacer las necesidades futuras. Para la extracción de materiales naturales, todos los aspectos de la operación deben ser sostenibles.

La remediación implica extraer el material con el menor daño posible a la comunidad y el medio ambiente circundantes, y luego devolver el área a una calidad cercana a su original, con monitoreo para que no ocurran problemas posteriores. Algunos países tienen altos niveles de control ambiental, lo que garantiza una remediación adecuada, mientras que otros países tienen niveles de control más bajos.

5.1.1 Materias primas a granel para la construcción

La construcción a gran escala necesita grandes cantidades de material y su transporte puede resultar muy costoso. Por eso, muchas de las grandes canteras están situadas en la costa y otras canteras importantes tienen sus propias líneas de tren. La mayoría de los pueblos y ciudades cuentan con canteras cercanas para abastecer sus necesidades de construcción, bien comunicadas por carreteras. La roca triturada, la arena y la grava de algunas canteras se utilizan como árido de construcción.

Tabla 5.2. Ejemplos de materias primas a granel usadas en la construcción

Materia prima a granel	Detalles	Imagen	Fuente
Rocas ígneas	Las rocas ígneas, como el granito, el gabro y la dolerita, son muy resistentes y se utilizan como agregados en el hormigón, la construcción de carreteras y el balasto de roca triturada sobre el que se colocan las vías férreas.		El muelle de carga de la supercantera de granito de Glensanda, Loch Linnhe, Escocia, una de las canteras más grandes de Europa, pero escondida detrás de las colinas.
Caliza	La caliza se utiliza para la fabricación de áridos y cemento		Cantera de caliza Nagara, Toyohashi, Japón
Arena y grava	Arena y grava se extraen para agregados en concreto		Hoyo de arena y grava cerca de Lisboa, Portugal.

5.1.2 Materias primas a granel para la industria

La industria requiere materias primas a granel para una variedad de usos, que incluyen: fabricar materiales de construcción, abastecer a las industrias cerámicas y como materia prima para las industrias química y de fertilizantes agrícolas (Cuadro 5.3). Dado que los costos de transporte de los materiales a granel son elevados, las plantas de procesamiento se ubican lo más cerca posible de las canteras o se necesitan buenas conexiones de transporte. Se denominan materias primas a granel porque su coste es bajo en relación con su gran masa y volumen, por lo que para que sean rentables necesitan ser excavadas a granel a gran escala

Tabla 5.3. Ejemplos de materias primas a granel utilizadas en la fabricación de materiales de construcción, industrias cerámicas y químicas

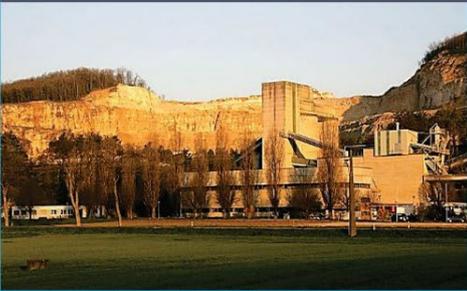
Materia prima a granel	Detalles	Imagen	Fuente
Caliza	<p>Cemento para concreto; Los bloques de cemento y el mortero se fabrican calentando caliza y arcilla en un horno y triturando el resultado con yeso</p>		<p>Fábricas de cemento, Holcim, Eclépens, Suiza</p>
	<p>La piedra caliza se calienta para formar cal viva que se utiliza en la agricultura y en las industrias químicas para fabricar acero, revestimientos para papel, lejía, refinación de azúcar y tratamiento de agua.</p>		<p>Un moderno horno rotatorio de cal, Wyoming, EE. UU.</p>
Sal	<p>El cloruro de sodio no solo se recupera por evaporación en estanques de sal, sino que también se extrae bajo tierra de antiguos depósitos de halita; se utiliza para salar alimentos, descongelar carreteras y en la industria química para la fabricación de plásticos y papel</p>		<p>Cristales cúbicos del mineral halita, mina de sal de Merkers, Alemania</p>
Potasa	<p>La potasa es cloruro de potasio y se recupera mediante la extracción y el bombeo de salmuera. Es la principal fuente de potasio en los fertilizantes agrícolas y se utiliza para producir una amplia gama de productos químicos industriales.</p>		<p>El agua bombeada en el mineral de potasa soluble se bombea luego como salmuera en estanques de evaporación para recuperar la potasa, Utah, EE.UU</p>
Yeso	<p>El yeso, mineral de sulfato de calcio, se extrae y se calienta para hacer el yeso de París, usado para los revestimientos de paredes que se usan en la mayoría de los edificios modernos.</p>		<p>Una cantera de yeso en rocas triásicas cerca de Nottingham, Inglaterra.</p>

Tabla 5.3. Ejemplos de materias primas a granel utilizadas en la fabricación de materiales de construcción, industrias cerámicas y químicas, continuación

Materia prima a granel	Detalles	Imagen	Fuente
Arcilla de ladrillo	La arcilla para ladrillos se moldea en forma de ladrillos y luego se cuece en hornos para producir ladrillos domésticos para la construcción.		Excavación de ladrillos, Baduria, Bengala Occidental, India
Arcilla china	La arcilla china se utiliza para fabricar porcelana fina, y en la fabricación de papel y cosméticos.		Pozo de arcilla de China cerca de Kaznějov en la República Checa
Arena de sílice	La arena de sílice se mezcla con soda (carbonato de sodio), cal (óxido de calcio) y otras sustancias químicas, se derrite y luego se hace flotar sobre metal fundido para fabricar el vidrio que se usa en las ventanas de hoy.		Vista aérea del enorme foso de arena de sílice cerca de Frechen en el oeste de Alemania

5.1.3 Minerales metálicos

Los minerales metálicos son concentraciones naturales de metal que tienen valor económico. Necesitan incluso más concentración que las materias primas a granel para que la minería sea económica. Una variedad de procesos sedimentarios, ígneos y metamórficos concentran naturalmente los minerales, y algunos ejemplos se incluyen en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Ejemplos de extracción de minerales metálicos

Mineral metálico	Concentración natural	Imagen	Fuente
Hierro, Hematita, Fe_2O_3	Las enormes secuencias de piedra de hierro en bandas en Australia y en otras áreas continentales se formaron en tiempos precámbricos, por procesos sedimentarios que los científicos aún están tratando de explicar.		Mina de piedra de hierro Tom Price, Australia Occidental: todo lo que se ve está manchado de rojo por el polvo de la hematita
Cobre, calcopirita, $CuFeS_2$	La calcopirita y otros minerales de cobre fueron concentrados por fluidos acuosos hidrotermales calientes que se originaron muy por debajo de la superficie, a través de procesos metamórficos e hidrotermales.		Mina de cobre de Bingham Canyon, Utah, EE. UU.: la mina más grande del mundo, con más de un kilómetro de profundidad y cuatro kilómetros de ancho.
Plomo, galena, PbS	El mineral de plomo se encuentra a menudo con minerales de zinc, cobre y plata; los minerales a menudo se concentran por los fluidos hidrotermales producidos cuando los magmas se introducen en las rocas circundantes		La mina Mt Isa, Queensland, Australia; la chimenea alta es para la fundición de plomo; la chimenea de la fundición de cobre es de color rojo y blanco
Oro, oro nativo, Au	El oro se puede encontrar nativo, sin combinar con ningún otro elemento; dado que es un mineral denso, después de que la erosión libera de la roca, puede depositarse como oro de placer en los lechos de los arroyos		Lavado comercial de oro por el poblado de sakalava en Madagascar

5.1.4 Minerales Industriales

Estos son minerales extraídos por su valor, que no son combustibles, minerales metálicos o materias primas a granel. Incluyen una muy amplia gama de materiales. En la Tabla 5.5 se incluyen dos ejemplos.

Tabla 5.5. Ejemplos de extracción industrial de minerales

Mineral Industrial	Detalle	Imagen	Fuente
Minerales de Tierras Extrañas	Estos depósitos contienen elementos de tierras raras que son usados en modernos dispositivos, tales como memoria del ordenador, teléfonos móviles, DVD, imanes, iluminación fluorescente y baterías recargables		Vista satelital de una mina de tierra rara en Bayan Obo, China
Diamantes	Diamantes en lo profundo del manto son llevados a la superficie por las erupciones volcánicas que perforan túneles hasta la superficie; ellos son utilizado como piedras preciosas para corte y pulido industriales		La mina Mir, Mimy, Rusia

5.1.5 Combustibles Fósiles

Los combustibles fósiles son los restos de plantas y animales microscópicos conservados en el suelo. Cuando estaban vivos, las plantas absorbían la energía del Sol a través de la fotosíntesis. Al morir, sus restos se acumulan, a menudo en agua con poco o nada de oxígeno. Dado que se requiere oxígeno para que el material orgánico se descomponga por completo, los restos solo se descompusieron parcialmente, formando depósitos sedimentarios ricos en material orgánico. Cuando esto fue enterrado y comprimido, gran parte del agua y los gases de descomposición fueron exprimidos, enriqueciendo aún más el contenido orgánico. Todos los materiales orgánicos contienen el elemento carbono, y es la quema del carbono en los combustibles fósiles lo que libera energía.

5.1.5.1 Turba y Carbón

La turba es la acumulación de material vegetal parcialmente descompuesto en las aguas pobres en oxígeno de marismas y pantanos. La turba se acumula durante miles de años, a menudo hasta espesores de más de 2m. Las turberas no sólo son ricas en carbono, sino también capturan el dióxido de carbono liberado durante descomposición, y también lo son uno de los depósitos importantes de carbono eliminado de la atmósfera. Si se entierra turba y comprimido conserva una concentración aún mayor de carbón.



Figura 5.1 Extracción Comercial de Turba

La turba es la acumulación de material vegetal parcialmente descompuesto en las aguas pobres en oxígeno de las ciénagas, marismas y pantanos. La turba se acumula a lo largo de miles de años, a menudo con un espesor de más de 2 m. Las turberas no solo son ricas en carbono, sino que también capturan el dióxido de carbono liberado durante la descomposición, por lo que son una de las reservas importantes de carbono eliminado de la atmósfera. Si la turba se entierra y se comprime, conserva una concentración aún mayor de carbono.

La turba se extrae para la quema y para producir abono orgánico para los jardines. Sin embargo, a medida que los científicos han comprendido mejor cómo las turberas juegan un papel tan importante en la eliminación de carbono de la atmósfera, la excavación de turba se ha reducido a nivel mundial.

Si la turba se enterrara a profundidades aún mayores, la compresión de los sedimentos superpuestos la convertiría en carbón. Sin embargo, la mayor parte del carbón se produce en las condiciones de la selva tropical de los pantanos tropicales. Las plantas y los árboles crecen rápidamente en las condiciones cálidas y húmedas y, cuando mueren y caen en los pantanos pobres en oxígeno, solo se descomponen parcialmente. Si el área se está hundiendo, se pueden acumular muchos metros de material orgánico, conservando a veces hojas, raíces o troncos enteros de árboles. Cuando la capa orgánica se entierra cada vez más profundamente por los sedimentos que la recubren, la temperatura aumenta naturalmente mientras que el agua y los gases de descomposición se expulsan, produciendo vetas de carbón. Cuanto mayor es el aumento de la presión y la temperatura, más gas se libera y el carbón se vuelve de mayor calidad; conteniendo mayor proporción de carbono.

Las exposiciones superficiales de carbón se extrajeron por primera vez hace mucho tiempo. Luego fueron seguidos bajo tierra a través de túneles horizontales o inclinados llamados socavones, o por pozos verticales. La minería subterránea de carbón se llama minería profunda, y algunas minas de carbón han alcanzado más de 1 km de profundidad. La extracción profunda de carbón continúa en muchas partes del mundo, pero una alternativa más económica es la extracción de carbón a cielo abierto.

En los pozos a cielo abierto modernos, la capa superior del suelo se retira y se almacena. Luego, las rocas sedimentarias que recubren las vetas de carbón se retiran y almacenan en otro lugar. Cuando se llega a la veta de carbón, el carbón se limpia cuidadosamente y luego se utiliza maquinaria a gran escala para extraer el carbón y transportarlo fuera del pozo. A veces, la excavación a cielo abierto revela los antiguos túneles profundos de la minería del carbón, como en la Figura 5.2. Se excavan ranuras a cielo abierto cada vez más profundas a medida que se extraen vetas más profundas, a veces hasta una profundidad de 60 m. Luego, se excava la siguiente ranura y se rellena con la roca estéril de la ranura anterior. Los mineros a cielo abierto trabajan en el sitio, ranura por ranura, hasta que se ha extraído todo el carbón y se ha llenado la última ranura. Luego se reemplaza la capa superficial del suelo y se ajardina el área para que se acerque lo más posible a sus condiciones originales.

Figura 5.2. Una mina de carbón a cielo abierto en una gruesa veta de carbón sumergida, revelando un antiguo socavón minero profundo. Entrada delantera en la Formación Carbonífera Stellarton, Stellarton, Nueva Escocia, Canadá



5.1.5.2 Petróleo y Gas Natural

Gran parte del gas natural extraído de la Tierra fue producido por la desgasificación natural del carbón a medida que se comprime y calienta durante el confinamiento. Mientras tanto, el petróleo crudo y el gas natural se forman a partir de lodolitas y esquistos ricos en materia orgánica, ya que también se calientan y comprimen al confinarse. El material orgánico que proporciona la fuente de petróleo era originalmente plantas y animales planctónicos marinos microscópicos. Estos se asentaron en el lecho marino cuando murieron y fueron enterrados en el lodo que finalmente se convirtió en lutita y pizarra. Por lo tanto, el carbón y la lutita rica en materia orgánica y el esquisto son las rocas de origen del petróleo y el gas. Todos los materiales orgánicos en las rocas fuente originalmente obtuvieron su energía a través de la fotosíntesis del Sol y, por lo tanto, contienen "energía solar fosilizada".

Para que se formen depósitos de petróleo y gas bajo tierra, se requieren las cinco cosas que se muestran en la tabla 5.6 en secuencia desde la parte inferior hasta la parte superior de la tabla.

Tabla 5.6. Los cinco requisitos para formar un campo de petróleo y/o gas.

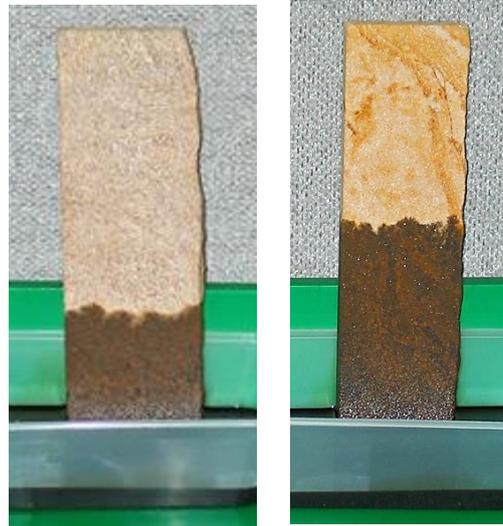
Requisitos	Detalles	imagen	fuentes
Trampa	La forma de la roca del casquete que recubre la roca del yacimiento debería atrapar un cuerpo de petróleo o gas en forma de burbuja debajo. Una forma de trampa común es un anticlinal, pero también hay otros tipos de trampas.		Un anticlinal en el paso de Pang La en el Tíbet

Roca corona	Las rocas de cobertura son rocas de grano fino que son impermeables (los fluidos no pueden fluir a través de ellas) y atrapan petróleo y/o gas en forma de burbuja debajo.		Lutita en el anticlinal Deakin, de la formación de edad siluriana Yarralumla, Canberra, Australia
Roca Reservorio	Una roca reservorio es una roca con suficientes poros interconectados para contener un fluido como agua, petróleo o gas; es una roca permeable que debe ser tanto porosa (con espacios porosos) como permeable (para permitir el paso del fluido). Las areniscas son las rocas de yacimiento de petróleo más comunes		Arenisca que contiene petróleo de forma natural, del campo petrolífero de Hutton en el Mar del Norte
Calor y Presión del Confinamiento	A medida que se confinan las rocas, su temperatura aumenta naturalmente. A unos 2 km de profundidad la temperatura alcanza los 60°C y las rocas orgánicas comienzan a liberar petróleo. A 4 km de profundidad, la temperatura es de 120 °C y se ha liberado gran parte del petróleo. El gas natural comienza a liberarse también a esta temperatura. A 9 km de profundidad, a una temperatura de más de 200 °C, cualquier gas remanente se convierte en grafito y no puede liberarse.		
Roca fuente	La roca fuente es la roca rica en materia orgánica de la que proceden originalmente el petróleo y el gas. Para el gas natural, la roca madre es el carbón o las fuentes de petróleo. La mayor parte del petróleo y parte del gas natural provienen del esquisto bituminoso orgánico negro o del contenido orgánico de grandes volúmenes de lutita de color más pálido.		Esquisto bituminoso del depósito de edad Eocena en el pozo Messel cerca de Frankfurt, Alemania

Todas las rocas porosas contienen fluidos en sus espacios porosos, generalmente agua. A medida que aumentan las presiones y temperaturas de enterramiento, las rocas generadoras liberan su petróleo y gas. Se elevan porque son menos densos que el agua en los espacios porosos. Continúan ascendiendo a través de rocas permeables o a lo largo de fracturas, hasta que llegan a la superficie de la Tierra y se pierden o alcanzan una capa de roca impermeable. Un yacimiento subterráneo de petróleo/gas se forma si la roca de cubierta tiene la forma correcta para atrapar petróleo/gas debajo, es lo suficientemente grande y tiene una roca debajo con suficiente espacio poroso para contener una

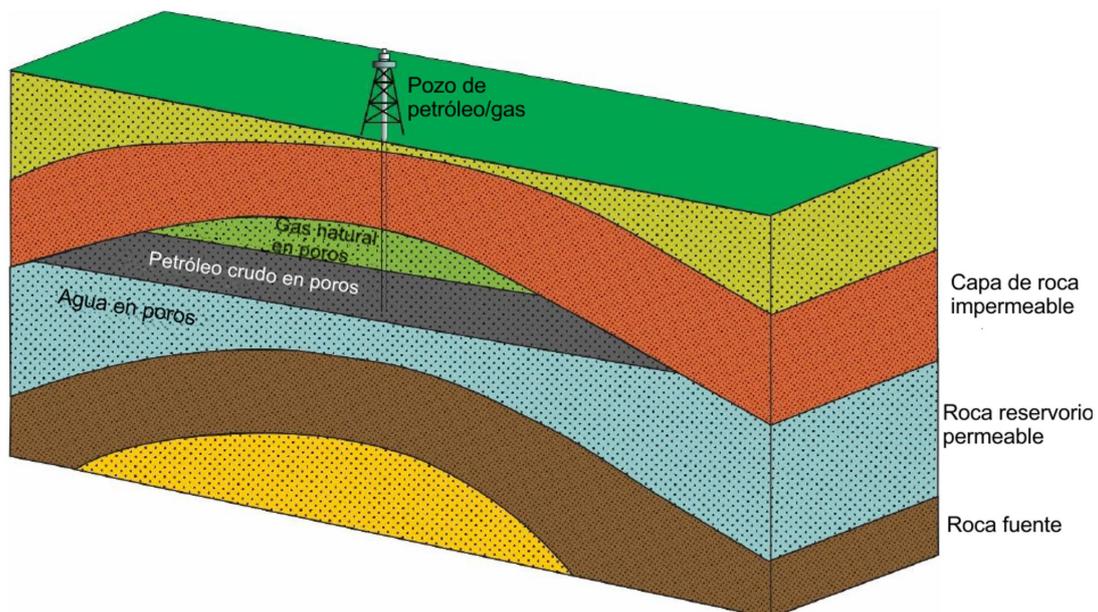
buena cantidad de petróleo/gas (una roca de yacimiento como los de la figura 5.3). El gas en los espacios porosos flota sobre el petróleo, que a su vez flota sobre el agua, como se muestra en la Figura 5.4.

Figura 5.3. Dos losas de arenisca sobre aceite de motor que muestran cómo diferentes areniscas pueden absorber diferentes cantidades de petróleo en sus espacios porosos



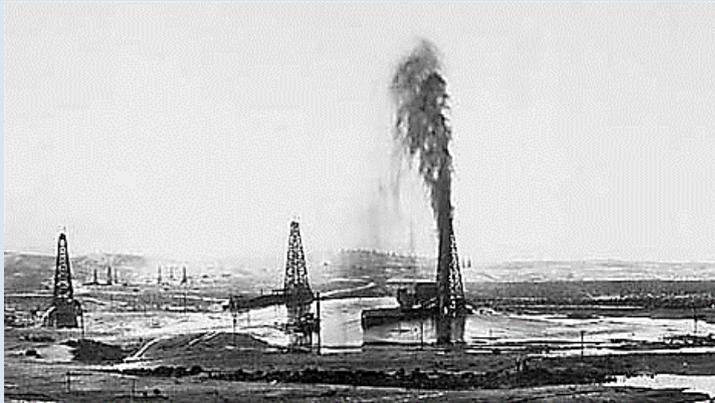
Cuando se perfora un pozo en una trampa que contiene petróleo y/o gas, el petróleo/gas sube por el pozo porque tiene menor densidad que el agua y debido a la presión de las rocas que lo recubren. Puede salir a chorro peligrosamente a la superficie, a menos que esté cuidadosamente controlado por la serie de válvulas conectadas a la parte superior de todos los pozos de exploración de petróleo/gas.

Figura 5.4. Una trampa formada por rocas plegadas (un anticlinal): estas pueden contener petróleo, gas o ambos juntos.



Cuadro 5.1. Válvulas de pozos de petróleo

Los pozos de petróleo/gas tienen un 'árbol de Navidad' de válvulas en la superficie, para evitar que el petróleo/gas naturalmente presurizado salga peligrosamente del pozo (la imagen de la derecha es de un pozo en Dakota del Norte, EE. UU.). En tiempos pasados, antes del uso de estas válvulas, el petróleo a veces salía a chorros a la superficie a través de peligrosos "chorros" como en la imagen de abajo de los EE. UU. alrededor de 1911.



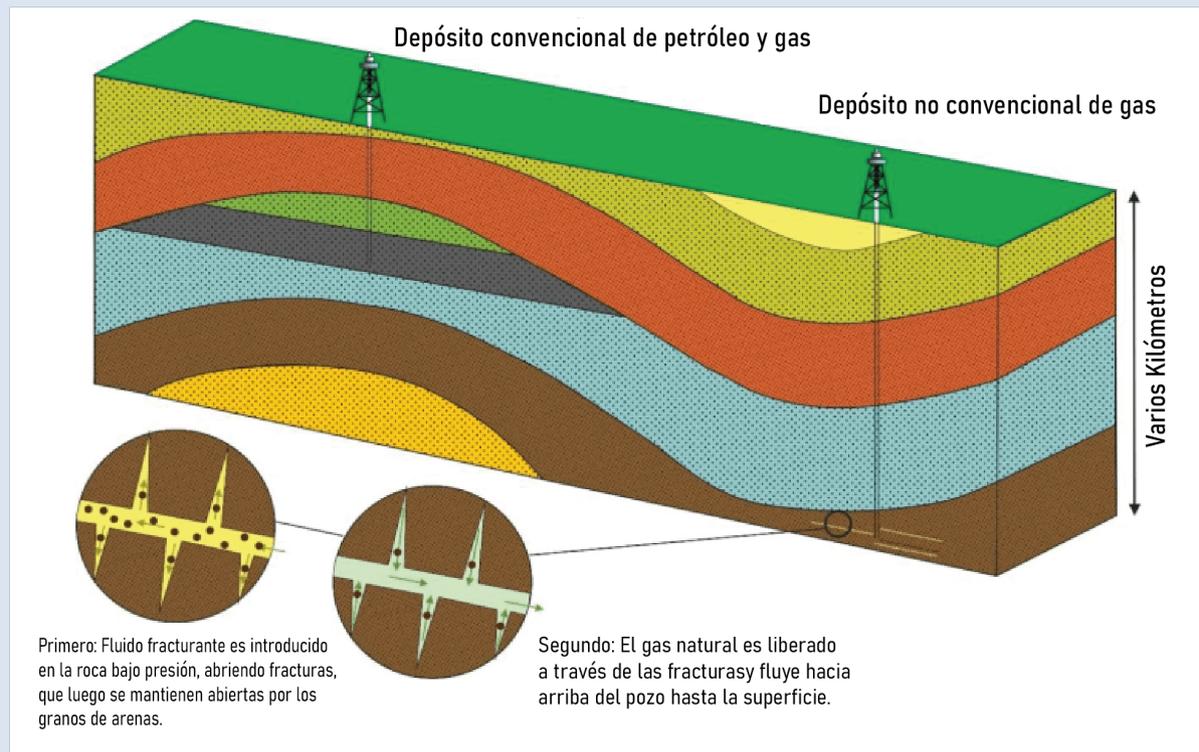
Las rocas del yacimiento de muchos campos de petróleo y gas modernos se fracturan hidráulicamente (lo que se conoce como fracking) para aumentar la cantidad de petróleo/gas que la roca puede liberar. Durante el fracking, el fluido se bombea a la roca bajo una gran presión y fractura los espacios porosos, ensanchándolos. El fluido contiene arena que se adhiere a las nuevas fracturas, manteniéndolas abiertas. Los poros más anchos y las fracturas liberan petróleo y gas más fácilmente.

Cuadro 5.2. Fracking de esquisto y arenisca 'apretada'

El fracking se puede utilizar para liberar gas natural de rocas generadoras de esquisto que tienen pocos espacios porosos o que han sido enterradas tan profundamente que los espacios porosos son pequeños. Dado que cantidades económicas de petróleo/gas no pueden liberarse de estas rocas sin fracturación hidráulica, a menudo se les llama "depósitos no convencionales", en contraste con los depósitos convencionales que se muestran en el diagrama. Los depósitos convencionales han sido fracturados durante muchos años.

Los pozos de fracking se perforan verticalmente desde la superficie y luego horizontalmente a lo largo de las capas que se van a fracturar. Se perfora una serie de pozos horizontales desde cada pozo vertical. El fluido de fracking se bombea a una presión extremadamente alta para contrarrestar

la masa de las rocas de arriba. El fluido de fracking es una mezcla de detergente (como un líquido lavavajillas), ácido de la fuerza del vinagre, goma de mascar (como la goma de mascar que se encuentra en algunos dulces), agua y arena. El detergente ayuda a que el fluido se deslice por el agujero, el ácido ayuda a la descomposición química de la roca y la goma espesa el fluido. Las partículas de arena mantienen abiertas las nuevas fracturas. El efecto es hacer que rocas previamente casi impermeables sean lo suficientemente permeables para liberar su gas.



Si el fracking no se controla adecuadamente, el revestimiento del pozo puede tener fugas, lo que permite que el fluido o el gas del fracking se escape a los acuíferos cercanos a la superficie y los contamine. El mantenimiento de revestimientos de pozos a prueba de fugas es uno de los controles más importantes durante las operaciones de fracking y la posterior extracción de gas.

5.1.6 Prospección

Los primeros buscadores solían buscar depósitos naturales de minerales o filtraciones de petróleo expuestas en la superficie de la Tierra, pero casi todos estos afloramientos superficiales y signos se han encontrado, por lo que hoy en día se necesitan métodos más técnicos.

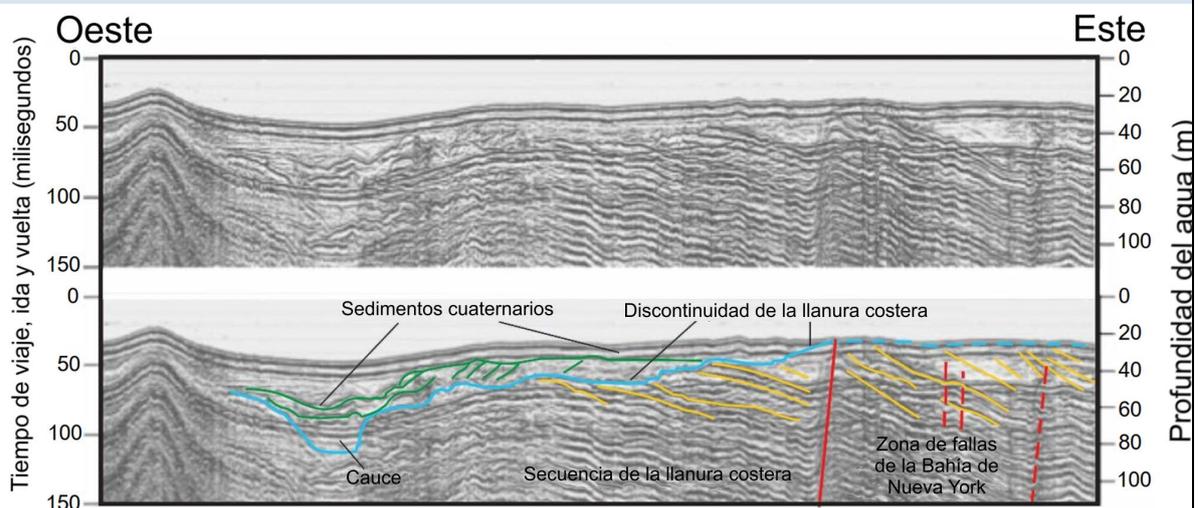
Los buscadores de hoy en día saben, por el mapeo geológico de superficie en la tierra, dónde es probable que se encuentren en el orden correcto las rocas generadoras, las rocas reservorio y las rocas de cubierta, por lo que buscan principalmente formas de trampas subterráneas. Pueden comenzar corriendo estudios magnéticos y de gravedad de detección remota, ya que estos muestran

dónde las rocas más densas o magnéticas se acercan a la superficie y pueden indicar dónde se encuentran los anticlinales subterráneos o formaciones similares. Luego, es probable que realicen estudios sísmicos para mostrar la estructura de las rocas debajo del suelo. Cuando se ha encontrado una estructura objetivo probable, se perfora un pozo de prospección en busca de petróleo/gas. La perforación de un pozo es muy costosa, particularmente en alta mar, por lo que el geólogo de prospección debe tener mucho cuidado al recopilar información y predecir los objetivos probables.

Cuadro 5.3. Prospección sísmica

La prospección sísmica depende de las ondas de choque que se reflejan en las diferentes capas de la secuencia de rocas. El equipo de exploración dispara ondas de choque en tierra mediante una explosión o usando un “camión de vibración”, o en el mar mediante una pistola de agua o una explosión. Las ondas de choque viajan hacia abajo en la secuencia de rocas y son reflejadas por las diferentes capas. Las ondas de choque reflejadas son detectadas por una serie de micrófonos, llamados geófonos en tierra o hidrófonos en el mar

Los resultados se analizan por computadora para producir una traza sísmica, como se muestra a continuación. La escala vertical de la izquierda es del tiempo de viaje bidireccional, el tiempo necesario para que la onda de choque llegue al lecho reflectante y rebote de regreso al receptor: esto indica la profundidad del lecho, que se muestra a la derecha. El diagrama inferior muestra una interpretación de la traza sísmica del diagrama superior, para producir una imagen de la geología, como una sección transversal geológica.



Un perfil sísmico, registrado en la bahía de New York frente a la ciudad del mismo nombre (EE. UU).

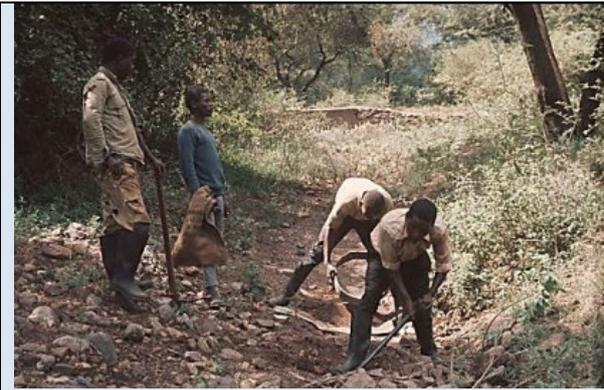
Si se hubiera disparado un perfil sísmico como este durante la prospección de petróleo/gas, entonces buenos objetivos para petróleo/gas podrían ser el anticlinal indicado en el extremo occidental del perfil, o las rocas debajo de la discordancia, si las rocas sobre la discordancia son impermeables.

Los estudios magnéticos y de gravedad también se realizan durante la prospección de otros recursos naturales, en busca de anomalías de alta gravedad (alta densidad) y anomalías de magnetización, como indicadores de posibles objetivos de minerales metálicos.

Un método de prospección que se utiliza a menudo en la búsqueda de minerales metálicos es el muestreo geoquímico de corrientes y suelos. Por lo general, se recolecta una serie de muestras de sedimentos del lecho de un río, se secan y se tamizan para obtener sedimentos de grano fino. Luego, estos se envían a un laboratorio para su análisis, generalmente mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) para más de 50 elementos. Cuando la prospección encuentra altos niveles de los elementos objetivo, los niveles generalmente aumentan río arriba hasta cerca de su fuente; esto luego se verifica mediante un muestreo de flujo más detallado. Cuando se ha identificado el área de origen, el muestreo del suelo se lleva a cabo en un patrón de cuadrícula hasta que se encuentran los valores más altos. Finalmente, se excavan pozos hasta que se identifica la roca madre y se evalúa su valor como futura mina.

Cuadro 5.4. Cómo encontrar una mina de diamantes.

- Vaya a un continente donde se hayan encontrado diamantes anteriormente (los diamantes solo se forman en áreas de corteza continental gruesa y antigua).
- Realice muestreos de corrientes y procese cada muestra para concentrar los minerales pesados (densos).
- Aunque los diamantes rara vez se encuentran en los arroyos, provienen de rocas volcánicas inusuales llamadas kimberlitas y contienen otros minerales kimberlíticos pesados como granates de color rojo intenso.
- Envíe el concentrado de minerales pesados al laboratorio para su análisis.
- Identificar áreas de arroyos con altos niveles de minerales kimberlíticos y seguirlos hasta su área de origen.
- Tome muestras de suelo en un patrón de cuadrícula en el área de origen, concentrando los minerales pesados y enviándolos al laboratorio para su análisis.
- Encuentre la anomalía kimberlítica-mineral más alta y excave, esperando encontrar kimberlita volcánica.
- Si tiene mucha suerte, la kimberlita que encuentre puede ser una de las pocas kimberlitas que contiene suficientes diamantes para que sea explotable.



Recolección de una muestra de mineral pesado en el lecho seco de un río



Concentrado pesado de minerales en el campo



Concentrado de minerales pesados sobre una kimberlita



Mina de diamantes Premier, Cullinan, Sudáfrica

Nota: a veces, cuando una kimberlita se ha erosionado en el pasado geológico, se pueden encontrar suficientes diamantes concentrados en sedimentos de ríos o playas para que valga la pena extraerlos.

5.1.7 Protección y remediación ambiental

Los sitios modernos de extracción de recursos suelen tener políticas de protección y remediación ambiental. Las políticas de protección ambiental protegen el área local de los efectos de la extracción. Las políticas de remediación aseguran que el sitio quede en buenas condiciones después de que termine la extracción, y que el monitoreo permanente del sitio continúe. Se utiliza una variedad de métodos de protección ambiental, como en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Métodos de protección del medio ambiente durante la explotación de los recursos naturales.

Método de Protección Ambiental	Detalles	Imagen	Fuente
Bancos	Los bancos (diques) se construyen alrededor de la parte superior de las áreas de extracción para que no se puedan ver fácilmente desde el exterior y para reducir el polvo y el ruido		Banco Construido alrededor de la parte superior de una cantera de basalto cerca de Hohenfels-Essingen, Alemania
Plantación	Los árboles se plantan alrededor de los sitios de extracción para que el sitio no se pueda ver fácilmente y para reducir el ruido y el polvo del sitio		Cribado por plantación de árboles alrededor de una cantera de basalto activa, Hühnerberg, Baviera, Alemania
Estanques de decantación	El agua bombeada de las minas y canteras junto con la escorrentía durante las tormentas se canaliza hacia estanques de sedimentación. El lodo se asienta antes de que el agua se use en las operaciones de lavado o se permita que fluya hacia los arroyos locales.		Estanque de sedimentación de la mina de hierro de la compañía minera Cagdiano en Filipinas
Tratamiento de Agua Contaminada	Las aguas residuales se tratan para eliminar la contaminación antes de que sea liberado en los sistemas fluviales		Tratamiento de aguas residuales de mina para eliminar la contaminación por metales en Australia

Lavadero de Vehículos	El barro y el polvo se eliminan de los vehículos para que no se lleven a las carreteras cercanas.		Sistema de lavado de llantas en Alemania
Revegetación de relaves	La vegetación se planta en vertederos para que las raíces se adhieran al suelo y reduzcan el flujo de agua sobre la superficie, reduciendo así la erosión.		Terrazas sembradas con hierba de relaves de arcilla china, Coldvreath Alto, Cornwall, Inglaterra
Monitoreo de aguas subterráneas	Se perfora una serie de pozos alrededor del sitio de excavación y se monitorea la contaminación del agua subterránea.		Monitoreo de aguas subterráneas, Monumento nacional en Coronado, Arizona, EE. UU.

Cuando se cierra un sitio de extracción, el sitio debe ser remediado o limpiado tanto como sea posible, para que sea apto para usos futuros. A veces es posible devolver el sitio a su uso original, pero en otros casos se dedica a nuevos usos, como un parque rural o un puerto deportivo. Los procesos de remediación implican el paisajismo del sitio, la devolución de la capa superior del suelo que se haya eliminado y la plantación de plantas cuidadosamente seleccionadas que sobrevivirán en las nuevas condiciones y posiblemente ayuden a limpiar el suelo.

En áreas de minería y explotación de canteras, parte de la maquinaria antigua y otros elementos históricos pueden exhibirse en museos patrimoniales. Algunas de las paredes rocosas pueden conservarse por su valor científico, educativo o histórico o como sitios para la vida silvestre, como para anidar aves o animales amantes del agua. Incluso después de la remediación, los sitios aún pueden necesitar un monitoreo regular de la calidad y la ecología del agua subterránea.

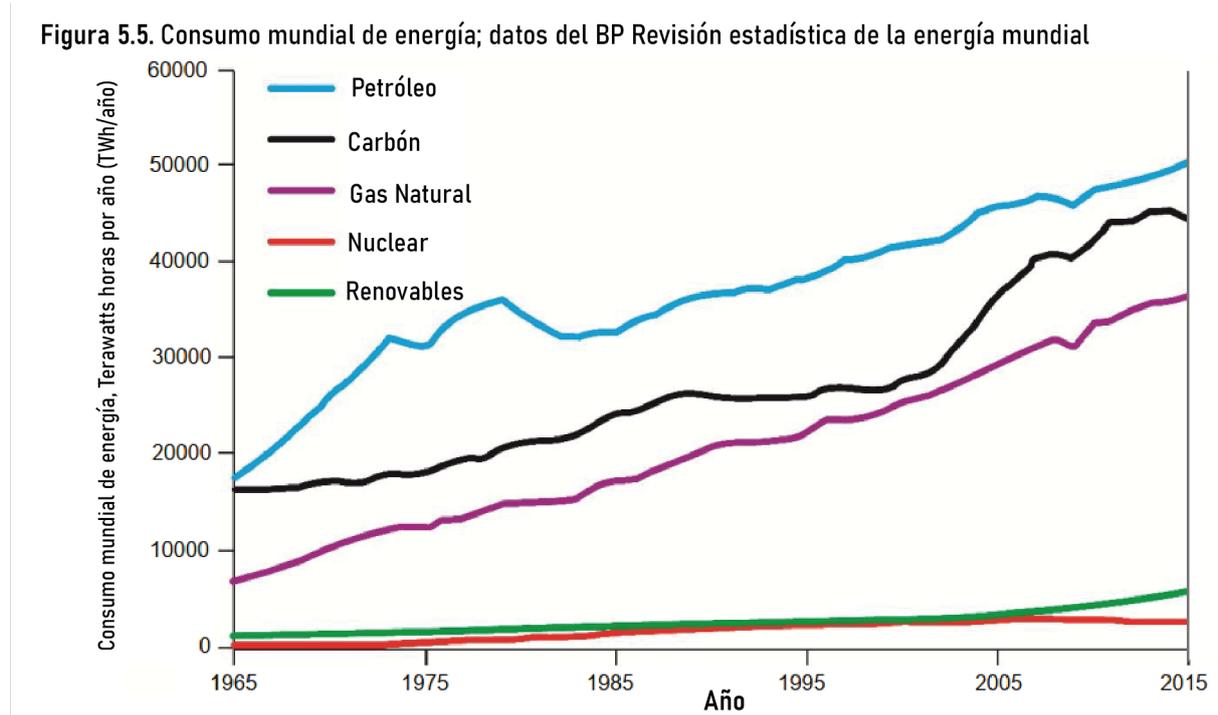
Tabla 5.8. Ejemplos de remediación de áreas de extracción

Ejemplo	Detalles	Imagen	Fuente
Paisajismo	los residuos se ajardinan para reducir las pendientes y se plantan con vegetación para minimizar la erosión		La antigua mina de uranio Jackpile-Paguate en Laguna Pueblo, al oeste de Albuquerque, EE. UU.
Reclamación	Las minas a cielo abierto pueden recuperarse para uso agrícola		Mina de carbón a cielo abierto y terrenos ganados al mar en la mina de carbón Antílope Norte Rochelle, Wyoming, EE. UU.
Preservación	Partes del antiguo sitio de extracción se pueden conservar por su valor histórico		Edificio de horno conservado en una antigua mina de zinc, plomo y azufre, Co. Tipperary, Irlanda
Nuevo Uso	Las cúpulas del proyecto Edén, que cultivan plantas de todo el mundo, ubicadas en una antigua cantera de arcilla china.		El Proyecto Edén en Cornualles, Inglaterra
Trabajo de Campo	Las paredes rocosas de las antiguas canteras tienen una variedad de usos científicos y educativos		Trabajo de campo de estudiantes en Apes Tor, una antigua cantera de piedra caliza, Staffordshire, Inglaterra

5.2 Fuentes de Alimentación

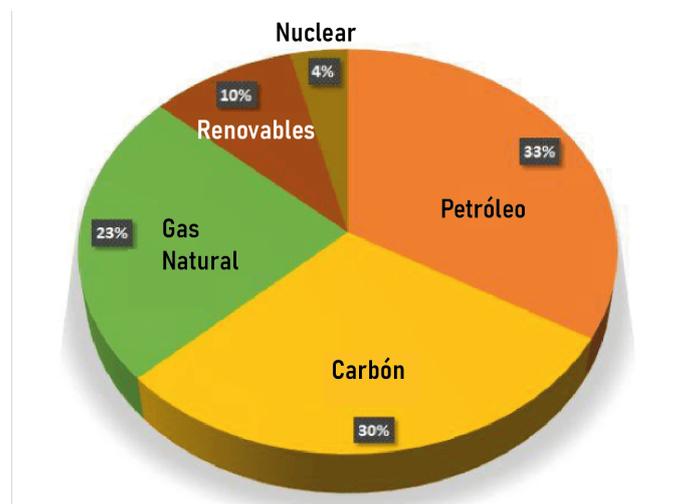
La Figura 5.5 muestra cómo ha cambiado el consumo mundial de energía de diferentes fuentes desde la década de 1960 con el aumento de la energía proveniente del petróleo, el gas y las fuentes renovables. Recientemente, la energía nuclear ha mostrado un ligero declive y el carbón un declive más pronunciado.

Figura 5.5. Consumo mundial de energía; datos de la revisión estadística de BP de la energía mundial



La figura 5.6 es un gráfico circular de cifras recientes, que muestra que más del 85 % del consumo actual de energía en el mundo proviene de combustibles fósiles, el 10 % de fuentes renovables y solo el 4 % de la energía nuclear.

Figura 5.6. Consumo mundial de energía; datos de la revisión estadística de BP de la energía mundial



A pesar de los intentos en todo el mundo por reducir el uso de combustibles fósiles y cambiar a fuentes de energía renovables, los datos recientes aún muestran un aumento en el uso de fuentes de combustibles fósiles. En las condiciones actuales, claramente tomará mucho tiempo revertir estas tendencias.

5.2.1 Energía de combustibles fósiles

La mayoría de las centrales eléctricas que producen electricidad queman combustibles fósiles como carbón, petróleo o gas natural. Estos también se utilizan para producir productos químicos y otros productos industriales, incluidos los plásticos.

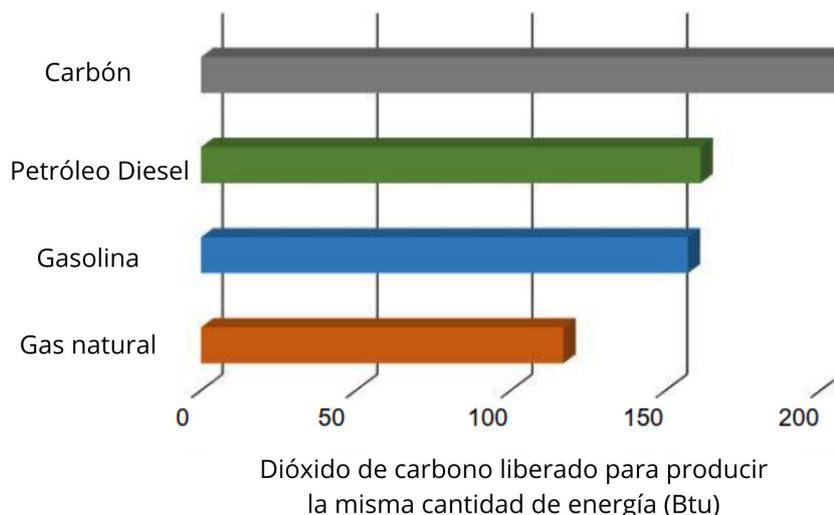
El petróleo, una vez refinado, es la fuente de energía más importante para los vehículos de carretera y ferroviarios, y el único combustible utilizado en el transporte comercial aéreo y marítimo.

Existe una presión global para reducir el uso de combustibles fósiles y reemplazarlos con energía renovable debido a la influencia de la quema de combustibles fósiles en el cambio climático. Los vínculos entre el dióxido de carbono, el efecto invernadero y el cambio climático se explicaron en la Sección 4.3.3.

El gráfico de la figura 5.7 muestra que el carbón es el combustible que produce más dióxido de carbono cuando se quema. Esta acción también libera más contaminantes que otros combustibles fósiles, incluyendo el dióxido de azufre y gases de óxido nítrico, así como partículas de humo y cenizas.

A nivel mundial existen medidas para cerrar las centrales eléctricas de carbón y reemplazarlas con otras de gas natural, porque la quema de este último libera casi la mitad de la cantidad de dióxido de carbono que emite el carbón, así como de otros contaminantes.

Figura 5.7. Cantidades de Dióxido de Carbono liberadas al quemar diferentes combustibles fósiles para producir la misma cantidad de energía.



Los combustibles fósiles no son renovables. Esto significa que, aunque hoy en día existen las condiciones para la acumulación de materia orgánica y la conversión en combustibles fósiles con el tiempo, esto está ocurriendo mucho más lentamente que la extracción de combustibles fósiles. Por lo tanto, llegará un momento en que la mayoría de los combustibles fósiles de la Tierra se hayan extraído, lo que significa que una mayor extracción será mucho más difícil y costosa.

Debido a que los combustibles fósiles no son renovables y también son contaminantes, existe un movimiento global hacia los recursos de energía renovable.

5.2.2 Energía renovable

Las fuentes de energía renovable se reemplazan al menos tan rápido como se usan, por lo que seguirán estando disponibles en el futuro. Tampoco liberan contaminantes durante su uso, aunque pueden tener otros efectos ambientales. Por estas razones, existe un crecimiento global en el desarrollo y crecimiento de las fuentes de energía renovable. La Figura 5.8 muestra que la fuente de energía renovable más utilizada en la actualidad es la hidroeléctrica, seguida de la energía solar, la bioenergía y la energía eólica (Tabla 5.9). Las fuentes geotérmicas y mareomotrices generan solo pequeñas cantidades de energía a nivel mundial, mientras que la energía de las olas permanece en la etapa experimental.

Figura 5.8. Producción de energía reciente de diferentes fuentes renovables; datos del Reporte global estatal REN21, Table R1.

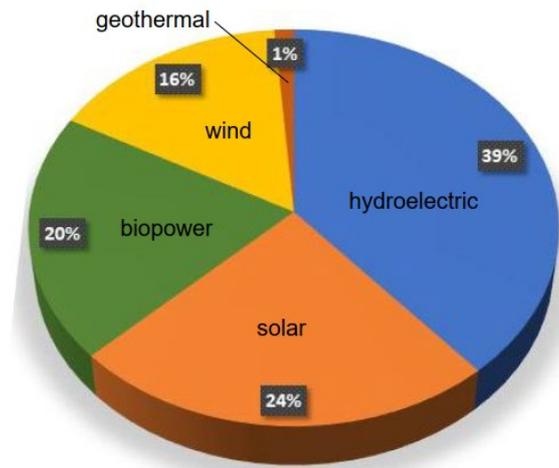


Tabla 5.9. Fuentes de energía renovables, desde la fuente que produce la mayor cantidad de energía global en la parte superior de la tabla, hasta la que menos produce en la parte inferior

Recursos de Energía Renovable	Detalles	Imagen	Fuente
Hidroeléctrica	La hidroelectricidad se genera construyendo represas para crear embalses y canalizando el agua hacia turbinas para producir electricidad a medida que sale del embalse.		Un canal hidroeléctrico que va desde el embalse del lago Pukaki, Nueva Zelanda, hasta las turbinas de la central eléctrica
Solar	Las matrices de paneles solares están inclinadas para recolectar la mayor cantidad de energía solar del Sol		Las plantas solares PS20 y PS10 en Andalucía, España
Biodiesel	La mayor parte de la bioenergía se genera mediante la quema de biomasa (cultivos especialmente cultivados o material de desecho) para producir electricidad, pero algunos cultivos se utilizan para producir biocombustibles para el transporte.		Planta de calefacción urbana de biomasa cerca de Steinfelde, Ternitz, Baja Austria: suministro de combustible de madera al fondo

Viento	Los parques eólicos se construyen a partir de grupos de aerogeneradores, ya sea en tierra o en alta mar		Un parque eólico marino. Bạc Liêu, Vietnam
Geotermal	La energía geotérmica se genera en regiones volcánicas, donde suele denominarse energía hidrotérmica; también se extrae de rocas cálidas en otras áreas		La central hidrotermal de Nesjavellir en Thingvellir, Islandia
Marea	La energía mareomotriz se está generando a pequeña escala en varios países, pero, hasta el momento, no hay plantas comerciales de energía mareomotriz a gran escala.		Modelo de la planta de energía mareomotriz Kislogubskaya en la península de Kola, en el norte de Rusia
Olas	La energía de las olas aún no se utiliza comercialmente a gran escala, pero se están probando generadores a pequeña escala.		Una de las tres máquinas Pelamis rompiendo una ola en el parque de olas de Aguçadoura, Portugal

Dos de los problemas con algunas fuentes de energía renovable son que su producción es variable y actualmente no tenemos ningún método para almacenar su energía a gran escala. Por lo tanto, en los días en que hay poca luz solar, los vientos son débiles o demasiado fuertes (energía eólica), las corrientes de las mareas se reducen (durante las mareas muertas) o las olas son pequeñas (energía de las olas), se necesita alguna otra fuente de energía para proporcionar un suministro regular de 'carga base'. Tradicionalmente, el suministro de carga base a gran escala ha sido proporcionado por combustibles fósiles y fuentes nucleares que se pueden encender y apagar con bastante facilidad según las necesidades.

Si bien las fuentes de energía renovables son renovables y no generan contaminación durante su uso, todas tienen un impacto ambiental, ya que utilizan materias primas y energía durante la construcción. Algunos también son criticados por otras razones: la generación de energía hidroeléctrica requiere la construcción de grandes represas y la inundación de valles con embalses; los paneles solares utilizan costosos elementos de tierras raras en su construcción; los bio-cultivos pueden cultivarse en tierras útiles para otros tipos de agricultura; y las turbinas eólicas son costosas de construir; hay quien piensa que las vistas de los aerogeneradores mejoran el medio ambiente, y otros todo lo contrario.

Cuadro 5.5. Energía geotérmica, ¿es renovable?

La energía geotérmica se puede obtener de tres situaciones geológicas diferentes:

- Cuando las rocas ígneas de grandes plutones se hayan calentado debido a la descomposición de los minerales radiactivos que contienen: se perforan dos pozos y se fractura la roca entre ellos; el agua se bombea por un pozo, se calienta a medida que fluye a través de las fracturas y se extrae del segundo pozo; el calor se extrae del agua caliente y se recicla bombeándolo de nuevo. Esta es la energía geotérmica de roca seca y caliente.
- Donde hay acuíferos de aguas subterráneas profundamente enterrados: el calor de las profundidades de la Tierra ha calentado el agua y se ha mantenido caliente debido a las gruesas capas aislantes de sedimento que se encuentran arriba. Esta agua caliente se bombea y se recicla, de la misma manera que se describe anteriormente. Esta es la energía geotérmica de roca húmeda caliente
- En áreas de actividad volcánica: las aguas calentadas por las cámaras de magma debajo se calientan y pueden ascender desde abajo en piscinas calientes y géiseres; estas aguas calientes pueden extraerse mediante perforaciones y utilizarse para impulsar turbinas en centrales hidrotermales. Esta es la energía hidrotermal.

Tanto en las rocas secas calientes como en las húmedas calientes, el calor se ha acumulado en las rocas durante muchos miles de años y se extrae mucho más rápido de lo que se puede reemplazar, por lo que estos tipos de energía geotérmica no son renovables. Donde hay centrales hidrotermales, el calor se suele extraer a un ritmo más rápido de lo que se renueva. Tales centrales eléctricas deben cerrar eventualmente y otras nuevas deben abrirse en otras partes del campo hidrotermal; por lo que esta energía tampoco suele extraerse de forma renovable.



Central hidrotermal y pozo, Brühl, Alemania occidental

Nota: la energía extraída del suelo por las bombas de calor geotérmicas locales también se denomina a veces energía geotérmica; sin embargo, la mayor parte de la energía extraída de esta manera proviene del calentamiento de la superficie terrestre por el Sol y no de fuentes de calor subterráneas. Este es un recurso renovable, aunque necesita algo de electricidad para operar el sistema.

6 Interacciones del Sistema humano / terrestre

Traducido por Sandra Villacorta y Richard Serrano-Agila

Sin las interacciones del sistema de la Tierra, la vida en la Tierra en general, y la vida humana en particular, no podrían existir. Así que, aunque muchas de las interacciones a continuación tienen efectos negativos o incluso devastadores, no debemos olvidar que, sin la combinación de atmósfera y océano, rocas y suelos, tierras altas y bajas, y las otras características de los sistemas de la Tierra, la vida como la conocemos no sería posible.

6.1 Peligros Naturales

Los procesos naturales se convierten en **peligros** solo cuando la vida humana y la propiedad están en riesgo. Si hay un deslizamiento en una región remota, es solo un deslizamiento no un peligro. La mejor forma de lidiar con un peligro natural es la planificación para asegurar que la gente no viva en áreas peligrosas. Donde esto no es posible, otros medios se toman para reducir o **mitigar** el riesgo.

6.1.1 Erupción

Cuando la elevación del magma alcanza la superficie terrestre erupciona. Algunas erupciones son seguras y espectaculares, pero otras son peligrosamente catastróficas. En rango de diferentes tipos de actividad volcánica depende mayormente de la secreción (viscosidad) del magma. Cuando el magma llega a la superficie y entra en erupción, ya no se le llama magma: o bien fluye de los volcanes como lava, o es lanzado como ceniza fina, grandes bloques sólidos o lava líquida (Figura 6.1.).

Figura 6.1. “Bombas” de lava líquida erupcionadas por la noche por el volcán Stromboli, cerca de Sicilia, Italia, 2013



La viscosidad del magma depende de su composición química, su temperatura y la cantidad de gas volcánico y cristales que contiene. Las secciones 4.1.2.3. (Procesos ígneos) y 4.1.4. (Tectónica de placas) muestran que los diferentes márgenes de las placas generalmente tienen magmas con diferentes composiciones.

Los magmas más comunes en los márgenes constructivos de las placas son los magmas ricos en hierro/magnesio que producen basaltos. En las zonas de subducción, los magmas menos ricos en hierro (intermedios) que producen andesitas son los más comúnmente erupcionados, aunque los magmas ricos en silicio a veces también erupcionan allí. El equilibrio entre el hierro/magnesio y la composición de silicio cambia la secreción: los magmas basálticos ricos en hierro/magnesio son los más acuosos (baja viscosidad) en un extremo de la escala y los ricos en silicio son los menos acuosos (altamente viscosos) en el otro extremo.

Los magmas basálticos también suelen ser los más calientes, y cuanto más caliente es el magma, menos viscoso es también. Los magmas basálticos también tienden a contener pocos cristales, aumentando su secreción. Cuando los magmas contienen mucho gas esto los hace más líquidos también, aunque los magmas basálticos generalmente no contienen mucho gas. En resumen, los magmas basálticos ricos en hierro/magnesio fluyen libremente con baja viscosidad, mientras que los magmas intermedios y ricos en silicio son muy pegajosos con alta viscosidad.

Cuando el magma basáltico acuoso erupciona como lava, sale del suelo a lo largo de extensas grietas superficiales o a través de respiraderos volcánicos y puede ser rociado en el aire como espectaculares fuentes de lava. Los ríos de lava pueden fluir sobre el suelo o moverse más lentamente a medida que las masas bloqueadas arrasan. Son erupciones espectaculares que suelen ser bastante seguras si no te acercas demasiado.

La erupción del magma intermedio y rico en silicio es muy diferente. Erupciona a partir de respiraderos, a veces como lava, pero por lo general el magma se convierte en sólido dentro del respiradero volcánico, dando erupciones mucho más explosivas, como se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Procesos volcánicos y sus efectos

Procesos Volcánicos	Descripción		Imagen	Fuente
Erupción de lava	Usualmente baja viscosidad	La lava puede salir de las fracturas como fuentes de lava, antes de fluir como ríos de lava por las laderas del volcán; estas lavas de rápido flujo resultan en volcanes poco profundos o, si están bajo el agua, en lavas en almohadilla		Fuentes y flujos de Lava en Hawái, 2004
Explosión lateral	Por lo general alta viscosidad; magma solidifica en la ventilación que conduce a la erupción explosiva	Cuando una erupción estalla de lado en lugar de hacia arriba, puede producir una explosión lateral que devasta cientos de kilómetros cuadrados de terreno en la dirección de la explosión		Grandes árboles aplastados por el Monte Santa Elena explosión, 1980 (cifras humanas para escala, fondo derecha).

Erupción de ceniza/bloques		Las plumas de ceniza volcánica hacen erupción en la atmósfera. Los bloques sólidos también son expulsados y la lluvia produce un cono volcánico de lados empinados. La ceniza puede ser llevada por el viento muy lejos		Erupción de ceniza del Monte Santa Elena, Washington Estado, Estados Unidos, 1980
Nube ardiente/flujo piroclástico		Las nubes de ceniza volcánica erupcionadas pueden fluir a gran velocidad por los lados de los volcanes como corrientes de densidad de alta temperatura llamadas nuées ardentes (nubes brillantes) o flujos piroclásticos		Nubes ardientes fluyendo por el volcán Mayon en el Filipinas, 1984
Flujo de lahar	Por lo general alta viscosidad; magma solidifica en la ventilación que conduce a la erupción explosiva	Cuando la ceniza volcánica es recogida por el agua de un lago de cráter, hielo/nieve derretida en un pico volcánico o una tormenta relacionada con una erupción, fluye cuesta abajo como hormigón de alta velocidad, a veces durante muchos kilómetros.		lahar enterrando casas cerca del volcán Galang-gung, Indonesia, 1983

El Índice de Explosividad Volcánica mide la explosividad de las erupciones volcánicas, desde no explosivas hasta mega-colosales, como se muestra en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Erupciones según el Índice de Explosividad Volcánica (VEI), mostrando altura de penacho (m), volumen de material eyectado (m³) y aproximadamente con qué frecuencia ocurre ese tipo de erupción (frecuencia global)

VEI	Descripción	Altura de la pluma Frecuencia global	Volumen	Imagen	Fuente
0	No explosivo	< 100m de altura	volumen de 1000s m ³		Lava resplandeciente que fluye desde el cono volcánico de Pu'u 'Ō'ō, Kilauea, Hawái, 1997
		continua			
1	Ligera	100 - 1000m de altura	volumen de 10,000s m ³		Erupción de Stromboli por la noche; bombas volcánicas disparadas más de 100 metros al aire, Italia, 1980
		Diaria			
2	explosiva	1 – 5km de altura	volumen de 1,000, 000s m ³		Erupción del Monte Sinabung, Medan, Indonesia, que mató a las vides en primer plano, 2014
		Semanal			

3	Severe	3-15 km de altura volumen de 0.01 km ³ Mensual		Nevado del Ruiz; este lahar de ceniza en erupción enterró el pueblo de Armero en el centro, Colombia, 1985
4	Catastrófica	10-25 km de altura volumen de 0.1 km ³ Cada 2 años		Penacho de erupción del volcán Calbuco cerca de Puerto Varas, Chile, 2005
5	Cataclísmica	> 25 km de altura volumen de 1 km ³ Cada 10 años		Vista satelital de la pluma de 800 km de largo de la erupción Puyehue-Cordón 2011, Chile

6	Colossal	> 25 km de altura		<p>Pluma de ceniza del Pinatubo durante la erupción de 1991 en Filipinas</p>
		volumen de 10s km ³		
7	Super colossal	> 25 km de altura		<p>Área estimada cubierta por caída de cenizas de la erupción del volcán Tambora, Indonesia, 1815</p>
		volumen de 100s km ³		
		50-100 años		
		500-1000 años		

8	Mega colossal	> 25 km de altura		<p>El enorme cráter volcánico (caldera) de tres erupciones de Yellowstone, Wyoming, Estados Unidos - hace 630.000 años</p>
		volumen de 1000s km ³		
		> 50 000 años		

Puede ser difícil imaginar lo que las grandes erupciones podrían significar realmente para las personas que viven cerca, o entender cómo pueden afectar a toda la Tierra, pero los estudios de casos de erupciones particulares dan alguna idea.

Cuadro 6.1 Una erupción colosal – Krakatoa, 1883

La erupción VEI 6 de Krakatoa en Indonesia fue la primera erupción colosal que se reportó a nivel mundial, gracias a los nuevos enlaces telegráficos globales de la época y la amplia cobertura periodística, como *The Times* en Londres.

VOLCANIC ERUPTIONS IN JAVA

BATAVIA, Aug 27

Terrific detonations from the volcanic island of Krakatoa were heard last night, and were audible as far as Soerakarta, showers of ashes falling as far as Cheribon. The flashes from the volcano are plainly visible from here. Serang is now in total darkness. Stones have fallen at that place. Batavia is also nearly in darkness. All the gaslights were extinguished during the night. It is impossible to communicate with Anjer and it is feared that some calamity has happened there. Several bridges between Anjer and Serang have been destroyed and a village near the former place has been washed away, the rivers having overflowed through the rush of the sea inland.



El reportaje de la revista Times al día siguiente muestra cómo la escala de la tragedia comenzó a desarrollarse, a medida que las noticias de diferentes fuentes comenzaron a filtrarse.

Impresión de una artista dibujada poco después de la erupción

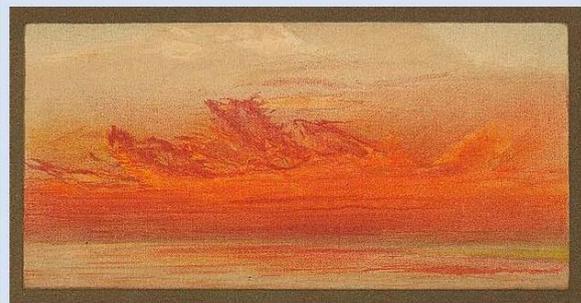
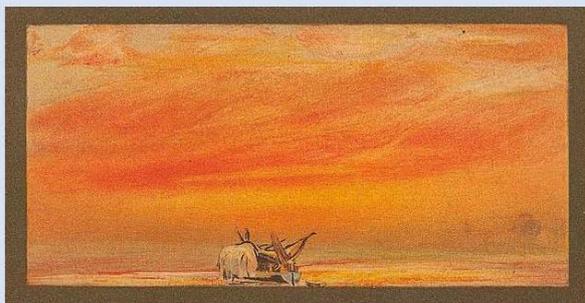
La escala completa del desastre sólo se hizo más clara más tarde, cuando muchas más historias de la erupción fueron recogidas localmente. Geólogos examinaron el área, y observaciones de científicos de todo el mundo fueron recolectadas.

La investigación mostró que:

- Casi tres cuartas partes de la pequeña isla de Krakatoa fueron sido destruidas en la erupción final
- Cerca de 40,000 personas murieron por la erupción y los tsunamis producidos
- Una nube de polvo fue visto ir 27 km en el aire
- Pedazos de piedra pómez de 10 cm de ancho cayeron sobre las cubiertas de los barcos a más de 20 km de distancia

- Enormes islas de piedra pómez flotaron en el océano durante meses
- Casi 20 km³ de material fue expelido.
- La gente oyó la explosión hasta 4 800 km de distancia, en la isla de Rodríguez en el Océano Índico (donde el gobernador pensó que debe haber una batalla marítima en alta mar) y en las ciudades australianas de Perth y Alice Springs.
- Esta explosión fue el sonido más fuerte escuchado en la Tierra en los últimos dos siglos;
- Los tsunamis resultantes tenían más de 30m de altura
- Se registraron pequeñas olas de tsunami en el Canal de la Mancha, al otro lado del globo
- La onda de choque atmosférica se registró en todo el mundo, dando vueltas al globo varias veces
- la ceniza subió 80 km de altura en la atmósfera y afectó los patrones climáticos globales durante años después
- La ceniza fue transportada a través de la atmósfera superior por la corriente en chorro, y fue la primera vez que esto se había visto
- En el año siguiente, las temperaturas globales en el hemisferio norte se redujeron en aproximadamente 1,2°C como la luz solar se reflejó de nuevo en el espacio por las nubes de alto nivel producido por los gases volcánicos liberados
- La ceniza produjo espectaculares puestas de sol en todo el mundo durante varios meses y el Sol y la Luna a veces aparecieron en colores extraños
- Se cree que la energía liberada por la erupción fue unas cuatro veces la potencia de la bomba nuclear más grande jamás explotada.

Estas observaciones dan una buena idea de cómo es en realidad una erupción colosal.



Pinturas del cielo en el "resplendor" causado por la ceniza de la erupción de Krakatoa en 1883, por William Ashcroft

Cuadro 6.2 Erupción mega colosal de Oruanui, hace unos 25.360 años



Impresión artística de la erupción de Oruanui desde el espacio

La erupción mega-colosal de Oruanui del volcán Taupo es la más reciente erupción VEI 8 que afectó a la Tierra. La erupción fue hace unos 25.000 años, mucho antes de que los humanos colonizaran Nueva Zelanda. Esto está bien, porque la erupción probablemente devastó toda Nueva Zelanda. Dado que no tenemos testimonios oculares de la erupción, tenemos que basar nuestras ideas de cómo fue la erupción en la evidencia geológica.

Esto muestra lo siguiente:

- 1170 km³ de material rico en silicio fue expulsado, casi 60 veces la cantidad de material erupcionado por Krakatoa en 1883
- 430 km³ de ceniza se hizo erupción en el cielo, cayendo sobre la mayor parte de Nueva Zelanda como depósitos de ceniza gruesa 18 cm espesores de ceniza se registraron en las islas 1000 km de distancia
- 320 km³ de ceniza se hizo erupción lateral en nubes ardientes, dejando depósitos de hasta 200 m de espesor
- La cámara de magma colapsó formando un enorme cráter (caldera) de más de 30 km de diámetro, ahora lleno por el lago Taupo
- El curso del río Waikato fue movido de tal modo que ahora llega al mar en la costa oeste del Norte
- Isla, en lugar de la costa norte.

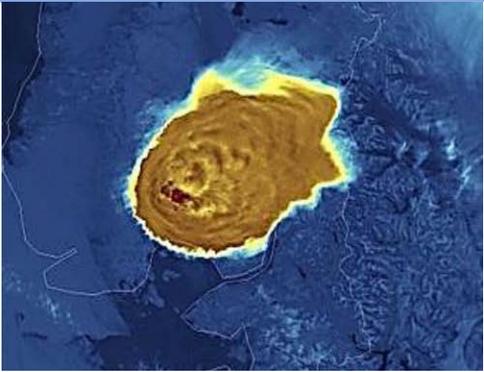
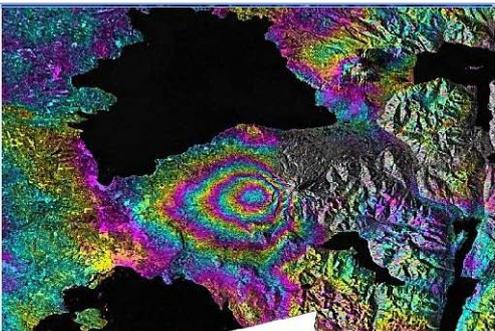
Así es como se vio afectada la zona de Nueva Zelanda, pero no hay registros de los impactos en el resto de la Tierra porque la erupción ocurrió mucho antes de que se inventara la escritura. Al estar en el centro de la Isla Norte, la erupción puede no haber producido tsunamis, pero la erupción de enormes cantidades de ceniza y gas volcánico en la atmósfera debe haber tenido efectos climáticos mundiales.

Si la erupción VEI 7 de Tambora en Indonesia en 1815 pudiera producir un año sin verano y hambruna en Europa, los efectos globales de la erupción VEI 8 Oruanui sólo pueden ser imaginados, ya que hizo erupción tal vez diez veces la cantidad de ceniza y gas volcánico en la atmósfera.

Las erupciones de volcanes de alta explosividad pueden ser tan devastadoras que los científicos han estado trabajando durante muchos años para predecirlas. Se ha probado una amplia gama de diferentes métodos de monitoreo de volcanes; algunos de ellos se describen en la tabla 6.3. El problema con todos estos métodos es que pueden demostrar que una erupción es probable, lo que lleva a la evacuación de las áreas circundantes, solo para que las señales desaparezcan luego, sin ninguna erupción. Después de esto, es menos probable que la gente obedezca la siguiente orden de evacuación. Por lo tanto, si bien sabemos que ocurrirán erupciones de volcanes actualmente activos, predecir el tiempo exacto y la escala de las erupciones sigue siendo una tarea muy difícil.

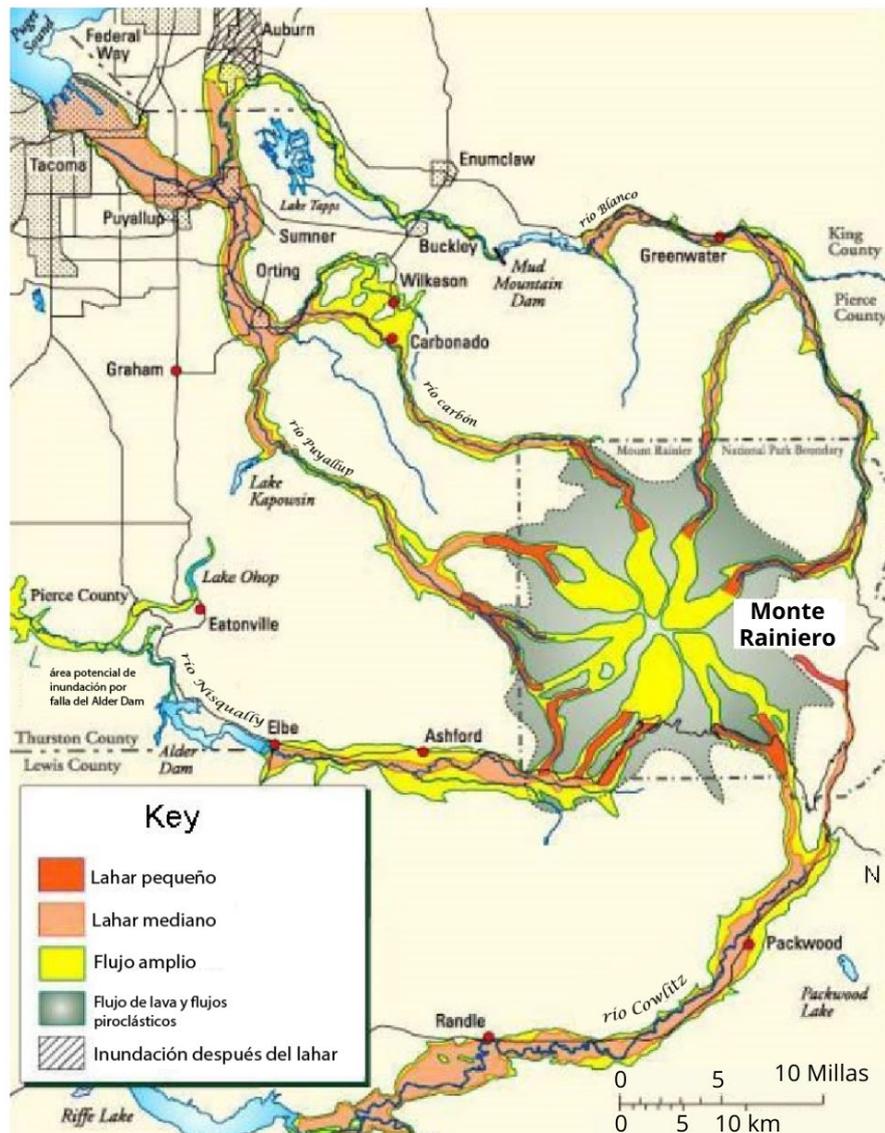
Tabla 6.3. Métodos empleados para el monitoreo de erupciones volcánicas

Método de monitoreo	Descripción	Imagen	Fuente
Sismicidad	Se pueden producir diferentes tipos de temblores terrestres en la acumulación de erupciones volcánicas, incluyendo los temblores armónicos que se cree, se producen por el magma que fluye bajo tierra		Terremotos relacionados con la erupción de Eyjafjallajökull en Islandia en 2010

<p>Emisiones de gas</p>	<p>La ventilación de gas puede aumentar o disminuir antes de las erupciones volcánicas, dando pistas para futuras erupciones</p>		<p>Azufre amarillo en un respiradero de gas volcánico monitoreado por un sensor, White Island, Nueva Zelanda</p>
<p>Deformación de la superficie</p>	<p>La inflamación de un volcán muestra que el magma se está acumulando cerca de la superficie. Esto se puede monitorear midiendo cómo cambia la posición de una estación, usando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y también midiendo cambios en la pendiente, usando medidores de inclinación, y en tensión, usando galgas extensométricas.</p>		<p>Estación de monitoreo GPS, volcán Pitón de la Fournaise, Isla de la Reunión, Océano Índico</p>
<p>monitoreo termal</p>	<p>El movimiento de magma, la liberación de gas y la actividad hidrotérmica pueden calentar un volcán antes de una erupción; esto puede ser detectado por satélites y en tierra. Las mediciones del suelo pueden medir la temperatura de la superficie directamente, o monitorear cambios en aguas termales o pozos de agua.</p>		<p>Imagen térmica; alto flujo de calor (rojo, marrón y amarillo) en el cráter de Calbuco en Chile, 2015, sobre el fondo azul frío de la tierra</p>
<p>Sensores remotos</p>	<p>Satélites pueden monitorear la temperatura, y también la deformación del terreno, así como la liberación de gases volcánicos y la erupción de nubes de cenizas producidas por los volcanes.</p>		<p>Deformación del suelo mostrada en una imagen satelital en falso color, vinculada a la erupción de 2015 en Calbuco, Chile.</p>

La manera más efectiva para mitigar o reducir el riesgo de erupciones volcánicas es planificando el uso del terreno para detener la construcción de viviendas en áreas peligrosas. Estas áreas peligrosas pueden ser investigadas revisando las formas del terreno y su geología en busca de señales de erupciones peligrosas en el pasado, y luego producir mapas de peligros (por ejemplo, la Figura 6.2).

Figura 6.2. Mapa de peligros volcánicos del Monte Rainiero (Washington EE. UU.), que predice lo que puede suceder durante una erupción volcánica mayor.



Cuando no es posible construir fuera de zonas peligrosas, se toman medidas para prepararse ante probables erupciones devastadoras. Esto incluye el monitoreo de volcanes y preparación para respuestas de emergencia a alertas. La población es capacitada para actuar en caso de emergencia, y se establecen sistemas para advertir a la población. Los servicios de emergencia están capacitados para evacuar a las personas y en métodos de búsqueda y rescate. Se hacen preparativos para ayudar a la población a hacer frente a la catástrofe de la pérdida de viviendas y bienes, y para reconstruir los asentamientos en el mismo lugar o en otro.

Donde se han establecido sistemas como estos, han tenido éxito. La mitigación de la colosal erupción VEI 6 de Pinatubo en las Filipinas en 1991 salvó 5000 vidas y 250 millones de dólares en propiedades. La mitigación de la catastrófica erupción VEI 3 de 1995 en la isla de Montserrat en las Indias Occidentales salvó 11.000 vidas.

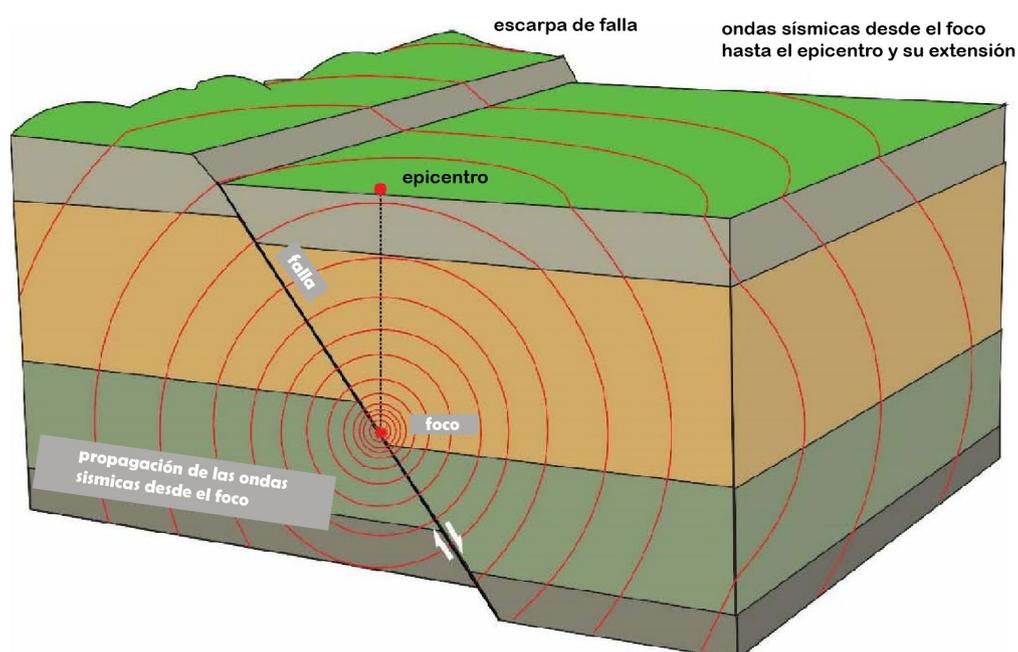
6.1.2 Sismo

Los grandes terremotos son causados por fallas, pero esto no quedó claro hasta los estudios de HF Reid en 1911. Antes de eso, la gente tenía poca idea de lo que causaba los terremotos, por lo que no es sorprendente que muchos mitos e historias hayan surgido en todo el mundo para explicar estos eventos catastróficos.

Las presiones en la Tierra se acumulan hasta que las rocas subterráneas se rompen o fracturan a lo largo de una falla, cuando ambos lados se mueven entre sí. El punto de fractura, donde hay más movimiento, es el **foco** (o hipocentro). La ruptura repentina produce ondas de choque que irradian en todas direcciones como ondas de terremoto. Las ondas de choque que viajan a través de la Tierra se llaman **ondas sísmicas**.

Donde las ondas de choque alcanzan la superficie de la Tierra, directamente por encima del foco, es donde el terremoto es más fuerte, y donde hay más daño; este es el epicentro (Figura 6.3). Las ondas de choque irradian a través de la superficie de la Tierra desde el **epicentro**, como ondas en un estanque, reduciendo el poder a medida que lo hacen. Normalmente la mayoría de los daños sísmicos ocurren en el epicentro, aunque otros factores, como la fuerza del suelo y de los cimientos, pueden causar más daños en algunos lugares que en otros.

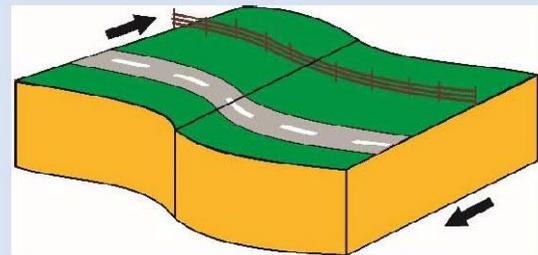
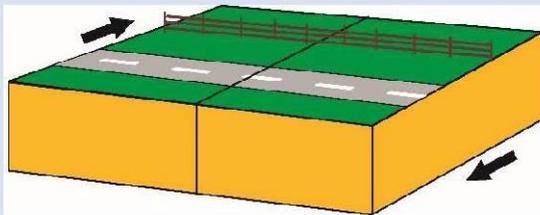
Figura 6.3. Un terremoto produciendo ondas sísmicas



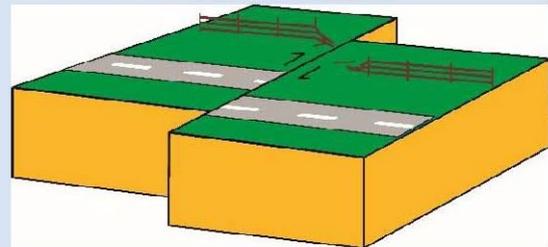
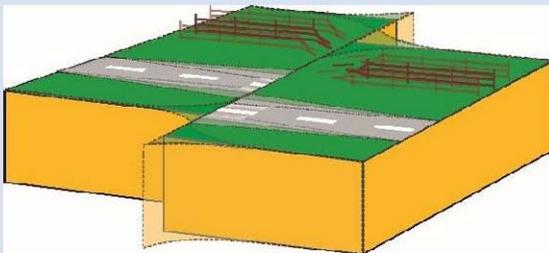
Cuadro 6.3. La teoría del rebote elástico

Una teoría científica para explicar los terremotos fue desarrollada en 1911 por H.F. Reid, estudiando partes de la falla de San Andrés en California, EE. UU. Reid trazó el movimiento de los puntos a cada lado de la falla y se dio cuenta de que la tierra se movía en diferentes direcciones a cada lado de una falla antes del terremoto. A medida que la presión aumentaba, la tierra de ambos lados se doblaba. Finalmente, no podía doblarse más y la falla se rompió, enviando ondas de choque en un terremoto. Lo llamó su teoría del rebote elástico porque el suelo rebotó elásticamente cuando la falla se movió.

1. La valla y la carretera se construyen sobre una falla bloqueada
2. La presión se acumula, la roca, la valla y la carretera se doblan



3. La falla se rompe repentinamente, la roca rebota elásticamente (¡bo-ing!) causando un terremoto
4. Después del terremoto, la falla se ha movido, la valla y el camino están rectos de nuevo, pero se rompen a través de la falla



Movimiento de la tierra en la teoría del "rebote elástico de H.F. Reid"

Los pequeños terremotos, generalmente llamados temblores de tierra, son tan pequeños que sólo pueden ser detectados por dispositivos de detección sísmica llamados **sismómetros**. Los sismómetros son tan sensibles que pueden detectar las vibraciones de camiones pesados o trenes, explosiones de canteras e incluso el grito de la multitud cuando se marca un gol en un estadio de fútbol. Las redes de sismómetros se han instalado en todo el mundo y no sólo muestran el tamaño del terremoto, sino también la ubicación de su epicentro y la profundidad de su foco. Este trabajo fue usado para mapear las ubicaciones y profundidades de los terremotos en la tabla 4.22, usado como evidencia para la teoría tectónica de placas.

Cuadro 6.4. Sismómetros

Los sismómetros tienen una masa suspendida en su interior, de manera que cuando la Tierra mueve el sismómetro, la masa interior se mueve más lentamente. La diferencia entre el movimiento del sismómetro y la masa interior se magnifica y se registra con un bolígrafo en un tambor que gira a lo largo del tiempo, o como un registro electrónico. Los sismómetros de exterior suelen estar colocados en agujeros en el suelo con el equipo de control cerca, incluido el equipo para enviar los datos a un laboratorio de registro. Los sismómetros en interiores deben ser montados en pisos bajos de hormigón; los pisos superiores de los edificios vibran demasiado. Los teléfonos móviles modernos tienen un sensor de vibración similar, que se puede utilizar como sismómetro descargando la aplicación correcta.



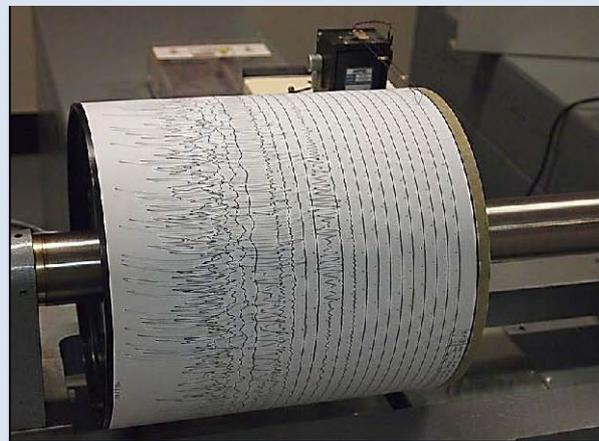
Equipo de control para uno de una serie de sismómetros situados en un agujero cercano, Golfo de Corinto, Grecia



Equipo de control y suministro de electricidad de reserva para un sismómetro del Golfo de Corinto.



Dos sismómetros, uno más antiguo a la izquierda, otro más moderno a la derecha, Laboratorio Sismológico de Patras, Grecia



Registro de tambor de un sismómetro

Los sismómetros pueden medir la potencia o magnitud de un terremoto en el epicentro. Esto solía ser grabado usando la escala de Richter, pero hoy en día la escala de magnitud de momento se utiliza en su lugar. El poder de un terremoto en cada nivel es diez veces la magnitud del nivel anterior de terremoto (tabla 6.4).

Tabla 6.4. Escala de magnitud del momento

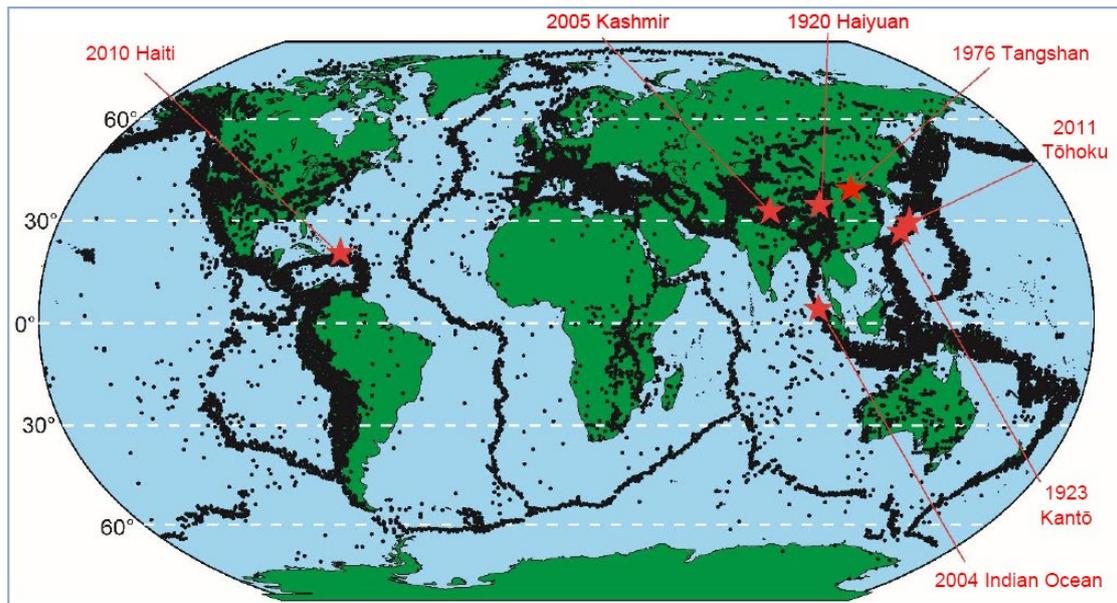
Magnitud del momento	Descripción	Daño	número aprox. por año
Menos de 3	No sentida por la gente	Ninguno	Gran número
3 -5	Menor	Leve	150,000
5 -7	De moderado a fuerte	De leve a perjudicial	150
7 -8	Mayor	Serio	15
Mas de 8	Un "gran" terremoto	Catastrófico	1

El terremoto más grande registrado hasta ahora fue el terremoto de magnitud 9.5 en Chile en 1960. Un terremoto de magnitud 10 nunca ha sido registrado.

En la Tabla 6.5 se detallan algunos terremotos importantes, registrados en orden aproximado al número de muertes.

Tabla 6.5. Algunos de los terremotos más peligrosos, según el número de muertes

Terremoto	Fecha	Ubicación	Muertes	Magnitud	Comentarios
Haiyuan	16 diciembre, 1920	Ning-Gansu, China	Mas de 270,000	7.8	Temblores, fracturas de tierra y deslizamientos,
Tangshan	28 Julio, 1976	Hebei, China	Mas de 240,000	7.8	Sacudidas magnificadas por el suelo blando
Océano Indico	26 diciembre, 2004	Off Sumatra, Indonesia	Mas de 230,000	9.2	La mayoría de las muertes causadas por el tsunami
Haití	12 enero, 2010	Haití, Mar del caribe	100,000 – 316,000	7.0	La poca profundidad del foco causó un fuerte temblor
Kantō	1 setiembre, 1923	Kantō, Japón	Mas de 100,000	7.9	Las tormentas de fuego causadas por el terremoto causaron muchas muertes
Kashmir	8 octubre, 2005	Muzaffarabad, Pakistán	Mas de 85,000	7.6	Temblor severo
Tōhoku	11 March, 2011	Off Sendai, Japón	Mas de 15,000	9.0	La mayoría de las muertes causadas por el tsunami; central nuclear dañada



La Tabla 6.5 muestra algunos de los diferentes factores que pueden hacer que los terremotos sean tan peligrosos. En la mayoría de los terremotos la principal causa de muerte es el temblor de la superficie del suelo causando el colapso de los edificios. Teniente de policía H.N. Powell describió esto durante el terremoto de 1906 en San Francisco: *"Valencia Street ... comenzó a bailar y a retroceder y rodar en olas como un mar agitado. ... Era imposible para un hombre pararse. ... Las casas se resquebrajaban, se doblaban y se rompían igual que la calle misma."* El temblor y la destrucción pueden ser mucho peores cuando el suelo es blando, como cuando se han construido edificios en antiguos depósitos lacustres o en suelo regenerado.

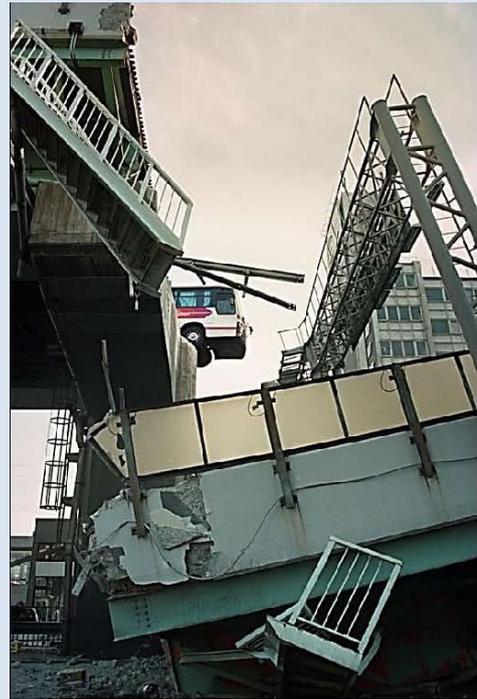
Vale la pena recordar el viejo refrán, *'No son los terremotos los que matan a la gente, sino los edificios'*. Las fallas profundas a veces pueden llegar a la superficie como fracturas, dañando grandes estructuras como puentes, presas y centrales nucleares. Los terremotos provocan deslizamientos de tierra y avalanchas en zonas con pendientes pronunciadas. La fractura de la red eléctrica y de gas provoca incendios, que no pueden controlarse si también se ha roto la red de agua. Algunos terremotos causan tsunamis, que pueden ser muy dañinos en las zonas costeras. Todos estos factores aumentan el riesgo de terremotos.

La Tabla 6.5 muestra que el número de muertes puede no estar estrechamente relacionado con la magnitud de un terremoto. Donde los terremotos golpean pueblos y ciudades modernas que se han preparado para ellos, el número de muertos suele ser mucho menor que los terremotos en las regiones menos desarrolladas. En las zonas menos desarrolladas, los edificios pueden haber sido mal contruidos y la recuperación puede ser lenta debido al colapso de las comunicaciones y los preparativos deficientes. Por ejemplo, el número de muertos por el terremoto de magnitud 7.0 en Haití en 2010, que se muestra en Tabla 6.5, fue de más de 100.000 porque la mayoría de los edificios eran de hormigón mal armado. Cuando un terremoto de magnitud mucho mayor de 8,8 sacudió Chile en el mismo año, el número de muertos fue de sólo 520, porque los códigos de construcción resistentes a los terremotos se habían hecho cumplir.

Cuadro 6.5. El terremoto de Kobe, Japón, 1995 – magnitud 6.9

Estudiante de secundaria de Akatsukayama Yasuyo Morita (17 años)

'En ese momento yo estaba durmiendo. Primero pensé que mi madre me estaba despertando, pero noté que gritó: ¡es un terremoto! No sabía qué hacer en la oscuridad. Las escaleras estaban destruidas, así que como pude con los pies descalzos y en pijama. No dejaba de llorar debido a la oscuridad y porque hacía mucho frío: estaba en pánico. Hay [un] montón de casas de madera en mi barrio, que se destruyeron sin clemencia. Pronto amaneció y pude ver mis alrededores. Algunos se volvieron locos. Fui al hospital con mi abuela, que fue rescatada desde escombros. Perdió un dedo por el sismo. Llegamos al hospital. Era un infierno total. Un hombre sangrando por heridas en su cabeza, un niño – púrpura tal vez debido a la asfixia. Estaba lleno de gente. Mi abuela fue desinfectada, eso es todo. Su lesión no fue grave en comparación con otras. Las casas de mis abuelos, ambas están quemadas. No pudimos sacar nada. Fue triste ver que la ciudad que me gusta cambió de un momento a otro. Ahora vivo en uno de [los] refugios y me asusto durante la noche. Quiero ver a Kobe reconstruido de nuevo pronto.'



Tomado de: <http://www.sln.org.uk/geography/7-11kobe.htm>

El terremoto sacudió la ciudad de Kobe en Japón a las 05.46 de la mañana del 17 de enero de 1995, cuando la mayoría de la gente todavía dormía. El terremoto midió 6,9 en la escala de Magnitud de Momento; se centró en una línea de falla activa a una profundidad de 17 km. En algunas áreas hubo hasta tres minutos de sacudidas violentas. El movimiento en la falla fue provocado por la subducción de la placa del mar de Filipinas bajo la placa euroasiática, que lleva a Japón.

El epicentro estaba a 20 km de la ciudad de Kobe, con una población de 1,5 millones de personas. Alrededor de 4.600 de la población de Kobe perdieron la vida, principalmente por el colapso de edificios. Muchos incendios asolaron la ciudad, causados por la ruptura de las líneas de gas y electricidad. El suelo más blando en la zona portuaria se licuó, de modo que los edificios se derrumbaron y las grúas cayeron al mar. Muchos enlaces de transporte fueron destruidos y una autopista elevada a través de la ciudad se derrumbó. Los cables eléctricos, las tuberías de gas, agua y alcantarillado se rompieron, lo que aumentó los problemas. Los servicios de rescate no pudieron llegar fácilmente a la ciudad y, una vez allí, se encontraron con carreteras bloqueadas y comunicaciones rotas. La vía del tren bala de alta velocidad y otros dos ferrocarriles se rompieron, cortando las comunicaciones en Japón por la mitad.

La mayoría de los edificios que se derrumbaron habían sido construidos según los códigos de construcción de 1960; los edificios construidos según los códigos de construcción más recientes sobrevivieron en su mayoría. Después del terremoto, muchos voluntarios viajaron a la zona para ofrecer ayuda, se mejoraron los planes de prevención de desastres del país y fueron mucho más

eficaces en un terremoto posterior, se construyeron muchos refugios a prueba de terremotos, y la economía de la zona volvió a la normalidad casi en un año.

Cuadro 6.6. El terremoto de Kashmir, Pakistán, 2005 – magnitud 7.6

Shazia Ahmed – una madre

"¡Tengo hambre!" Estas fueron las primeras palabras que mi hija me dijo cuando la saqué de los escombros que una vez fueron nuestra casa. Nunca había sentido tanto alivio en toda mi vida. Aunque Umbreen estaba polvorienta y magullada, estaba viva, y en ese momento no podía haber habido un milagro mayor.

Habían sido tres días de terror agonizante antes de que mi marido y vecinos pudieran rescatar a nuestro bebé. Tres días de tortura que sólo una madre podía entender. La agarré y frenéticamente comprobé si faltaban extremidades, dedos o dedos. La llevé al hospital de campaña por la montaña y, aparte de algunos cortes y moretones, los médicos le dieron un certificado de buena salud. Es un milagro que esté viva y bien....

Nuestra aldea consiste ahora sólo 200 tiendas de campaña en la base de la montaña. La casa de todos ha sido destruida. Afortunadamente, el personal de Sungi (un socio local de Oxfam) vino a ayudarnos. No sólo proporcionaron tiendas de campaña, mantas y agua potable limpia, sino que proporcionaron un hombro en el que apoyarse en el momento que más lo necesitábamos.

A veces solo necesitas que alguien te escuche y comparta tu dolor.'

De: <https://www.oxfam.org.nz/what-wedo/emergencias/previous-emergencias/kashmirearthquake-2005/stories-from-balakot>



Shazia con su bebé, que sobrevivió por tres días en los escombros en Balakot antes de ser rescatadas.



La ciudad devastada de Balakot

El terremoto de Kashmir golpeó el norte de Pakistán a las 08.50 horas de la mañana del 8 de octubre de 2005. Estaba en la zona de colisión de las placas tectónicas eurasiática e india, que formaban la cordillera del Himalaya. El terremoto fue uno de los peores desastres naturales que jamás haya azotado el sur de Asia. Se estima que el número de muertos fue de más de 85.000; la ciudad de Muzaffarabad fue la más afectada. Muchas más personas resultaron heridas y 3,5 millones quedaron sin hogar. Muchas escuelas colapsaron y los hospitales y servicios de rescate fallaron. Las ciudades y aldeas fueron completamente arrasadas en zonas montañosas remotas. Las carreteras bloqueadas por deslizamientos dificultaron aún más los servicios de rescate. Hubo muchas réplicas fuertes. Mediciones posteriores realizadas por satélite mostraron que el terreno sobre el epicentro había aumentado varios metros.

Hubo una enorme respuesta de rescate nacional e internacional inmediatamente después, pero la reconstrucción de las instalaciones en la región durante los meses y años siguientes fue lenta.

En los países que pueden ser afectados por grandes terremotos, el público debe ser protegido. Las medidas de protección incluyen los intentos de pronosticar (Tabla 6.6) y predecir terremotos dañinos, construir edificios que puedan resistir los terremotos y tener planes en marcha para hacer frente a los efectos del terremoto.

Tabla 6.6. Métodos de predicción de terremotos

Método de monitoreo	Descripción	Imagen	Fuente
Brecha sísmica en el espacio	A lo largo de las fallas mayores hay a menudo áreas con muchos terremotos y otras áreas con pocos. Donde hay han sido pocos terremotos, la tensión puede estar aumentando, por lo que es donde se espera el próximo terremoto.		La brecha de Loma Prieta en la falla de San Andrés, California, EE. UU. El diagrama superior muestra que hay habían sido pocos los terremotos en la brecha hasta el 'grande' y sus réplicas en 1989 - diagrama inferior.
Brecha sísmica en el tiempo	Algunos terremotos tienen un patrón de tiempo bastante regular, lo que permite pronosticar la hora del siguiente terremoto		Los terremotos de Tōkai en Japón han golpeado regularmente, cada 100-150 años, en 1498, 1605, 1707 y 1854. Se pronostica que el próximo terremoto será pronto
Cartografía de peligro sísmico	Esto utiliza todos los datos disponibles para mostrar las áreas de mayor riesgo sísmico		Mapa de peligros sísmicos de América del Sur, preparado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos

Los métodos de predicción de terremotos pueden mostrar cuándo y dónde son probables los

terremotos mayores. Pero los métodos de predicción de terremotos tratan de identificar con mayor precisión el lugar y el tiempo probables. Varios de ellos se están investigando científicamente, pero hasta ahora no se ha demostrado que ninguno sea fiable. Los métodos incluyen:

- Supervisión de la elevación del suelo y la inclinación cerca de fallas
- Medición de pequeños terremotos usando sismómetros en caso de que estos sean antecedentes de un gran terremoto
- Monitoreo de los niveles de vigilancia en los pozos de agua, en caso de que el aumento de la presión haga que las aguas subterráneas aumenten o que la tensión creciente provoque más fracturas, cuando los niveles de agua desciendan.
- Control de la emisión de gas radón desde el suelo - en la acumulación de un terremoto, pequeñas fracturas pueden liberar más gas radón de lo habitual, que se puede detectar en las aguas subterráneas
- La capacidad de las rocas para transmitir electricidad (su resistividad eléctrica) puede cambiar antes de un terremoto. Cuanta más agua contiene una roca, mejor puede transmitir electricidad, por lo que, si se forman más fracturas antes de un terremoto, estas se llenan de agua y pueden transmitir electricidad de manera más efectiva (reduciendo así su resistividad a las corrientes eléctricas).

Donde los edificios se construyen para resistir los terremotos, y los códigos de construcción resistentes a los terremotos se hacen cumplir, los daños pueden reducirse dramáticamente y también las estadísticas de muerte. En la tabla 6.7 se muestran diferentes métodos de construcción utilizados para ayudar a los edificios a resistir los daños causados por terremotos.

Tabla 6.7. Métodos de construcción para resistir los daños por terremotos

Método de resistencia a los terremotos	Descripción	Imagen	Fuente
Fuerza durante la sacudida	Las ondas sísmicas se mueven hacia arriba y abajo y hacia ambos lados.	Las paredes cortantes están hechas de paneles que pueden sacudirse sin romperse	Paredes de corte construidas para dar fuerza adicional a un edificio, Oregón, EE. UU.

		Los pernos de cimentación atan las paredes de forma flexible a los cimientos		Pernos y correas de cimentación, Napa, California, Estados Unidos
Aislamiento durante el temblor	Se puede usar una amplia gama de métodos para separar edificios del suelo sacudido, incluyendo amortiguadores de goma, muelles, llantas y cojinetes de bolas.			Métodos de prueba de mesa de sacudidas de aislamiento de base. El edificio normal no aislado a la izquierda está colapsando. Universidad de California, San Diego, EE. UU.
Edificio con concreto armado	Los edificios de concreto armado se construyen con redes de barras (barra de refuerzo) - barras de acero dentro del hormigón que pueden detener la sacudida que hace que el hormigón frágil falle.			Red de barras de acero para cimentación de puentes de hormigón
Redes resistentes de agua, gas y electricidad	La red eléctrica y de gas puede estar equipada con dispositivos que se cortan automáticamente para evitar incendios; las redes de agua con juntas flexibles resisten daños, por lo que el suministro de agua no se interrumpe durante los incendios causados por terremotos.			Válvula de corte automática instalada en una tubería de gas, Seattle, Estados Unidos

En las zonas afectadas por terremotos, las autoridades deben poner en marcha planes para proteger a la población. A menudo tienen cuatro fases: mitigación (reducción de los efectos probables, por ejemplo, por los métodos de la Tabla 6.7), preparación (incluida la planificación administrativa, preparación y capacitación), respuesta (cómo deben reaccionar los servicios de emergencia durante y poco después del terremoto), y la recuperación (empezando a preservar y reconstruir la comunidad). Parte de la preparación ante los terremotos es la capacitación de los alumnos en las escuelas y del público en general sobre qué hacer durante y después de un terremoto. La parte más importante de esto es que cada familia, escuela, fábrica, oficina, etc. desarrolle su propio plan.

Cuadro 6.7. Un plan de sismos

La Alianza País frente a Terremotos en California, EE. UU., destaca 'Siete pasos para la seguridad ante terremotos':

Prepararse

Paso 1: Asegure su espacio - asegúrese de que los muebles, etc. no se caigan peligrosamente

Paso 2: Planea estar seguro - haz tu propio plan de desastres y asegúrate de que todos sepan lo que contiene

Paso 3: Organizar suministros para desastres - donde se pueden encontrar fácilmente

Paso 4: Minimice las dificultades financieras - organizando sus documentos, fortaleciendo el edificio y contratando un seguro.



Señal de advertencia de terremoto, Vancouver, Canadá

Sobrevivir y recuperarse

Paso 5: Dejar caer, cubrir y mantener - protegerse bajo muebles pesados durante el terremoto

Paso 6: Mejorar la seguridad - salir del edificio si puede, ayudar a los heridos y prevenir otras lesiones

Paso 7: Reconectar y restaurar - inmediatamente después, conectar con otros, reparar los daños y reconstruir la comunidad, pero la reconstrucción de las instalaciones en la región durante los meses y años siguientes es lenta.

6.1.3 Tsunami

Los tsunamis son grandes olas de agua causadas por terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos que caen en el agua o impactos de meteoritos; "tsunami significa 'ola portuaria' en japonés. Los tsunamis fueron llamados 'maremotos' en el pasado, aunque no tienen nada que ver con las mareas.

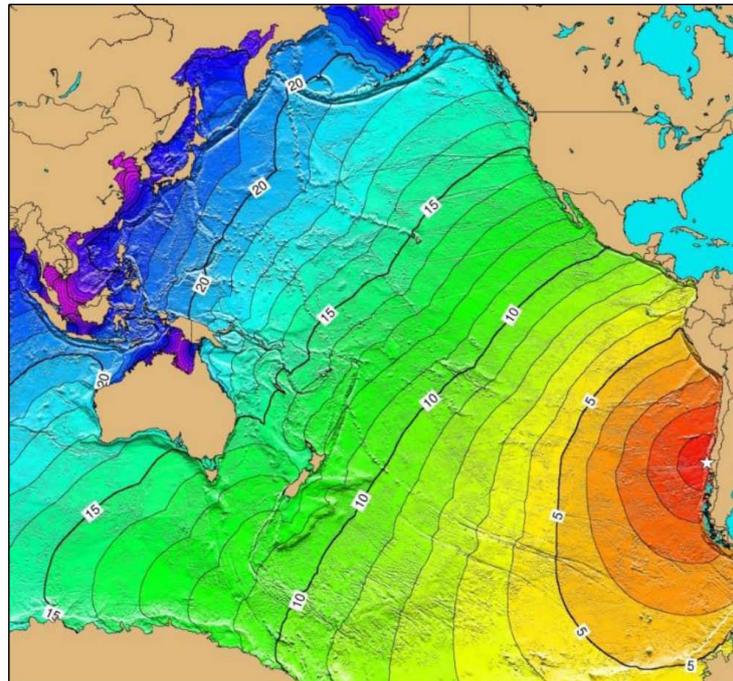
La altura de las olas de tsunami que llegan a la costa depende del tamaño del proceso de activación y la forma de la costa. En mar abierto, las olas de tsunami son bajas, pero viajan a velocidades de hasta 800 km/hr-1. A medida que alcanzan aguas poco profundas cerca de las costas, la fricción ralentiza la base de la ola, causando que se vuelva constantemente más alta. Las costas poco profundas producen olas más altas que las costas escarpadas. Las olas de tsunami más grandes pueden alcanzar alturas de más de 40 metros, la altura de un edificio de 12 pisos.

No es sólo la altura de las olas lo que está dañando, sino que cuando los tsunamis llegan a tierra enormes volúmenes de agua pueden fluir en tierra. Estos pueden fluir hasta 10 km tierra adentro barriendo todo lo que no está atado con ellos. Es por eso por lo que los tsunamis pueden machar a mucha gente.

Grandes olas de tsunami pueden viajar a través de amplios océanos. El terremoto más poderoso jamás registrado, el terremoto de Valdivia de 1960 en Chile, causó un tsunami que atravesó el Océano

Pacífico, devastando la isla de Hawái en el camino, y llegando a Nueva Zelanda, Australia, Filipinas, Japón y China (Fig. 6.4).

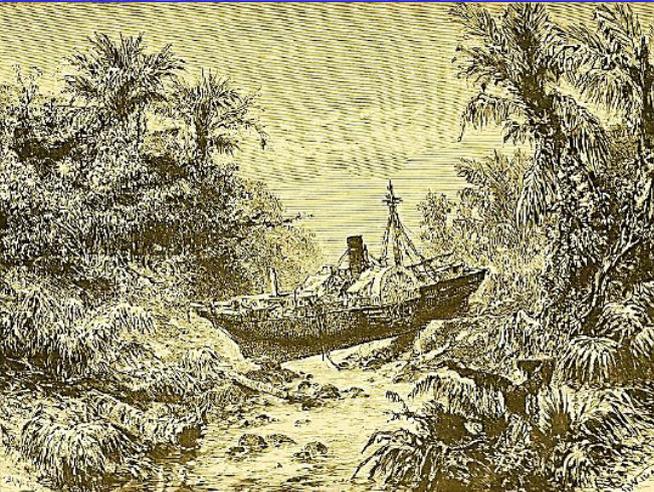
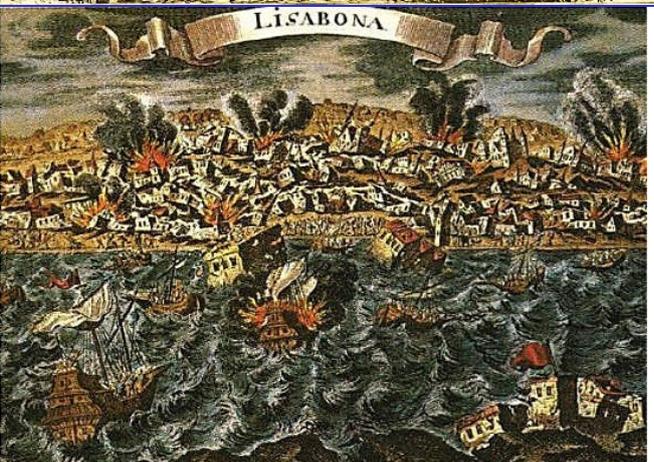
Figura 6.4. El tsunami causado por el terremoto de Valdivia de 1960, mostrando los tiempos de viaje en horas a través del Océano Pacífico



Los detalles de algunos tsunamis grandes y devastadores se muestran en Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Grandes tsunamis y sus efectos

Tsunami	Descripción	Imagen	Fuente
2011 tsunami de Tōhoku, Japón	Un terremoto de magnitud 9.0 en alta mar causó el tsunami, causando más de 15.000 muertes y el colapso de la central nuclear de Fukushima, con la evacuación de cientos de miles de residentes (Tabla 6.5 arriba).		El Tōhoku, tsunami japonés. Humo negro de una refinera de petróleo dañada

<p>2004 tsunami del Océano Índico</p>	<p>230.000 personas fueron asesinadas en Indonesia y otros países costeros del Océano Índico, incluyendo Sri Lanka, India y Somalia (Tabla 6.5 arriba).</p>		<p>El tsunami de 2004 en Ao Nang, Provincia de Krabi, Tailandia</p>
<p>1883 erupción de Krakatoa</p>	<p>Más de 36.000 muertes fueron causadas por el tsunami de la erupción del volcán Krakatoa</p>		<p>Resultado del tsunami causado por la erupción de Krakatoa de 1883.</p>
<p>1755 terremoto de Lisboa, Portugal</p>	<p>Más de 40.000 muertos por el terremoto, el tsunami y los incendios; la capital portuguesa, Lisboa, quedó casi completamente destruida.</p>		<p>Una visión artística del terremoto y tsunami de Lisboa de 1755</p>

Cuadro 6.8. El tsunami de 2011, Tōhoku, Japón

El viernes 11 de marzo de 2011, el terremoto más poderoso jamás registrado en Japón (magnitud 9.0) desencadenó un gran tsunami que alcanzó alturas de 40 metros y fluyó 10 km hacia el interior.

Esta es la historia de los escolares del distrito de Unosumaicho, grabada por los reporteros Sho Komine y Yasushi Kaneko del periódico nacional Yomiuri Shimbun en Japón.



Hospital público en Minamisanriku después del tsunami de 2011

"El tsunami azotó el distrito de Unosumaicho en Kamaishi, con inundaciones que alcanzaron el tercer piso de la escuela secundaria Kamaishi-Hogashi y la cercana escuela primaria de Unosumai. Antes del último terremoto, las dos escuelas habían realizado conjuntamente simulacros de desastre. En la escuela secundaria, el sistema de anuncios falló justo después del terremoto y no pudo transmitir las llamadas de evacuación. Sin embargo, los estudiantes fueron capaces de dejar rápidamente el edificio y el gimnasio como lo habían practicado, y cogieron de las manos de los estudiantes de la escuela primaria - que también estaban a punto de escapar del edificio - y juntos corrieron a un terreno más alto." "Un estudiante de primer grado de la escuela media, Dai Dote, de 13 años, tomó las manos de dos niñas de la escuela primaria de tercer grado [8 años]. Al subir la colina, una de las chicas lloró y comenzó a hiperventilarse, mientras que la otra se quedó sin poder hablar. "Está bien", dijo Dote a las niñas mientras corrían a la cima de la colina, a más de dos kilómetros de sus escuelas. Una vez que confirmaron la seguridad de todos sus amigos, las chicas parecían aliviadas, dijo Dote." Una maestra le dijo al Yomiuri Shimbun: "Les he dicho repetidamente a los niños en clase que podríamos experimentar un tsunami más grande de lo que nunca habíamos esperado. Es casi un milagro que tantos niños fueron salvados. Estoy orgulloso de los niños por tomar decisiones [salvavidas] por su cuenta."

Cuadro 6.9. El tsunami del Océano Índico, 2004

El 26 de diciembre (el día después de Navidad/Día de Boxeo) en 2004, la colegiala inglesa de 11 años Tilly Smith estaba en la playa con su padre, madre y hermana menor en Phuket, Tailandia.

Más tarde, le contó su historia a un reportero.



Ola de tsunami golpeando la costa de Phuket

La historia de Tilly:

"Recordé que me lo habían enseñado en una clase de geografía. Era exactamente la misma espuma,

como se consigue en una cerveza, era una especie de chisporroteo. Le dije: 'Definitivamente va a haber un tsunami, y mi madre no me creyó, y siguió caminando. Pero mi papá me creyó y Holly, mi hermana, se estaba asustando mucho. Así que volvió corriendo a la piscina [en el hotel] y mi papá volvió con ella. Y luego dije, "ok, mamá, voy, de manera definitiva voy, definitivamente va a haber un tsunami. Y ella simplemente, "Hmmm - "adiós entonces'. Así que volví y ella estaba reaccionando un poco más cuando me había ido, y así que volvió para ver si estaba bien. Y en el momento en que regresó, el agua empezó a subir por la playa.

"Bueno, le dije a mi papá y mi papá le dijo al guardia de seguridad y el guardia de seguridad le dijo a la gente en la playa. Había unas cuantas familias en la playa, justo en el agua.

"Si no fuera por el señor Kearney (mi profesor de geografía), entonces probablemente estaría muerto y también mi familia. Y estoy muy orgulloso de que me lo enseñara a tiempo.

"Mi mamá no se dio cuenta porque no se le enseñó sobre los tsunamis cuando era más joven y no se dio cuenta de lo que era un tsunami. Ella ni siquiera sabía que esa palabra existía. Así que creo que es muy bueno realmente conocer la palabra y ser enseñado sobre eso."

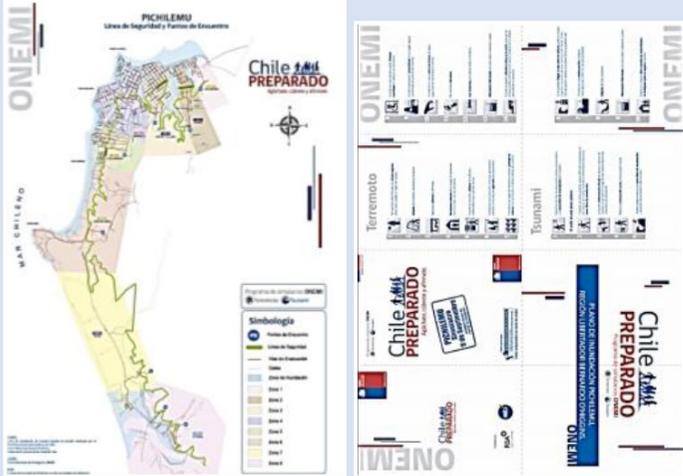
La familia de Tilly subió al hotel y vio cómo las olas del tsunami llenaban la piscina de escombros. Tilly pudo haber salvado casi 100 vidas en la playa ese día, un día en que más de 8.000 personas murieron sólo en Tailandia.

El Programa Nacional de Mitigación de Riesgos de Tsunami en los Estados Unidos tiene las tres partes que se muestran en la Figura 6.5, guía de advertencia, mitigación y evaluación de riesgos, como en Tabla 6.9.

Figura 6.5. logo del Programa Nacional de Mitigación de Riesgos de Tsunami en los Estados Unidos



Tabla 6.9. Métodos usados para incrementar la seguridad durante tsunamis

Métodos	Descripción	Imagen	Fuente
<p>Evaluación del peligro</p>	<p>Se evalúan los posibles peligros y se publican los resultados para ayudar a la comunidad. Este folleto de advertencia chileno contiene información sobre zonas de riesgo de tsunami, puntos de encuentro, áreas de atención de emergencia y rutas de evacuación.</p>		<p>Folleto de alerta de tsunamis en la ciudad costera de Pichilemu en el centro de Chile</p>
<p>Mitigación</p>	<p>peligro por tsunami se reduce construyendo muros contra tsunamis</p>		<p>Un muro contra tsunami en Tsushi, Japón</p>

<p>Advertencia y orientación</p>	<p>El sistema de evaluación e información de los tsunamis en las profundidades oceánicas (DART) se basa en una serie de boyas a través de los océanos, que detectan cambios de presión causados por tsunamis, de modo que las alertas tempranas pueden ser emitidas.</p>		<p>La boya DART II y el sistema de alerta de red.</p>
	<p>Se capacita al público en lo que debe hacer cuando se escuchan las alertas, mientras que la información se publica en folletos y carteles.</p>		<p>Señal de alerta de tsunami, Okumatsushima, Japón, con rutas de evacuación</p>

Cuadro 6.10. Información sobre alerta por tsunami

Información relevante sobre la mitigación de tsunamis, publicada en línea en los Estados Unidos.

En general, si piensas que un tsunami puede estar llegando, el suelo tiembla bajo tus pies o escuchas que hay una alerta por tsunami, díselo a tus familiares y amigos, y muévete rápidamente a un terreno más alto.

Datos importantes que debes conocer sobre los tsunamis

- Los tsunamis que golpean áreas costeras en la cuenca del Océano Pacífico casi siempre son causados por terremotos. Estos terremotos pueden ocurrir lejos o cerca de donde usted vive.
- Algunos tsunamis pueden ser muy grandes. En las zonas costeras su altura puede ser tan grande como 30 pies (9m) o más (100 pies (30m) en casos extremos), y pueden moverse hacia el interior varios cientos de pies (10s - 100s de metros).
- Todas las zonas costeras bajas pueden ser golpeadas por tsunamis
- Un tsunami consiste en una serie de olas. A menudo la primera ola puede no ser la más grande. El peligro de un tsunami puede durar varias horas después de la llegada de la primera ola.
- Los tsunamis pueden moverse más rápido de lo que una persona puede correr
- A veces un tsunami hace retroceder el agua cerca de la orilla, exponiendo el fondo del océano
- La fuerza de algunos tsunamis es enorme. Grandes rocas que pesan varias toneladas, junto con barcos y otros escombros, se pueden mover hacia el interior cientos de pies por la actividad de las olas de tsunami. Casas y otros edificios son destruidos. Todo este material y agua se mueven con gran fuerza y pueden matar o herir a la gente.
- Los tsunamis pueden ocurrir en cualquier momento, de día o de noche
- Los tsunamis pueden subir ríos y arroyos que conducen al océano

Si estás tierra adentro:

- Se consciente de los hechos del tsunami. ¡Este conocimiento podría salvar tu vida! Comparte este conocimiento con tus parientes y amigos. ¡Podría salvar sus vidas!
- Si estás en la escuela y escuchas que hay una advertencia de tsunami, debes seguir los consejos de los maestros y otro personal de la escuela.
- Si estás en casa y escuchas que hay una alerta por tsunami, debes asegurarte de que toda tu familia está al tanto de la advertencia. Tu familia debería evacuar tu casa si vives en una zona de evacuación por tsunami. Diríjense de manera ordenada, tranquila y segura al lugar de evacuación o a cualquier lugar seguro fuera de su zona de evacuación. Sigán los consejos de las autoridades locales de emergencia y de la policía.
- Si estás en la playa o cerca del océano, y sientes que la tierra tiembla, muévete inmediatamente a un terreno más alto. NO esperes a que se anuncie una alarma de tsunami. Mantente alejado de los ríos y arroyos que desembocan al océano, como te mantendrías alejado de la playa y el océano si hay un tsunami. Un tsunami regional de un terremoto local podría golpear algunas zonas antes de que se anuncie una alerta de tsunami.
- Los tsunamis generados en lugares distantes generalmente le darán a la gente tiempo suficiente para moverse a un terreno más alto. Para los tsunamis generados localmente, donde podrías sentir el movimiento del suelo, es posible que sólo tengas unos minutos para moverse a un terreno más alto.
- En muchas zonas costeras bajas hay hoteles de hormigón armado de varias plantas. Los pisos superiores de estos hoteles pueden proporcionar un lugar seguro para encontrar refugio en caso de que haya una advertencia de tsunami y no se pueda mover rápidamente hacia el interior a un terreno más alto. Sin embargo, los procedimientos locales de Defensa Civil pueden no permitir este tipo de evacuación en su área. Las viviendas y los pequeños edificios situados en zonas costeras bajas no están diseñados para resistir los impactos del tsunami. No permanezcan en estas estructuras si hay una alerta de tsunami.
- Los arrecifes marinos y las zonas poco profundas pueden ayudar a romper la fuerza de las olas de tsunami, pero las olas grandes y peligrosas todavía pueden ser una amenaza para los residentes costeros en estas zonas.

Mantenerse alejado de todas las zonas bajas es el consejo más seguro cuando hay una advertencia de tsunami.

6.1.4 Movimientos en masa

Estos ocurren cuando la roca se rompe, y la ruptura de la roca puede producirse por terremotos, erupciones, tormentas o porque la roca se ha debilitado de alguna manera. Cuando ocurren bajo el agua pueden, a su vez, desencadenar tsunamis.

Los **movimientos en masa**, también llamados **movimientos de ladera** incluyen varios tipos diferentes de caídas, deslizamientos y flujos que pueden ocurrir catastróficamente rápidamente, pero también muy lentamente. Incluso los deslizamientos lentos son dañinos (Tabla 6.10). Pueden ocurrir en tierra o bajo el agua.

Tabla 6.10. Métodos usados para incrementar la seguridad durante tsunamis

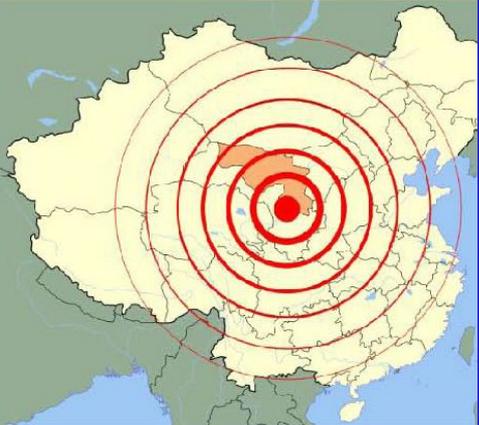
tipo de falla de roca	Descripción	Imagen	Fuente
Caída de rocas	Las rocas se vuelcan o caen debido a la gravedad, catastróficamente rápido.		Caída de rocas en las montañas de British Columbia, Canadá, 2011.
Derrumbe	Las rocas colapsan como una masa y no como bloques individuales, catastróficamente rápido.		Derrumbe de la playa Oddicombe, Devon, Inglaterra, 2010.

<p>Deslizamientos</p>	<p>Son movimientos de material por una pendiente como una masa. Algunos son catastróficamente rápidos mientras que otros fluyen muy lentamente. Algunos son rotacionales, cuando la ladera se inclina hacia atrás y el bloque se desliza a lo largo de una superficie curva.</p>		<p>Deslizamiento rotacional en la mayor zona deprimida de el viejo camino, Mam Tor, Derbyshire, Inglaterra.</p>
<p>Flujo</p>	<p>Los flujos incluyen flujos y avalanchas de detritos; debido a que contienen mucha agua. Fluyen a altas velocidades de hasta decenas de kilómetros por hora, especialmente por laderas empinadas y valles.</p>		<p>Vargas, Venezuela, un mes después del flujo de detritos ocurrido en diciembre de 1999.</p>
<p>Reptación</p>	<p>Materiales de superficie como suelo se arrastran lentamente cuesta abajo, ya sea como masas redondeadas o formando una serie de pequeñas terrazas, que a menudo se utilizan más tarde como caminos para los animales de granja.</p>		<p>Lóbulos de reptación de suelo in Wyoming, EE. UU.</p>

			<p>Terracetas bajo la colina Morgan. Wiltshire, Inglaterra</p>
--	--	------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

Algunos de los movimientos en masa globales más dañinos se muestran en la tabla 6.11.

Tabla 6.11. Grandes movimientos en masa

Movimientos en masa	Descripción	Imagen	Fuente
<p>Deslizamientos de Haiyuan. Diciembre de 1920</p>	<p>Los deslizamientos fueron desencadenados por el terremoto de magnitud 7,8 de Haiyuan (registrado en China como magnitud 8,5) el 16 de diciembre de 1920 (Tabla 6.5). Las laderas inestables de limo de grano fino (loess) colapsaron causando más de 600 deslizamientos, con un total de más de 100.000 muertos.</p>		<p>Terremoto de Haiyuan de 1920 que activó los flujos de Haiyuan en China central.</p>
<p>Vargas, Venezuela. Diciembre de 1999</p>	<p>El 15 de diciembre de 1999, lluvias torrenciales activaron una serie de flujos de detritos, matando a más de 30.000 personas, destruyendo muchos hogares y causando el colapso de instalaciones estatales. Ciudades enteras desaparecieron y las casas fueron barridas dentro del mar.</p>		<p>Dstrucción generalizada en la zona de Caraba-lleda causada por un flujo de detritos de 6 m de espesor.</p>
<p>Avalancha de detritos del Nevado Huascarán, Yungay, Perú, mayo de 1970</p>	<p>Una inscripción en esta ruina dice: "Un pueblo donde 35.000 personas vivían; bajo un terremoto y un deslizamiento posterior de Huascarán [el volcán, en el fondo] aquí es sólo un residuo de rocas [sic]. Todo sucedió en pocos minutos el 31 de mayo de 1970."</p>		<p>Foto tomada en Yungay, diez años después de la tragedia - el edificio con la inscripción</p>

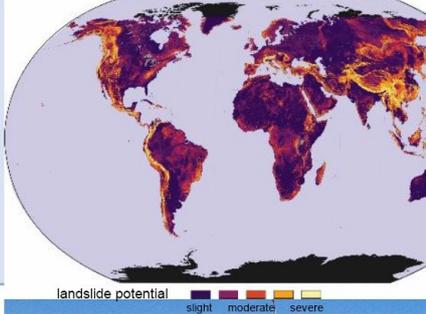
<p>Deslizamientos de Khait, Tayikistán, julio de 1949</p>	<p>Cientos de deslizamientos fueron desencadenados por el terremoto de magnitud 7,4 de Khait. Limo de grano fino saturado con agua fluyó a más de 30 m/seg-1 matando a unas 4000 personas en Khait, y unas 28.000 personas en las zonas circundantes</p>		<p>La cicatriz en la montaña Chokrak y el deslizamiento de tierra que destruyó la aldea de Khait</p>
------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------

Los deslizamientos pueden ocurrir repentina y catastróficamente, sin tiempo para que la gente evacue de sus casas, resultando en muchas muertes.

<p>Cuadro 6.11. El flujo de lodo del Oso, 29 de marzo de 2014</p> <p>El evento más dañino en la historia de los Estados Unidos destruyó alrededor de 50 casas, matando a 43 personas, cerca de Oso en la región de Cascade Mountain del estado de Washington, cerca de Seattle. Una ladera saturada de agua colapsó produciendo un flujo de lodo masivo.</p> <p>Testigos describieron un muro de lodo, tal vez de ocho metros de altura, corriendo por el valle hacia ellos con el sonido de trenes de carga, accidentes aéreos y "decenas de miles de cosas golpeándose entre sí". Las fuertes precipitaciones en las semanas anteriores pueden haber desestabilizado la pendiente.</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Se utilizan varios métodos para reducir el riesgo por movimientos en masa. Estos van desde el cartografiado y monitoreo de peligros, pasando por sistemas de alerta, hasta diferentes formas de prevenir deslizamientos o reducir sus efectos, como en la tabla 6.12.

Tabla 6.12. Métodos de reducción del riesgo por caídas de rocas y deslizamientos

Método de reducción del riesgo	Descripción	Imagen	Fuente
Cartografía de peligros	Los riesgos por deslizamientos se cartografían a escala local y mundial. El mapa de la NASA muestra que las regiones más peligrosas se encuentran en zonas climáticas y tectónicas activas, incluidas las zonas montañosas de margen de placa.		Mapa mundial de riesgo por deslizamientos compilado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los EE.UU (NASA)
Monitoreo	Laderas que pueden fallar son monitoreadas por una variedad de dispositivos, incluyendo extensómetros alámbricos, geófonos sísmicos y pluviómetros, y por la medición de las presiones del agua subterránea.		Un dispositivo cableado de monitoreo de extensómetro, conectado por cable a un área inestable y transmitiendo datos remotamente por radio.
Códigos de construcción y señales de advertencia	Los códigos de construcción (cuando se aplican) impiden la construcción de edificios en zonas de alto riesgo, mientras que las señales de advertencia advierten tanto al tráfico como al público.		señal de advertencia de tráfico.
Reducción y terraceo de laderas	Los peligros se reducen al reducir las pendientes y excavando una serie de terrazas horizontales a intervalos. Las terrazas reducen la altura de las paredes de roca y atrapan escombros.		Terrazas rocosas en la ruta 23, Pound Gap, Montañas de Cumberland, Virginia, USA.
Drenaje	Los drenajes están situados en la parte superior e inferior de las laderas, así como dentro de las laderas, para eliminar el agua rápidamente, reduciendo la posibilidad de que el aumento de la presión del agua desencadene un deslizamiento.		Una zanja de drenaje francesa llena de grava para atrapar sedimentos, con tuberías perforadas (con pequeños agujeros en la parte superior) para llevar el agua.

<p>siembra de arboles</p>	<p>Se plantan árboles u otras plantas para que sus raíces sujeten los materiales sueltos y eliminar el agua, ayudando a estabilizar las laderas.</p>			<p>Alerces plantados para controlar la erosión en una ladera empinada de material suelto en el campo de esquí Río Roto, Nueva Zelanda.</p>
<p>Eliminación de materiales superficiales sueltos y bulonado de roca</p>	<p>Los detritos sueltos se retiran y losas más grandes y otros materiales sueltos se fijan a la pendiente con pernos largos de roca.</p>			<p>Pernos de rocas en Black Rock en la costa de Sussex, Inglaterra.</p>
<p>Cobertura por redes de alambre y geotextiles</p>	<p>Estos se fijan sobre la pendiente para evitar la caída de detritos.</p>	 <p>Muestra de geotextiles</p>		<p>Malla de alambre de protección contra la caída de rocas, Marine Drive, Llandudno, Gales.</p>
<p>Cobertura de cemento</p>	<p>Una capa de cemento se rocía sobre caras de roca sueltas para unir las y estabilizarlas.</p>			<p>Un acantilado estabilizado por el cemento, Auckland, Nueva Zelanda.</p>
<p>Cortes de talud protegidas por paredes y gaviones</p>	<p>Los fondos de taludes inestables están protegidos para reducir las posibilidades de deslizamiento y desplome y prevenir la</p>	<p>los muros son construidos de roca natural o concreto para proteger los taludes</p>		<p>Un corte de carretera estabilizado por un muro de piedra natural en la base con un muro de contención de hormigón encima. Rebernice, Eslovenia</p>

	erosión	Los gaviones son cajas de malla de alambre llenas de rocas. La malla está galvanizada para protección.		Un corte de carretera estabilizado por gaviones en Alemania.
Barreras	Se construyen barreras para atrapar detritos, dejando espacio para que se acumulen detrás de las barreras.			Una red para atrapar bolones en un sendero a pie en Multnomah Falls, Oregón, EE. UU.
Refugio de protección	Se construyen refugios para proteger las rutas de transporte y las zonas públicas de la caída de detritos.			Túnel de protección contra deslizamientos/desprendimientos de rocas. Narvik/Beisfjord Carretera 751 en Noruega.
Contrafuertes de hormigón y grandes bloques rocosos	Se construyen contrafuertes de hormigón y se lanzan grandes bloques rocosos al pie de laderas que pueden fallar o ser erosionadas por corrientes fluviales o costeras			Grandes bloques rocosos soltados en la costa en East Sussex, Inglaterra, para proteger el pueblo de Fairlight.

6.2 Problemas ambientales

Los seres humanos afectan el medio ambiente en todas las escalas, desde el local hasta el global. A menudo nos acostumbramos a estos cambios y por lo tanto no los vemos como problemas para el medio ambiente. Los principales cambios incluyen la construcción de asentamientos y la agricultura de amplias regiones. Así que los ambientes de muchas partes de la Tierra hoy en día son muy diferentes de sus estados salvajes originales. De hecho, el impacto de la actividad humana se ha registrado en casi todos los entornos de la Tierra, desde los mares más profundos hasta las montañas más altas, y desde los polos hasta los mares tropicales poco profundos.

6.2.1 Erosión

Cada vez que caminas por un sendero, existe el peligro de causar erosión, especialmente si muchas otras personas usan el sendero también (Figura 6.6).

Figura 6.6. Erosión del sendero, Bosque de Fontainebleau cerca de París, Francia



Las únicas formas de evitar esta erosión por parte del público son cerrar o redirigir el camino o fortalecerlo mediante la colocación de piedras o pasarelas de madera. Mientras tanto, cuando los suelos están expuestos por métodos agrícolas deficientes o cuando la vegetación se quema, el suelo puede ser erosionado fácilmente por el agua y el viento (Tabla 6.13).

Tabla 6.13. Erosión del terreno

Tipo erosión	de	Descripción	Imagen	Fuente
Erosión laderas	de	En zonas abruptas no protegidas por la vegetación, la erosión del suelo puede formar profundos barrancos que son muy difíciles de recuperar una vez que se han formado. Estas áreas escarpadas se llaman terrenos baldíos.		Erosión de laderas en primer plano, provincia de Huesca, España. El terreno verde muestra la diferencia que los buenos métodos de cultivo pueden hacer.

Erosión eólica	La erosión eólica puede remover enormes cantidades de suelo como polvo.		Una tormenta en Hamadan County, Irán.
	Los pobres métodos agrícolas en la década de 1930 en el área de las Grandes Llanuras del centro de EE. UU., llevaron a que los suelos colapsen. Así, cuando hubo sequía en la década de 1930, enormes cantidades de suelo se erosionaron en las regiones americanas del 'tazón de polvo'.		Maquinaria agrícola enterrada por el polvo eólico, Dallas, Dakota del Sur, EE. UU., 1936

Buenas prácticas agrícolas incluyen:

- No arar laderas arriba y abajo sino a través de laderas en el arado del contorno; esto para que el agua corra cuesta abajo durante tormentas de lluvia; el agua penetre en el suelo en lugar
- Plantar árboles en barrancos, para que sus raíces retengan el suelo
- garantizar que el suelo esté cubierto por cultivos durante la mayor parte del año posible, especialmente durante las estaciones de viento;
- Plantación de árboles y setos como cortavientos para reducir la erosión eólica
- Añadir nutrientes al suelo en los fertilizantes para que los cultivos sigan creciendo
- Asegurarse de que la vegetación no está sobre pastoreada y el suelo sobre compactado por los animales.

Las costas son erosionadas naturalmente por las olas en las playas, particularmente durante las tormentas. Esto no es un problema a menos que afecte áreas urbanas, por ejemplo, las carreteras o las playas usadas para el turismo. En la Tabla 6.14 se muestran diferentes métodos para reducir la erosión costera.

Tabla 6.14. Métodos para reducir la erosión costera

Tipos para prevenir la erosión	Descripción	Imagen	Fuente
Rompe olas	Son barreras de madera, rocas o hormigón construidas a través de las playas para reducir el movimiento de sedimentos a lo largo de la playa. El sedimento se acumula en un lado, produciendo una serie de pequeñas áreas de playa curvadas.		Rompe ola de roca construido a lo largo de la playa "du Prevent" en Capbreton, Landes, Francia.
Muros de mar	Muros de mar son construidos de gigantes rocas, piedras cortadas que pueden poner cemento o concreto para proteger las áreas costales.		Una ola haciendo contacto con un muro de mar en Plogoff, Finistere, Bretagne, France
Acumulación de bloques	Un grupo de rocas son puestos en áreas con erosión		acumulación de bloques y un muro de mar, Beesands, Devon, Inglaterra
Tetrapods	Grandes estructuras de concreto, especialmente diseñados para romper la fuerza de las olas.		Tetrapods en el área donde rompen las olas. Playa en Górký Wschoinnie, Gdansk, Polonia en la costa Báltica

Uno de los problemas de la reducción de la erosión en una parte de la costa es que el área puede haber sido la fuente de sedimentos para otras áreas a lo largo de la costa. Por lo tanto, cuando un área de la costa está protegida, la erosión puede aumentar en otras áreas cercanas. Esto pone de relieve cómo, en zonas costeras dinámicas, la ingeniería costera puede tener consecuencias imprevistas en otros lugares.

6.2.2 Cambios de drenaje

La mayoría de los edificios y otras construcciones canalizan el agua de lluvia. Tan pronto como el agua de lluvia llega a los canales, fluye más rápido y es más probable que cause erosión. Así que los edificios requieren canalones y canalones necesitan canales especiales o desagües de tormenta para ser construidos, y los ríos en los que drenan deben ser diseñados para reducir la erosión (Figura 6.7). Todo esto tiene el efecto de que el agua de lluvia se canaliza lejos de las zonas construidas y no puede hundirse en el suelo para recargar los acuíferos. Pero también puede causar inundaciones repentinas aguas abajo. Este problema se está abordando en algunas zonas al no concretar ni asfaltar todo, sino dejando deliberadamente zonas para que el agua de lluvia se hunda en el suelo.

Figura 6.7. Drenaje pluvial, Dobney Avenue, Wagga Wagga, Nueva Gales del Sur, Australia



6.2.3 Desperdiciando el Agua

Los humanos producen enormes cantidades de residuos. El Banco Mundial ha estimado que, en promedio en todo el planeta, cada persona produce más de 1 kg de desechos por día, pero esto es desigual, algunas regiones producen muchos más desechos que otras. Muchas personas depositan sus desechos en un contenedor y no piensan más en lo que sucede con esos desechos. Pero todos los desechos deben gestionarse. Los métodos de gestión de residuos difieren de una región a otra (figuras 6.8 y 6.9) y han cambiado con el tiempo, pero los métodos modernos suelen implicar las tres Rs de reducir, reutilizar y reciclar. El objetivo es extraer el mayor valor de los residuos y eliminar la cantidad mínima de material.

Figura 6.8. Gestión de residuos en Katmandú, Nepal **Figura 6.9.** Gestión de residuos en Estocolmo, Suecia



Sin embargo, mucho material puede ser reutilizado y reciclado, algunos eventualmente tendrán que ser vertidos. Los principales tipos de residuos que deben ser vertidos se muestran en **Tabla 6.15.**

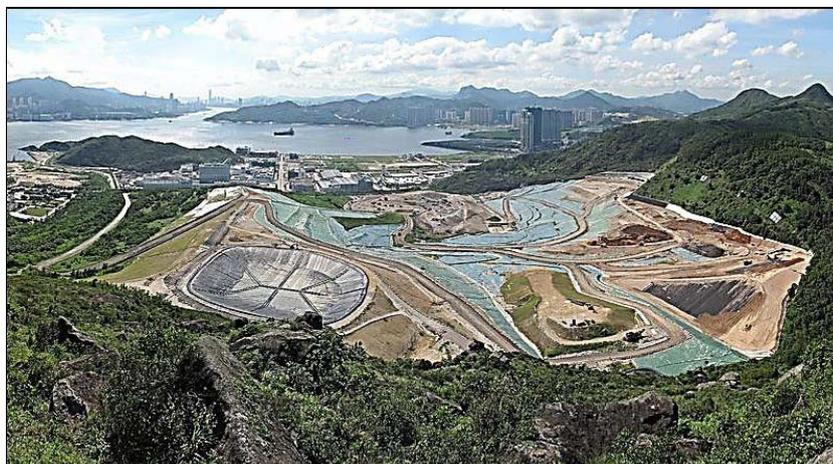
Tabla 6.15. Material de relleno reutilizado

Tipo de erosión	Descripción	Imagen	Fuente
Desechos inertes	Los desechos inertes son químicamente no reactivos, esto incluye desmote y material de edificios demolidos. Sin embargo, tal vez todavía pueden tener materiales reactivos como madera, papel, cartón de yeso, así como materiales peligrosos como asbesto.		Desmote de una construcción demolida en Milovice, Republica Checa
Desechos domésticos	Corresponde a la basura de las casas y contiene una gran cantidad de materiales. Al descomponerse, estos materiales liberan una toxina llamada lixiviado y un gas llamado metano.		Desechos domésticos siendo compactados en un basurero de Australia.

<p>Desechos tóxicos</p>	<p>Corresponde a basura sólida o líquida que puede ser peligrosa cuando se traga, inhala o está en contacto con la piel. Incluye pinturas, aceites y una gran variedad de químicos. La mayoría de estos residuos se disponen en sitios de relleno impermeabilizados.</p>		<p>El valle de los tambores, tomado en Kentucky, Estados Unidos, en los 80s. Sitios como este cambiaron las leyes ambientales en los Estados Unidos.</p>
<p>Desechos radiactivos</p>	<p>Estos continúan liberando radiación dañina por miles de años o más. Desechos con niveles bajos de radiación pueden ser enterrados cerca de la superficie, pero los que poseen niveles altos tienen que ser enterrados profundamente.</p>		<p>Un desecho de nivel bajo de radiación, Nevada, Estados Unidos.</p>

Los desechos domésticos y tóxicos se eliminan adecuadamente en sitios especialmente preparados. Los mejores sitios son antiguas canteras y canteras de ladrillo en rocas impermeables, aunque también se utilizan cavidades en superficies impermeables. La impermeabilidad impide que el lixiviado líquido se filtre hacia el agua subterránea y que los gases escapen hacia las paredes de esa cavidad. En sitios más permeables, las rocas pueden ser revestidas con una costosa membrana de plástico impermeable (Figura 6.10). En las zonas donde no hay huecos ni canteras, los vertederos se pueden construir en colinas bajas antes de los trabajos de paisajismo y la cubierta

Figura 6.10. Vertedero cubierto con una membrana geotextil en los nuevos territorios del sureste, Hong Kong.



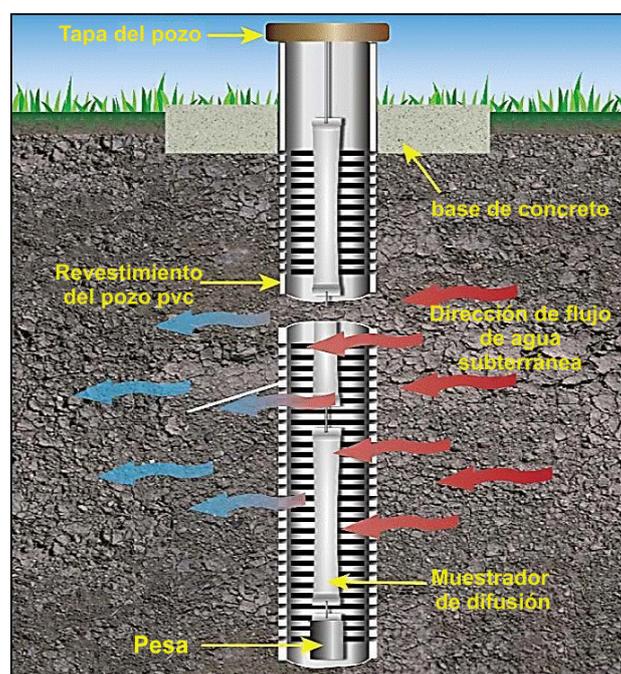
Cuando los vertederos están llenos, se moldean cuidadosamente y luego se tapan con arcilla u otro material impermeable para mantener fuera el agua de lluvia que podría eliminar el lixiviado. Luego se cubren con la capa superior del suelo y se añaden respiraderos de metano, para permitir que el gas se escape. Finalmente, se plantan arbustos u otra vegetación en la superficie para ayudar al sitio a integrarse con el área circundante. En algunos lugares el metano se recoge y se utiliza para producir energía, reduciendo así su contribución a los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Figura 6.11. Series de ventas de gas de metano en un basurero antiguo donde el suelo fue excavado en el pasado, Seafield, Oeste de Lothian, Scotland



Por último, en los vertederos bien gestionados, se perforan pozos en las rocas circundantes y se vigila la contaminación de las aguas subterráneas (figura 6.12).

Figure 6.12. Diagrama de un típico pozo de monitoreo de agua subterránea



6.2.4 Polución

Los contaminantes son materiales de desecho que contaminan el medio ambiente. Tres factores afectan su poder contaminante: su composición química, su concentración y su persistencia (cuánto tiempo permanecen tóxicos). Las aguas subterráneas pueden estar contaminadas por fugas de vertederos, pero también por una serie de procesos industriales y agrícolas, como se muestra en la sección 4.2.1.3. En estas situaciones de monitoreo por pozos de agua subterránea como el de la Figura 6.12. es muy importante. Procesos similares también pueden contaminar las aguas superficiales, por lo que el agua para uso humano e industrial debe ser tratada antes de su uso.

Cuadro 6.12. Drenaje ácido de mina

Un problema en las antiguas zonas mineras ocurre cuando el bombeo de agua de las minas se detiene, y estas se llenan de agua oxigenada. Al suceder esto, el oxígeno reacciona con los minerales de la mina, disolviéndolos y llevándolos a la superficie como agua muy ácida rica en hierro que puede matar toda la vida en cualquier arroyo que alcanza.

Dado que la mina está fuera del área de esos arroyos, a menudo no hay fondos para hacer frente a este costoso problema, y tiene que ser abordado por las autoridades locales.



Drenaje de ácido de una mina antigua, Río Tinto, España

Se reconoce una amplia gama de otros tipos de contaminación, además de la contaminación por aguas superficiales y subterráneas. Esto incluye:

- **Contaminación del aire** - sustancias químicas, gases y partículas como el hollín liberado a la atmósfera.
- **Contaminación del suelo** - productos químicos industriales y agrícolas que se filtran en el suelo.
- **Basura** – residuos domésticos.
- **Contaminación lumínica** - en particular por las luces de las calles. Las personas que viven en zonas urbanas ven menos estrellas en el cielo nocturno que las que se pueden ver en zonas más oscuras.
- **Contaminación térmica** - en particular, refrigerante del agua de las centrales eléctricas que calientan las aguas locales.
- **Contaminación acústica** - incluidos el ruido de carretera, aéreo e industrial.

- **Contaminación visual** - de minas y canteras (véase más adelante), pero también de líneas eléctricas, vallas publicitarias, parques eólicos, vertederos de residuos y emplazamientos industriales abandonados.
- **Contaminación marina** - de residuos tratados y no tratados que se vierten en el mar.

Recientemente, la contaminación ha sido tratada por el principio de que quien contamina debe pagar por las operaciones de limpieza. En la actualidad, esto suele incorporarse a los contratos de posibles industrias contaminantes y a las operaciones de minería y canteras. Sin embargo, cuando no se puede encontrar al contaminador, esto no es posible.

Es muy difícil encontrar al contaminador en las zonas marinas, donde hay tres fuentes principales de contaminación: el flujo directo de contaminación hacia los océanos; la escorrentía de lluvia a través de arroyos y ríos; y los contaminantes de la atmósfera. Los contaminantes pueden llegar directamente al mar como aguas residuales de las alcantarillas o como desechos industriales, incluidos los mineros.

La escorrentía trae consigo la contaminación de los residuos de la construcción de edificios, carreteras, puertos y de suelos agrícolas, fertilizantes y plaguicidas. La contaminación atmosférica incluye la contaminación de los vehículos, el polvo soplado por el viento y los desechos procedentes de los vertederos. El aumento de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera parece estar acidificando los océanos, afectando particularmente a las comunidades de arrecifes de coral.

El petróleo es uno de los principales contaminantes oceánicos, el más famoso por los grandes derrames de petróleo. Sin embargo, la mayor parte de la contaminación de los océanos proviene de los camiones cisterna que bombean aguas residuales, de las fugas de los oleoductos o del petróleo que se vierte por los desagües.

Los desechos plásticos son un problema importante porque este material se descompone muy lentamente. Partículas diminutas micro plásticas se utilizan en implementos de cocina, pastas dentales y cosméticos y ahora se han encontrado contaminando ambientes marinos desde las zonas costeras hasta las trincheras de

aguas profundas. Los animales marinos los comen y son afectados. Por ejemplo, se ha estimado que más de un tercio de los peces del Canal de la Mancha están contaminados con estas partículas. Desde hace poco han sido prohibidos en varios países y se espera que sean eliminados gradualmente en todo el mundo muy pronto.

Figura 6.13. Partículas micro plásticas liberadas por una esponja de lavar platos. Los tamaños de las microesferas varían de un milímetro a una centésima de milímetro.



6.2.5 Minas/Canteras

En el pasado, las minas y canteras contaminaban visualmente muchas zonas del mundo, lo que también causaba contaminación del agua, el aire y el ruido. Hoy en día, en la mayor parte del mundo, hay estrictos controles ambientales, con una gama de métodos utilizados para reducir la contaminación (**Tabla 5.7**). Mientras tanto, se han construido muchas antiguas zonas mineras, mientras que las antiguas canteras se han convertido en parques rurales y reservas naturales. Las canteras antiguas pueden proporcionar una amplia gama de nichos ecológicos, como paredes de roca y estanques, que normalmente no están disponibles para la vida silvestre en la región, lo que las hace atractivas para la naturaleza y el público por igual.

Figura 6.14. Heeseberg reserve natural en una Antigua cantera, Sajonia baja, Alemania



6.2.6 La quema de combustibles fósiles y el efecto invernadero

Muchos científicos piensan, como se analiza en la **Sección 4.3.3** sobre el cambio atmosférico, que la quema de combustibles fósiles está contribuyendo a las crecientes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera, y esto a su vez está contribuyendo al cambio climático. La quema de combustible libera dióxido de carbono, y el carbón libera casi el doble de dióxido de carbono que el gas natural (**véase la Figura 5.6**). Sin embargo, otros procesos industriales también liberan dióxido de carbono, en particular la fabricación de cemento a partir de piedra caliza. Actualmente se están llevando a cabo investigaciones para determinar si el dióxido de carbono formado por estos procesos puede capturarse y bombearse a antiguos yacimientos de petróleo o gas y, por tanto, no liberarse a la atmósfera. Los últimos estudios demuestran que la captura de carbono (o captura y almacenamiento de carbono) es posible, pero también que es costosa. Por lo tanto, hasta ahora no hay ninguna operación de captura de carbono a gran escala que se lleve a cabo en cualquier parte del mundo (**Figura 6.15**).

Figure 6.15. la tecnología de captura de carbón siendo testada en una mina de carbón



6.3 Impacto en la historia de la humanidad.

A lo largo de la historia humana el impacto de las Geociencias ha sido muchas veces difícil de identificar, esto debido a que muchos factores actuaban al mismo tiempo. No obstante, hay ejemplos en los que fenómenos naturales han tenido efectos críticos en la humanidad.

Cuadro 6.13. El fin de la civilización Minoica

La civilización Minoica, asentada en la isla de Creta en el Mar Mediterráneo, puede haber sido la primera gran civilización asentada en Europa. Se estableció aproximadamente entre 6600 y 3400 años atrás y su colapso pudo haber sido causado por la erupción de la isla volcánica de Thera (hoy llamada Santorini).

La erupción de Thera tuvo un Índice de Explosividad Volcánica, IEV, de 6 o 7 grados y fue una de las erupciones más grandes registradas en la historia. Destruyó la isla de Thera, dejando un enorme cráter y enterrando a la ciudad minoica de Akrotiri bajo capas de ceniza volcánica. Un tsunami causado por la erupción, posiblemente acompañado de terremotos, pudo haber destruido muchas más ciudades minoicas costeras. Parece ser que esta erupción debilitó mucho a los Minoicos que hizo que el pueblo Micénico, que llegó después, los conquistara fácilmente.



Vista satelital del cráter de Thera (Santorini) en la actualidad

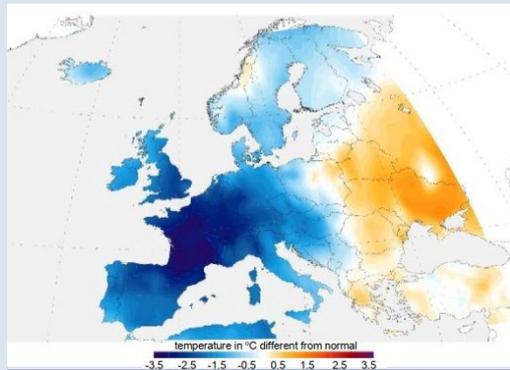
Cuadro 6.14. "El año sin verano", 1816

1816 fue un año catastrófico para la agricultura en todo el mundo, esta catástrofe agrícola provocó la muerte por hambre de decenas de miles de personas. Se cree que este desastre global fue causado por la erupción del monte Tambora, Indonesia, en el año 1815. Además de cenizas, la erupción liberó enormes cantidades de dióxido de azufre a la atmósfera. Como resultado, las temperaturas globales se redujeron en aproximadamente 0,5°C y los efectos de esta reducción incluyeron:

- Cambios en los monzones indios que provocaron tres cosechas fallidas.
- Temperaturas frías y lluvias intensas que provocaron cosechas fallidas en toda Europa.
- Heladas, nieve y niebla extensa, durante el verano, en el cinturón agrícola del centro de Estados Unidos, lo que llevó a miles de personas a emigrar a otros lugares.
- Clima frío que eliminó árboles y cultivos de arroz en el norte de China e inundó el valle del río Yangtsé.
- Surgimiento de artistas que pintaron cuadros de hermosas puestas de sol, provocadas por las cenizas en la atmósfera;
- Un grupo de autores de vacaciones en Suiza estuvo en cuarentena y organizó un concurso para escribir historias de terror, que condujo a la publicación de *Frankenstein* e inspiró *Drácula*.

La hambruna de 1816 provocó disturbios y enfermedades generalizadas en diferentes partes del mundo.

La alta concentración de dióxido de azufre en la atmósfera de 1816 se registró en núcleos de hielo de Groenlandia.



Caída de temperatura en Europa de 1816



Pintura de la puesta de sol vista desde el canal de Chichester, Inglaterra por J.M.W. Turner.

6.3.1 Guerras por recursos.

Muchas guerras por el control de recursos naturales han sido libradas en el pasado. A veces, estos recursos fueron la razón principal del conflicto, y en otros momentos de la historia desempeñaron papeles menores, pero claramente fueron clave de la guerra y de la paz en el pasado.

Cuadro 6.15. Guerras por el agua

La región del Medio Oriente incluye los países de la Península Arábiga y las áreas circundantes de Egipto, Siria, Irak, Irán y Turquía. Esta zona a veces ha sido denominada como "Creciente Fértil" porque el agua, especialmente de los ríos Nilo, Tigris y Éufrates, se utilizó para el riego y el cultivo formando así, hace unos 5000 años, la base de algunas de las civilizaciones más antiguas de la Tierra. La larga historia de esta zona registra muchas guerras, algunas de ellas basadas en el suministro de agua. Por ejemplo, el Imperio Asirio se basó en el riego generalizado y hay registros de reyes asirios quienes destruyeron los sistemas de riego de sus enemigos o arrojaron escombros en los canales de riego para inundar las ciudades de sus enemigos.

Una de las "Guerras de Agua" más recientes en el Medio Oriente fue el conflicto por el suministro de agua del Río Jordán a mediados de la década de 1960. El agua del río Jordán es una fuente vital de riego en Israel, sin él sería imposible respaldar la provisión de agua a la población israelita. Sin embargo, el río Jordán se levanta fuera de Israel y los estados árabes circundantes decidieron desviar el agua de la cabecera del río Jordán para detener el 35% del agua que llega a Israel. Esto fue rechazado por los israelitas en la Guerra de los Seis Días de 1967, lo que llevó a que la decisión tomada por los estados árabes vecinos a Israel fuera desestimada.



El río Jordán continúa proveyendo de agua a Israel desde el norte.

Cuadro 6.16. Guerras del petróleo

Muchas de las guerras libradas desde la década de 1930 han sido denominadas como "Guerras del petróleo" porque el recurso petrolero de un país fue uno de los factores clave que causó la guerra.

La primera guerra que se denominó "Guerra del petróleo" fue a mediados de la década de 1930 entre Bolivia y Paraguay, en América del Sur. Aunque ganó Paraguay, decenas de miles de soldados murieron y ambos países se vieron gravemente afectados. En los años posteriores a la guerra no se encontraron cantidades comerciales de petróleo en el área, aunque tanto yacimientos de petróleo como de gas han sido identificados recientemente.

La primera Guerra del Golfo en 1990 fue provocada por la invasión de Irak a Kuwait; disputas por el petróleo entre estos países fue la razón más importante para la invasión. Los campos petrolíferos de Kuwait fueron incendiados, dañándolos gravemente, lo que provocó que enormes columnas de humo fueran enviadas a la atmósfera causando una contaminación generalizada. Después del final de la guerra pasaron varios meses hasta apagar todos los incendios y hasta taponar los pozos de petróleo.



Campos petroleros en llamas detrás de un tanque abandonado, Kuwait

Una parte importante de la estrategia durante la segunda guerra de Irak, que comenzó en 2003, fue asegurar los campos petrolíferos iraquíes; esto se completó sin dañar ninguno de estos campos.

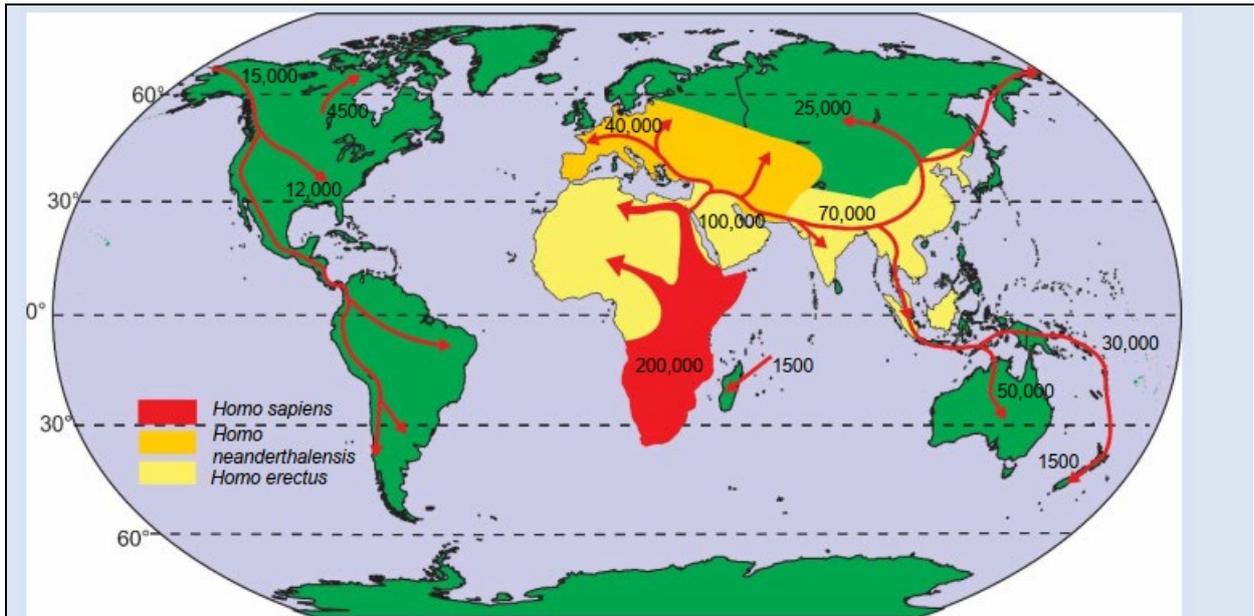
Se ha argumentado que otros conflictos en el mundo tienen a los recursos petroleros como uno de los factores más influyentes.

6.3.2 Migración por el cambio climático.

En el pasado geológico, el cambio climático natural ha provocado la migración de animales y humanos debido a los cambios de temperatura y a los cambios relacionados con el nivel del mar. Los cambios en el nivel del mar, los movimientos de cinturones climáticos y los movimientos de las placas tectónicas debieron causar grandes cambios de hábitat en el pasado geológico, sin embargo, mayor evidencia de este tipo de migración es verificable en los tiempos geológicos más recientes.

Cuadro 6.17. La migración de los primeros humanos fuera de África

La migración de los primeros humanos, y de muchos otros grupos de seres vivos, también está relacionada con el cambio climático. La Teoría de la Bomba del Sahara explica que durante los períodos más húmedos el norte de África y el Medio Oriente se convirtieron en pastizales, lo que permitió que muchas especies migraran de África a Asia. Pero durante las épocas más secas, cuando la Bomba del Sahara se detenía, estas áreas volvían nuevamente a ser desierto. La Teoría de la Bomba del Sahara ha sido usada para explicar las olas de migración de varios mamíferos, incluidos los caballos, así como la migración de diferentes grupos humanos primitivos. La primera migración humana desde África a Asia parece haber ocurrido hace unos 1,75 millones de años. Posteriores grupos humanos evolucionaron en África, algunos de ellos emigraron a través de la misma ruta, hace unos 70.000 años, a colonizar Asia y eventualmente Europa, América y el resto del mundo también.

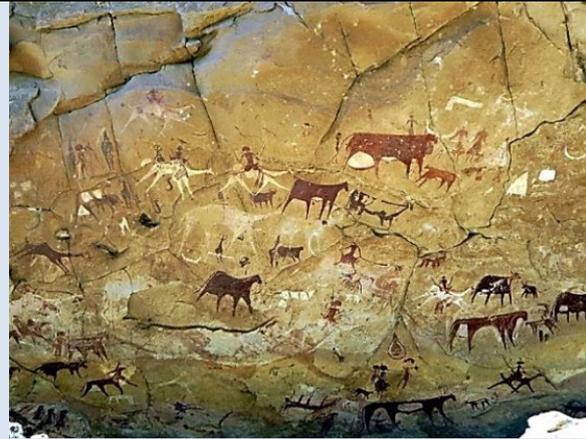


La propagación de los primeros grupos humanos en todo el mundo, con fechas de difusión: primero - Homo Erectus; segundo - Homo Neandertal; tercero - Homo Sapiens.

Cuadro 6.16. Guerras del petróleo

Hace solo unos 6000 años, el área que ahora llamamos Desierto del Sahara era una pradera con mucha lluvia. Las personas que vivían allí grabaron escenas en arte rupestre; estos mostraban muchos animales que debieron vivir, en ese entonces, en esa pradera. En la pintura de abajo, los camellos están pintados sobre otros animales y, por lo tanto, los camellos debieron haber sido agregados más tarde. Esto puede ser el registro del comienzo del cambio climático que transformó a Chad como una de las regiones más secas de la Tierra, con muy poca agua, vegetación o vida silvestre.

Hoy en día, el aire hundido en la atmósfera generado por la Célula de Hadley produce una condición muy seca en el Sáhara. Pero la evidencia muestra que las condiciones lluviosas ecuatoriales pueden alejarse más del ecuador de lo que hoy se alejan. Esto parece explicar por qué partes del área del Sahara eran mucho más húmedas en el pasado. Los científicos continúan investigando las razones por las cuales algunas partes de los cinturones climáticos podrían moverse de esta manera.



Cueva Manda Guéli, montañas Ennedi, Chad



Formación rocosa erosionada por el viento, montañas Ennedi, Chad

Una parte importante de la estrategia durante la segunda guerra de Irak, que comenzó en 2003, fue asegurar los campos petrolíferos iraquíes; esto se completó sin dañar ninguno de estos campos.

Se ha argumentado que otros conflictos en el mundo tienen a los recursos petroleros como uno de los factores más influyente.

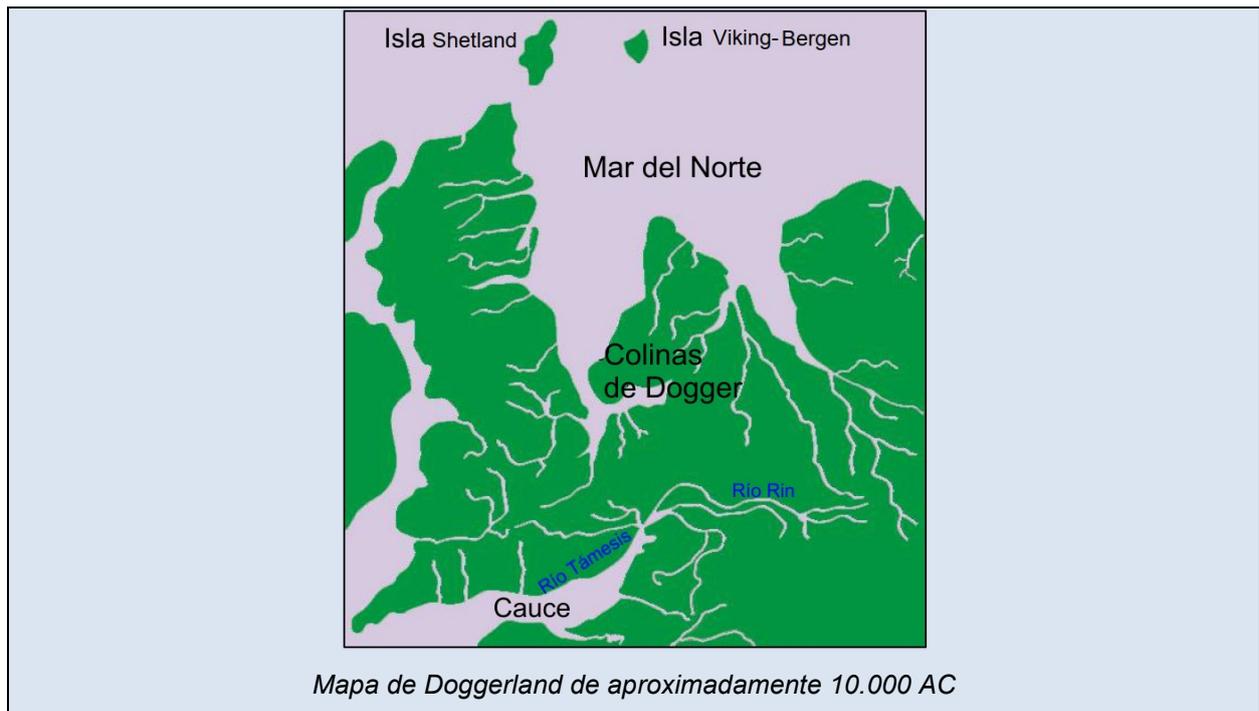
Cuadro 6.19. Doggerland" en la zona del Mar del Norte

Doggerland es el nombre que se le da a un área, ahora bajo el Mar del Norte, que solía ser tierra seca y que unía al Reino Unido con Europa.

El área era un valle ancho y poco profundo con colinas bajas, pantanos, una rica vegetación y vida silvestre; estaba habitada por manadas de humanos dedicados a la caza y a la recolección. Esto ha sido demostrado por los hallazgos de dragados submarinos, que arrastraron herramientas y armas prehistóricas, así como huesos de mamuts, de leones y de otros animales. Como los polos se derritieron al final de la última glaciación, el nivel del mar subió e inundó gradualmente el área. Un tsunami vinculado a un repentino deslizamiento submarino en el norte del Mar del Norte, hace unos 8200 años, pudo haber inundado algunas áreas. El aumento del nivel del mar parece haber cubierto completamente a Doggerland hace unos 6.000 años.

Los datos del estudio sísmico de las compañías de exploración petrolera se han utilizado para reconstruir modelos de cómo Doggerland se veía en el pasado, antes de que los seres humanos y otras especies silvestres fueran expulsados por el aumento del nivel del mar.

La inundación de Doggerland separó al Reino Unido del continente europeo, haciendo que Inglaterra, Gales y Escocia formen una isla.



Si el cambio climático actual produce cambios importantes en el nivel del mar o movimientos importantes de cinturones climáticos, en el futuro se verá más migraciones de diferentes animales.

7 El sistema de la Tierra se explora a través del trabajo práctico y de campo

Traducido por: Richard Serrano-Aguila

Los científicos en Geociencia investigan la Tierra desde diferentes puntos de interés, desde una escala atómica hasta una escala global. Sus actividades de investigación van desde la recopilación de datos por observación y medición durante el trabajo de campo hasta el uso de técnicas de teledetección; desde el modelado de procesos geológicos en el laboratorio hasta el modelado en computadora; y, desde el uso de alta tecnología en dispositivos de observación y medición en campo y laboratorio hasta el uso de programas de monitoreo global que involucran la geósfera, la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera.

Los científicos en Geociencias son quienes trabajan en el sistema de la Tierra y tienen una variedad de especialidades, algunas de las cuales se muestran en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Algunas especialidades en geociencias.

Especialidad en Geociencias	Descripción	Imagen	Fuente
Ciencias del clima	Los científicos del clima estudian los patrones de comportamiento climático de una región, generalmente en ciclos de más de 30 años; su trabajo consiste, entre otras cosas, la toma de datos de agua, tierra, hielo, toma de muestras de sedimentos y hasta el uso de datos satelitales.		Registrando datos glaciales, Parque Nacional de Glaciares, Montana, Estados Unidos.
Ingeniería geológica	Los Ingenieros Geólogos contribuyen a los proyectos de construcción a través del mapeo geológico; lideran e interpretan las operaciones de perforación; analizan los datos; y, elaboran reportes y recomendaciones.		Núcleo de muestra de suelo extraído en Australia occidental.
Geología del medioambiente	Los Geólogos Medioambientales monitorean el medio ambiente durante la extracción de materiales o durante la eliminación de desechos y posterior remediación de los entornos; utilizan variedad de datos recopilados en el sitio y en diferentes lugares.		Recorriendo el área de una mina abandonada en Estados Unidos
Geología de Exploración	Los Geólogos de Exploración toman datos en el campo y los vinculan con datos geográficos, geoquímicos, geofísicos y de perforación, para mostrarlos en mapas subterráneos de estructuras rocosas durante la exploración de petróleo, de gas y de yacimientos minerales.		Examinando, en campo, un núcleo de perforación, Chile
Geoquímica	Los Geoquímicos estudian la composición geoquímica de la tierra, a escala atómica como a escala global; la geoquímica es utilizada en la prospección de petróleo, de gas y de minerales, así como para		Estudiando la geoquímica de gases volcánicos, Monte Baker, Washington, Estados Unidos

	monitorear la contaminación ambiental.		
Geomorfología	Los Geomorfólogos investigan cómo cambia la forma de la superficie de la Tierra debido a los procesos físicos de esta; ellos estudian los paisajes geológicos vinculados a meteorización, erosión, ríos, costas y glaciación.		Estudiando Glaciación, Glaciar central Rongbuk, Everest, Nepal
Geofísica	Los Geofísicos investigan los terremotos y realizan evaluaciones sobre peligros sísmicos; ellos interpretan datos sísmicos que fueron tomados en campo durante exploraciones petrolíferas, de gas y de minerales; y estudian la estructura de la Tierra desde el núcleo hasta la superficie.		Reinstalando, en el fondo marino, un sismómetro apagado, Barbados
Hidrogeología	Los hidrogeólogos no solo analizan la probabilidad de existencia de agua subterránea, sino también monitorean los riesgos para la salud de la contaminación de agua subterránea; participan en la remediación de sitios; y, estudian la deshidratación de minas y canteras.		Muestreo de agua subterránea en Alemania
Meteorología	Los meteorólogos utilizan una amplia gama de métodos científicos para medir, entender, modelar y predecir el clima, así como su física y su química.		Midiendo la profundidad de nieve en Irán
Geología de minas	Los geólogos en minas investigan las relaciones entre la geología y los depósitos de minerales conocidos para seguir sus formaciones y encontrar nuevos yacimientos minerales. Ellos aconsejan sobre los planes mineros a corto y largo plazo a través de una variedad de métodos de prospección.		Veta de fluorita en una mina en Peak, Inglaterra

<p>Oceanografía</p>	<p>Los oceanógrafos tienen otras especialidades como biología, química, geología y física. Los geólogos oceanógrafos examinan los procesos oceánicos del presente y del pasado, incluyendo la placa tectónica, la circulación oceánica y el cambio climático.</p>		<p>Configurando equipo de monitoreo de fondo marino</p>
<p>Paleontología</p>	<p>Los paleontólogos estudian la vida fósil, desde los microfósiles hasta los dinosaurios, estudiando la evolución de la vida y los ambientes paleontológicos donde plantas y animales vivieron alguna vez; los fósiles son utilizados para correlacionar fechas con edad de las rocas y para proporcionar información sobre el pasado de la temperatura y del clima</p>		<p>Paleontólogo con hueso de muslo de un gran dinosaurio, Zimbabue</p>
<p>Investigación geológica</p>	<p>Los investigadores en Geología normalmente trabajan en universidades, en museos o para entidades de gobierno. Son profesores, conferencistas y científicos de cátedras universitarias de pregrado; lideran programas de doctorado y publican sus propios trabajos de investigación.</p>		<p>Examinando afloramientos de granito en las montañas Fosdick, Antártica</p>
<p>Sedimentología</p>	<p>Los sedimentólogos estudian los sedimentos, modernos y antiguos, de rocas sedimentarias para explorar sus características y entender los procesos que las formaron; trabajan en el campo y en el laboratorio construyendo modelos físicos y modelos computacionales.</p>		<p>Analizando en Laboratorio el tamaño de sedimento, Oficina Naval Oceanográfica, Mississippi, Estados Unidos</p>

<p>Ciencia del suelo</p>	<p>Los científicos del suelo clasifican y mapean suelos, investigan sus propiedades físicas, químicas, biológicas y de fertilidad, tanto en el campo como en el laboratorio; ellos investigan en suelos para la agricultura y en cómo remediar suelos en áreas ambientalmente dañadas.</p>		<p>Muestreando costras de suelo con el uso de un cuadrante, Tucson, Arizona, Estados Unidos</p>
<p>Enseñanza</p>	<p>Los profesores enseñan geociencia a estudiantes de nivel básico escolar (primaria), durante la educación media (secundaria) y hasta la educación superior, pregrado y postgrado, tanto en el campo como en las aulas.</p>		<p>Profesor, en el campo, enseñando a grupo de estudiantes, cerca de Ingleton, Yorkshire, Reino Unido.</p>
<p>Vulcanología</p>	<p>Los vulcanólogos investigan todos los procesos ígneos de volcanes activos; estudian las erupciones, el flujo de lava y la liberación de gases volcánicos para averiguar cómo el volcán podría comportarse en el futuro.</p>		<p>Tomando muestras para realizar ensayos del cráter del volcán Mutnovsky, Kamchatka, Rusia oriental</p>

Los geocientíficos deben cumplir con **“la Promesa Geoética”** durante el desarrollo de sus actividades.

Cuadro 6.12. La Promesa Geoética

Yo prometo:

- *Ejerceré las Geociencias siendo totalmente consciente de las implicaciones sociales, y haré todo lo posible para lograr la protección del sistema terrestre en beneficio de la humanidad.*
- *Comprenderé mis responsabilidades para con la sociedad, las generaciones venideras y la Tierra, a fin de lograr un desarrollo sostenible.*
- *Pondré el interés general de la sociedad antes que mi trabajo.*
- *Nunca haré mal uso del conocimiento geocientífico, oponiéndome a la coacción o a la coerción.*
- *Siempre estaré dispuesto a facilitar mi asistencia profesional cuando se requiera; y seré imparcial al dejar mi experiencia a disposición de los responsables en la toma de decisión.*
- *Continuaré mi vida constantemente buscando el desarrollo del conocimiento geocientífico*
- *Siempre mantendré la honestidad intelectual en el trabajo y teniendo en cuenta las limitaciones de mis competencias y capacidades.*
- *Actuaré para promover el progreso de las Geociencias, compartir el conocimiento geocientífico y la difusión del enfoque geoético.*
- *Mantendré siempre el respeto por los procesos naturales de la Tierra en mi trabajo como geocientífico.*

¡Lo prometo!



Todos quienes estudian geociencias deberían hacer esta importante promesa, la cual puede simplificarse así:

Prometo que:

- *Trabajaré para proteger de mejor manera a la población de la Tierra y a todos los sistemas terrestres.*
- *Entiendo que es mi trabajo ayudar a proteger la Tierra para el futuro, a través del desarrollo sostenible.*
- *En mi trabajo pondré el interés de todas las personas en primer lugar.*
- *Nunca abusaré de mis conocimientos en geociencias, independientemente de lo que otras personas digan o hagan.*
- *Siempre estaré dispuesto a utilizar mis conocimientos de forma útil y trataré de proporcionar una visión equilibrada a las personas que toman decisiones.*
- *Desarrollaré mis conocimientos en geociencias a lo largo de mi vida.*
- *Seré tan honesto como pueda ser.*
- *Intentaré contribuir al estudio de las geociencias, compartir el conocimiento y ayudar a todos a comportarse de manera ética.*
- *Siempre respetaré los procesos de la Tierra en mis estudios.*



¡Lo prometo!

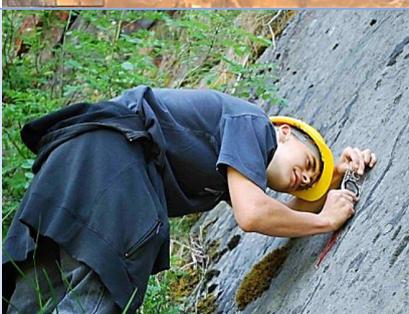
Los geocientíficos en formación, y a lo largo de su vida profesional, utilizan gran variedad de técnicas y habilidades para observar, medir y monitorear el medio ambiente; para reunir sus observaciones; y, para explicar cómo funciona actualmente el medio ambiente, cómo funcionó en el pasado geológico, y para investigar actividades y problemas geológicos.

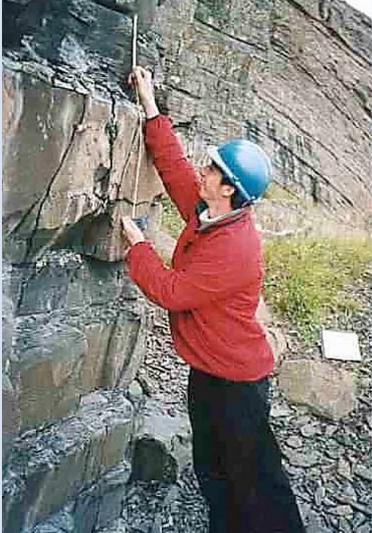
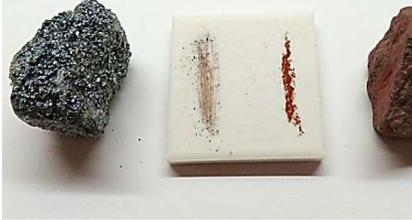
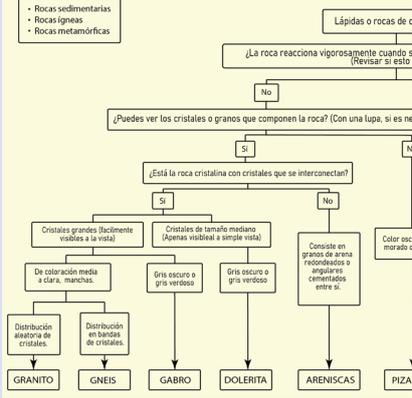
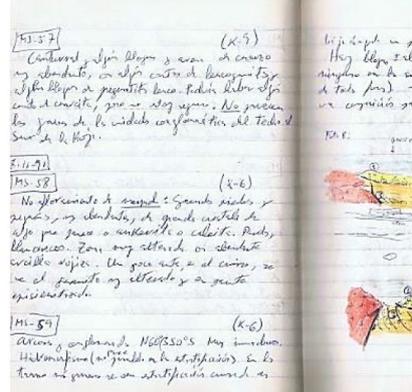
El trabajo de campo solo debe realizarse cuando se evalúan cuidadosamente los riesgos naturales, siguiendo los códigos de conducta, de salud y de seguridad geológicos. Detalles específicos acerca de estos códigos están disponibles de manera gratuita en Internet.

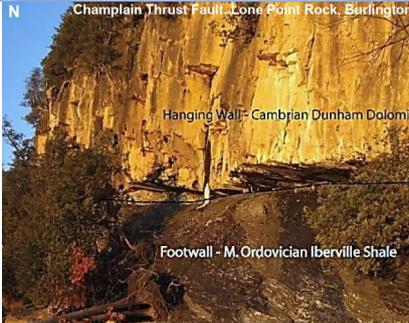
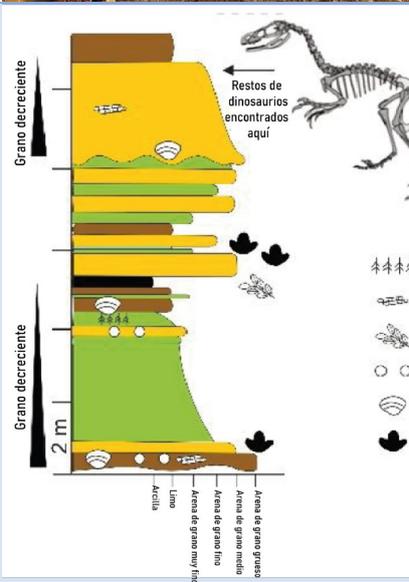
7.1 Observación, medición y registro

La observación, la medición y el registro geocientífico se realiza a varias escalas, desde microscópica hasta escala de paisaje y aún mayores. Algunos de los métodos utilizados se muestran en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Métodos utilizados para observar y registrar características geocientíficas del medio ambiente.

Método	Descripción	Imagen	Fuente
Observación microscópica	Se usa un solo ocular o se usa un microscopio binocular para observar de cerca los materiales de la Tierra.		Observación microscópica de diamantes, Reino de Esuatini.
Observación a través de una lupa	Para usar una lupa en el laboratorio o en el campo, póngalo cerca de su ojo y acerque el material a observar para así conseguir una mejor visión de este. Como contraparte, esta visión no puede ser mostrada como una imagen de cámara.		Observando un fósil con el uso de una lupa.
Observación del paisaje	Observar el paisaje es una ayuda para el mapeo geológico, se debe enfocar en roturas y cambios de pendiente, y en los cambios de vegetación.		Observando un paisaje en el Valle Yorkshire, Inglaterra.
Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Las características geológicas pueden destacarse usando los SIG, así como en las fotografías aéreas e imágenes de satélite.		Imagen satelital que muestra las secuencias del doblamiento de una roca en el desierto argelino.
Mediciones de campo y de laboratorio	Medición del ángulo de inmersión y determinación de la dirección de un lecho inclinado; se mide el ángulo de inmersión usando un clinómetro para determinar el ángulo descendente de pendiente más empinada entre 0 - 90°; la dirección de inmersión es la mayor pendiente descendente y el rumbo es determinado con una brújula entre 0° a 360°.		Medición del ángulo de inclinación de un lecho, Reino Unido.

	<p>Medición de diferencias entre espesores de lechos.</p>		<p>Medición de espesor de lecho en el Grupo estratigráfico Aberystwyth Grits en Gales.</p>
<p>Ensayos de campo y de laboratorio</p>	<p>Rocas y minerales pueden ser ensayados en el campo y en el laboratorio para determinar gran variedad de sus propiedades.</p>		<p>Muestras de veta de hematitas.</p>
<p>Sistemas de clasificación</p>	<p>Sistemas de clasificación de minerales, rocas, fósiles, texturas de roca, estructuras de roca, composiciones de roca, etc. pueden ser usados teniendo como guías a libros de referencia.</p>		<p>Descripción clave de la roca en La Unidad de Educación en Ciencias de la Tierra</p>
<p>Libreta de campo</p>	<p>Notas de características geológicas son cuidadosamente registradas en cuadernos o dispositivos electrónicos con detalles de fecha, ubicación geográfica, características físicas encontradas y orientaciones.</p>		<p>Notas geológicas de campo.</p>

<p>Registro de diagramas de campo y laboratorio</p>	<p>Los diagramas se dibujan para obtener una escala y unas etiquetas, y así tener notas de ubicaciones y de orientaciones.</p>		<p>Registrando un diagrama de campo en Strumble Head, Gales.</p>
<p>Registro fotográfico</p>	<p>Las fotografías generan registros valiosos, particularmente cuando están acompañadas de diagramas de campo.</p>		<p>Registro fotográfico en Thrust Champlain, Lone Rock Point, Burlington, Vermont, Estados Unidos.</p>
<p>Columnas estratigráficas</p>	<p>Los registros gráficos o estratigráficos se dibujan en escala vertical, mostrando la magnitud de la veta como el ancho del registro, y mostrando los distintos tipos de roca sedimentaria por color o por sombreado; otras características como estructuras sedimentarias u horizontes fósiles son agregados.</p>		<p>Registro estratigráfico del Cretácico Temprano de la formación Kitadini, rica en fósiles, cerca de la ciudad Katsuyama, Japón.</p>
<p>Observaciones meteorológicas</p>	<p>Mediciones regulares se realizan en una Pantalla Stevenson.</p>		<p>Pantalla Stevenson protegiendo instrumentos climatológicos, con un pluviómetro a la derecha.</p>

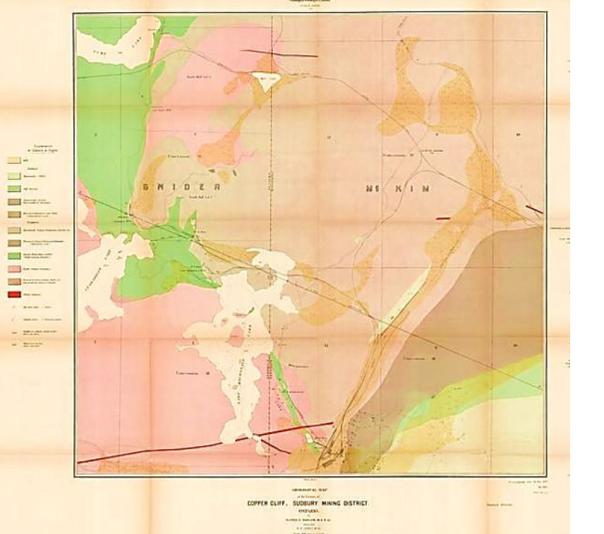
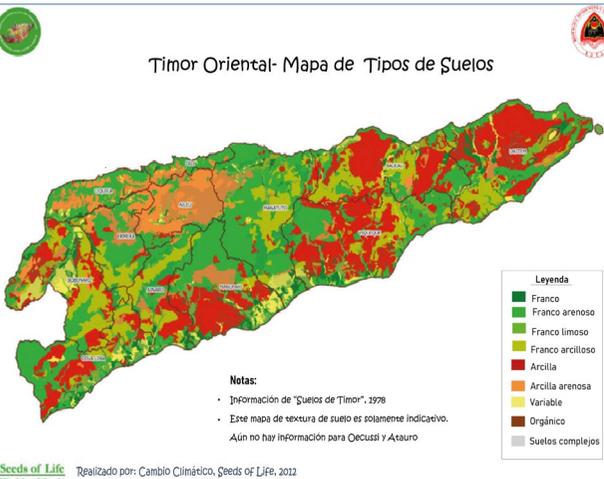
<p>Muestreo de la calidad del aire</p>	<p>La calidad del aire es monitoreada particularmente en la ciudad y en sus áreas cercanas.</p>		<p>Muestreo de la calidad del aire en Francia.</p>
<p>Excavación de pozos</p>	<p>Perfiles de suelo son medidos a través de las capas horizontales obtenidas en la excavación de pozos.</p>		<p>Pozo de tierra en las estribaciones del Monte Cárpatos, Polonia.</p>
<p>Muestreo de la calidad del agua</p>	<p>La calidad del agua es monitoreada aplicando gran variedad de pruebas.</p>		<p>Prueba de calidad del agua, Puerto Macquarie, Nueva Gales del Sur, Australia.</p>
<p>Muestreo oceanográfico</p>	<p>Mediciones regulares son realizadas en el mar utilizando una amplia variedad de dispositivos.</p>		<p>Muestreo de una columna de agua en el océano, afueras de Australia.</p>

7.2 Síntesis de observaciones

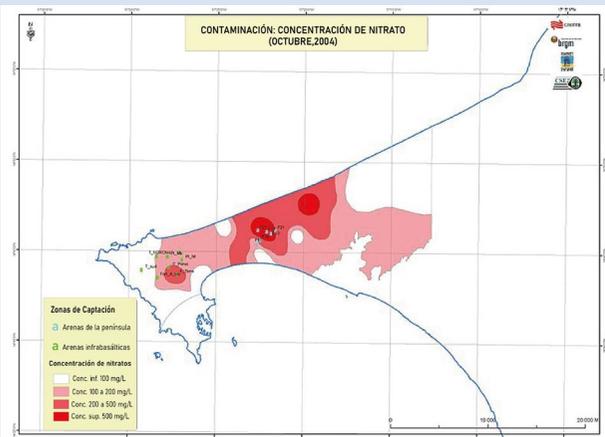
A medida que se recopilan las observaciones de campo, estas se agrupan en modelos flexibles del proceso geológico, de la historia o de la distribución espacial que se estudia, tal como se muestra en la Tabla 7.3. Estas imágenes se construyen juntas para ayudar al observador a saber qué observaciones adicionales son necesarias y cuál es la mejor manera de recopilarlas.

Tabla 7.3. Observaciones de las geociencias presentadas en modelos y mapas.

Metodología	Descripción	Imagen	Fuente
Interpretación Paleambiental	Los geocientíficos utilizan pistas que obtienen observado rocas sedimentarias para construir una pintura de cómo era la zona cuando el material geológico se sedimentó.		Representación de una escena del Jurásico Smithsonian. Museo Americano de Historia Natural, Washington DC, Estados Unidos.
Registro del enfriamiento de una roca ígnea	En rocas ígneas con grandes cristales separados, los cristales crecieron muy pronto en el magma antes de que este se incrustara en una zona más fresca y de enfriado más rápido, formando así un grano de mineral con antecedentes más finos.		Antecedentes de cristales grandes de feldespato en una roca ígnea de grano más fino, lo que muestra dos etapas de enfriamiento, cerca de Oporto, Portugal.
Reconstrucción de la historia geológica	Aquí los sedimentos más bajos se depositaron abajo, formando rocas y luego se inclinaron verticalmente por un episodio de construcción de montaña; después de la erosión, las rocas inclinadas se acostaron en la parte superior antes de inclinarse y se erosionaron.		La inconformidad descubierta por James Hutton en Cabo Siccar, Escocia (marcado con línea color naranja).

<p>Mapa geológico</p>	<p>Si se eliminará todo el suelo que recubre el área a ser dibujada, todas las observaciones de superficies de rocas expuestas, patrones de drenaje y marcas en los cambios de pendiente de los límites geológicos se ponen juntos, a vuelo de pájaro, en un mapa geológico</p>		<p>Mapa geológico de Acantilado de Cobre, Distrito Minero Sudbury, Ontario, Canadá.</p>
<p>Sección geológica transversal</p>	<p>Al construir una sección transversal se muestra la estructura geológica subterránea.</p>		<p>Sección transversal del Acantilado de Cobre del mapa mostrado arriba.</p>
<p>Mapa de suelo</p>	<p>Son mapas científicos del suelo basados en sus rasgos superficiales; los mapas del suelo se utilizan en la planificación agrícola.</p>		<p>Mapa de suelos de la Isla de Timor</p>

Mapa de contaminación
Mapa hidrogeológico de la
contaminación de agua
subterránea.



Mapa de agua subterránea
contaminada con nitrato en la
Península de Cabo Verde,
Senegal.

7.3 Investigación y validación de hipótesis.

Los geocientíficos realizan investigaciones en busca de evidencias que fundamenten y validen sus respuestas a preguntas geocientíficas.

- En primer lugar, a ellos se les entrega, o identifican por sí mismos, una pregunta que necesita respuesta o una hipótesis o idea que necesita ser investigada.
- El siguiente paso es armar un plan para investigar la hipótesis o probar la idea, el cual deberá ser lo suficientemente flexible como para ser cambiado durante la investigación, esto si los primeros resultados no son los esperados o no brindan información útil.
- Un proceso de evaluación de riesgos es elaborado y registrado.
- Luego el plan es ejecutado; este va cambiando y evolucionando a medida que se recopila más información.
- A medida que los datos son recopilados, estos son procesados por diferentes metodologías; por ejemplo, elaborando mapas, dibujando secciones transversales, realizando cálculos o construyendo modelos, incluidos modelos físicos, modelos informáticos y modelos matemáticos.
- A medida que se recopilan los resultados, estos se evalúan para construir una imagen general que responda a la pregunta original, para detectar información inusual que pueda ser importante; y, para guiar la recopilación de más datos.
- Durante todo este proceso los resultados deben ser entregados a quienes necesitan la información; la entrega se realiza a través de una variedad recursos que incluyen informes, presentaciones y publicaciones académicas.

Cuando todo esto se realiza de forma correcta los resultados mostrarán claramente el éxito de la investigación; respuestas a las preguntas de investigación deben ser sugeridas; las hipótesis e ideas deben haber sido probadas con éxito; o, también, se informará que ningún resultado posible ha sido obtenido debido a la falta de evidencia.

Cuadro 7.2. Investigaciones en Cartografía geológica

Para responder a la pregunta "En esta área, ¿dónde afloran las formaciones geológicas y los límites entre ellas?", un geólogo elaboraría un mapa geológico.

Los mapas geológicos son vistas en planta (desde arriba) de un área que muestran dónde estarían los límites entre formaciones geológicas si se eliminara el suelo, las construcciones y demás materiales que cubren el área de estudio. Los mapas geológicos son complejos de elaborar porque primero se debe identificar los límites entre formaciones y luego, considerando el relieve de la topografía, sus ubicaciones deben ser trazadas en mapas topográficos. Para realizar esto, los geólogos deben saber en todo momento dónde exactamente están ubicados en el mapa topográfico, midiendo rumbos, usando fotos aéreas o satelitales o usando Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

La línea que muestra un límite geológico es bastante fácil de trazar en un mapa siempre que la diferencia

entre las dos formaciones sea clara, que el límite esté bien expuesto y que el límite sea casi vertical. Cuando los límites son casi horizontales, la forma del límite está estrechamente controlada por la forma del suelo (topografía) y, por lo tanto, puede ser compleja.

Los geólogos, en el campo, trazan mapas que se basan en mapas topográficos. Primero, ellos identifican los límites del mapa a elaborar, luego trazan la posición del límite en sus mapas base usando rumbos, fotos o sistemas GPS. Luego siguen el límite, el hundimiento de la roca y demás información visual, trazando la posición del límite a medida que avanzan. Cuando el límite desaparece bajo el suelo, utilizan características de la superficie como cambios en la pendiente, vegetación, drenaje, cambios en el color del suelo o cambios en los fragmentos de roca excavados por animales, lo que les ayudará a determinar el rastro más probable que les lleve nuevamente el límite. Cuando el límite vuelve a quedar expuesto, pueden ajustar su "asignación de características" según sea necesario. Los límites geológicos trazados incluirán los límites de la formación, las fallas y el desplazamiento de los límites por fallas y otras características como disconformidades o márgenes de intrusiones; las direcciones del movimiento de la falla también son registradas.

A medida que los geólogos están cartografiando, la dirección de buzamiento y el buzamiento de cualquier plano de estratificación se registran y se trazan, ya que brindan una guía secuencial de la historia geológica; por ejemplo, mostrando dónde se encuentran rocas inclinadas, anticlinales, sinclinales y fallas.



Límite geológico entre arenisca gris y granito pálido de grano fino, Sea Point, Ciudad del Cabo, Sudáfrica



Un cambio importante de la pendiente en el límite geológico entre las duras rocas ígneas de un alféizar a la derecha y las rocas sedimentarias más débiles a la izquierda, Muro de Adriano, norte de Inglaterra.

Cuadro 7.3. Investigación sobre prospección de diamantes

Los diamantes provienen de rocas volcánicas llamadas kimberlitas que normalmente se encuentran en chimeneas volcánicas verticales, pero que también pueden formar diques y umbrales. Los diamantes son raros en las kimberlitas; otros minerales kimberlíticos como los granates son mucho más comunes, por lo que los buscadores no buscan diamantes sino granates kimberlíticos.

El muestreo de arroyos y suelos de un área del sur de África descubrió un área de suelo angosta, con tendencia norte-sur, de aproximadamente de 1 km de largo, rica en minerales kimberlíticos y con tres diamantes microscópicos. La hipótesis de búsqueda fue que estos debían provenir de un dique de kimberlitas con dirección norte-sur que contenía diamantes. Así que se excavó una serie de trincheras en dirección Este-Oeste hasta el lecho de roca jurásico, en búsqueda del dique, pero no se lo encontró.

El lecho jurásico rocoso era en gran parte de arenisca, con algunos lechos de lutitas y descendía hacia el oeste. El lecho de lutitas era rico en granates kimberlíticos y con algunos diamantes, su afloramiento en dirección norte-sur había producido que la zona de suelo sea rica en granates. Esto era muy inusual: nunca en África se había encontrado rocas sedimentarias antiguas que contuvieran grandes cantidades de minerales kimberlíticos y de diamantes.

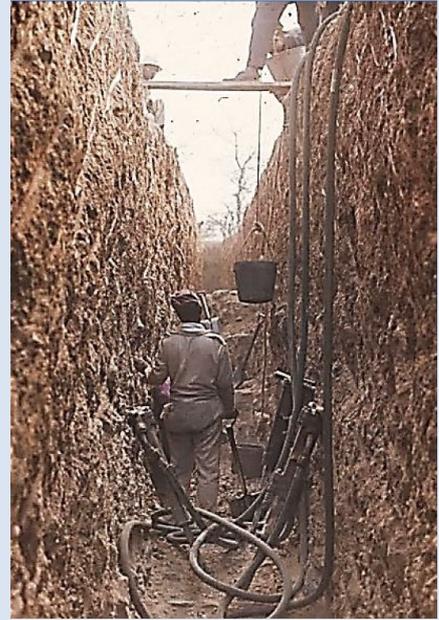
Entonces, la investigación necesitaba avanzar en dos direcciones.

El depósito tuvo que ser analizado para descubrir si este era lo suficientemente rico en diamantes como para que valiera la pena ser explotado. Mientras tanto, la prospección debía continuar para encontrar la fuente original de los diamantes, con la esperanza de que también se pudiera explotar.

Se realizaron mediciones en el lecho transversal de la arenisca las cuales mostraron que el río que depositó las areniscas en el período Jurásico había venido desde el oeste. Esta era una buena noticia porque si la fuente original de minerales y diamantes era una chimenea de Kimberlita, está aún podría estar expuesta. Si la fuente hubiera estado en el este, esta habría sido enterrada bajo más areniscas jurásicas; si hubiera estado al sur o al norte, también podría haber sido enterrada.

Por lo tanto, se llevó a cabo un extenso programa de muestreo de suelos y arroyos hacia el oeste, y finalmente se encontró un área circular de suelo rico en granates. Cuando este fue excavado, se descubrió que era una kimberlita lo suficientemente rica en diamantes como para ser explotada. La mina de diamantes trabajó exitosamente por más de quince años.

Mientras tanto se descubrió que el depósito original no contenía, debido al precio de los diamantes de ese entonces, suficientes diamantes para que valiera la pena explotarlo; aunque es posible que los diamantes se extraigan en el futuro.



Excavación de zanjas hasta el lecho rocoso (antes de las normas modernas de salud y seguridad)



Una capa de lutita rica en diamantes



Arenisca jurásica de estratos cruzados que muestra el flujo del antiguo río desde el oeste (izquierda)

Glosario

Traducido por: Wilmer Pérez

Cada uno de estos términos se muestra en **negrita** en o cerca de donde aparece por primera vez y luego se define en el texto. Por favor use su 'buscador' para encontrar el primer uso del término y su definición allí.

<p> Acuífero Acuífero confinado Agregado Agua artesisiana Agua subterránea Albedo Alta presión Anticlinal Arco de la isla Articulación Asteroide Atmósfera Aureola metamórfica </p> <p> Baja presión Batolito Biosfera Bien Bisagra plegable </p> <p> Cama Cámara de magma Captura de carbón Cehouse condiciones Cementación Ciclo de carbono corto Ciclo de Wilson (o J. Tuzo ciclo de Wilson) Ciclo del agua Ciclo del supercontinente Citas relativas Citas relativas Cometa Compactación Condensación Condición de invernadero Contaminante Convección del manto Correlación Cuerpo fósil Culpa Curva de desintegración radiactiva </p> <p> Datación absoluta Datación radiométrica Desarrollo sostenible Deslizamiento de tierra Dique </p> <p> Eclipse lunar </p>	<p> Laminación Litificación Litosfera Lixiviado </p> <p> Hidrosfera Hipótesis nebular </p> <p> Impermeable Infiltración Invernadero mejorado </p> <p> Magma Marea de primavera Marea muerta Margen horneado Márgenes convergentes Márgenes de placa divergentes Mecanismo Mecanismo de empuje de cresta Mecanismo de tracción de losas Medía vida Mesa de agua Metamorfismo Metamorfismo regional Metamorfismo térmico Meteorización Mineral Mitigación </p> <p> Ondas sísmicas </p> <p> Peligros naturales (ver Permafrost) Permeabilidad Plano de falla Pliegue Pliegue abierto Pliegue apretado Pliegue isoclinal Plutón Polaridad magnética invertida Polaridad magnética normal Porosidad Primavera Prisma de acreción Proceso Producto Punto de inflexión riesgos </p>	<p> Selección natural Sinclinal Sismómetro Sistema Sistema abierto Sistema cerrado Subducción </p> <p> Teoría de la deriva continental Teoría de la expansión del fondo marino Teoría de las placas tectónicas Teoría del Big Bang) Tiempo de residencia Tierra Tierra bola de nieve Tierra de aguanieve Transformar fallas Transpiración Traza fósil Tubería volcánica Tapón volcánico </p> <p> Umbral </p> <p> Zona saturada </p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><i>Eclipse solar</i> <i>Efecto</i> <i>Efecto invernadero</i> <i>Energía renovable</i> <i>Enfocar</i> <i>Epicentro</i> <i>Erosión</i> <i>Evaporación</i> <i>Extinción masiva</i> <i>Extremidad plegable</i></p> <p><i>Falla de empuje</i> <i>Falla de rumbo</i> <i>falla inversa</i> <i>Falla normal</i> <i>Fluyendo bien</i> <i>Fósil</i> <i>Fusión parcial</i></p> <p>Geosfera</p>	<p><i>Raíces de montaña</i> <i>Raíces de montaña</i> <i>Realimentación</i> <i>Remediación</i> <i>Retroalimentación positiva</i> <i>Riesgos</i> <i>Roca ígnea</i> <i>Roca ígnea extrusiva</i> <i>Roca ígnea intrusiva</i> <i>Roca plutónica</i> <i>roca sedimentaria</i> <i>Roca volcánica</i> <i>Roca volcánica</i> <i>Rocas metamórficas</i> <i>Rock</i></p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Glosario de elementos, compuestos e iones

<p><i>Al - Aluminio</i> <i>Au - oro</i> <i>Ca - calcio</i> <i>Cl - cloro</i> <i>Fe- Hierro</i> <i>H - hidrógeno</i> <i>K - potasio</i> <i>magnesio - magnesio</i> <i>Na - sodio</i> <i>O-oxígeno</i> <i>Pb - plomo</i> <i>S - azufre</i></p>	<p><i>Ca(OH) 2 - hidróxido de calcio, cal</i> <i>CaCO 3 - carbonato de calcio, calcita</i> <i>Cao - Oxido de calcio</i> <i>CaSO 4. 2H2O - sulfato de calcio, yeso</i> <i>CH4 - gas metano</i> <i>CO 2 - gas de dióxido de carbono</i> <i>CUFES2 - piritas de cobre y hierro, calcopirita</i> <i>Fe3O4 - óxido de hierro, hematites</i> <i>FeS - sulfuro de hierro, pirita</i> <i>KCl - cloruro de potasio, potasa</i> <i>NaCl - cloruro de sodio, halita</i> <i>PbS - sulfuro de plomo, galena</i> <i>SiO 2 - dióxido de silicio, cuarzo</i></p>	<p><i>Cl- - Ion Cloro</i> <i>HCO3 - - Ion carbonato de hidrogeno</i> <i>K+ - ion potasio</i> <i>Mg2+ - Ion magnesio</i> <i>Na+ -Ion sodio</i> <i>SO42- -ion sulfato</i></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Apéndice

Traducido por: Mónica Vega

Plan de Estudios internacional de geociencias, para la educación de alumnos de 16 años

Informe interno en nombre de la Organización Internacional para la Educación en Geociencias (IGEO) y la Unión Internacional de Ciencias Geológica

Comisión de Educación en Geociencias (IUGS-COGE)

Preparado por:

Chris King – Reino Unido

Con contribuciones clave de:

Ian Clark – Australia

Rosely Imbernon – Brasil

Luis Marqués – Portugal

Ian McKay – Sudáfrica

Bronte Nichols – Australia

Glenn Vallender – Nueva Zelanda

Clara Vasconcelos – Portugal

Ashvin Wickramasooriya – Sri Lanka

Michael Wysession – Estados Unidos de América

Plan de Estudios internacional de geociencias, para la educación de alumnos de 16 años

Este programa de estudios ha sido preparado por la Organización Internacional para la Educación en Geociencias (IGEO) y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, Comisión de Educación en Geociencias (IUGS-COGE)

El plan de estudios se basa en los siguientes principios:

- Se basa en los planes de estudios existentes en todo el mundo, ya que es más probable que sea aceptado a nivel mundial: la matriz de la cobertura de los programas de estudios existentes comienza en la página 7;
- La estructura del programa de estudios internacional es clara, aunque tal estructura no es evidente en muchos planes de estudios existentes;
- El programa de estudios se presenta de manera concisa en una sola página, ya que es más probable que un programa de estudios conciso sea aceptable por los educadores que no son de ciencias de la Tierra; se proporciona más detalle a través de ejemplos en las siguientes páginas para indicar el alcance, aunque se anticipa que ese detalle varía de un país a otro;
- El plan de estudios no pretende indicar la progresión.

©La Organización Internacional de Educación en Geociencias (IGEO) y la Comisión de Educación en Geociencias de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS-COGE), enero 2014.

Plan de Estudios internacional de geociencias, para la educación de alumnos de 16 años – Silabo central

A la edad de 16 años, los alumnos deben desarrollar una comprensión de lo siguiente:

La Tierra como un sistema cambiante		- Atmósfera	
Atributos	Abierto a la energía, casi cerrado a la materia, cambiando con el tiempo, dentro del sistema solar, que comprende geosfera, hidrosfera, atmósfera, biosfera.	Composición	Evolución, composición actual.
Interacciones	Interacción de la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera, la biosfera.	Flujo	Procesos de movimiento.
Reacción	Positivo y negativo.	Cambios	Efecto invernadero, influencias planetarias, influencia humana, impacto en el nivel del mar.
Procesos y productos	Ciclo del agua, ciclo de las rocas, ciclo del carbono.		
Fuentes de energía	Solar, interna.	- Biósfera	

<p>La Tierra es un sistema dentro del sistema solar, dentro del universo.</p> <p>Origen Big Bang; acumulación de polvo; estrellas; planetas. El Sol Única fuente de energía externa; fluctuaciones. Efecto rotacional Día/noche, estaciones, fases lunares, eclipses.</p>		<p>Evolución Selección natural, evidencia fósil, extinción masiva. Impacto en otros sistemas Papel de la biosfera en los sistemas terrestres.</p>
<p>La Tierra es un sistema que ha cambiado con el tiempo</p> <p>Tiempo geológico Lapso, eventos importantes, datación relativa y absoluta métodos, tasas de procesos.</p>		<p>El sistema de la Tierra produce recursos.</p> <p>Materias primas y combustibles fósiles Naturalmente concentrado, no renovable, usos, necesidad gestión cuidadosa (desarrollo sostenible), potencialmente contaminante. Energía renovable Materia.</p>
<p>El sistema de la Tierra comprende esferas que interactúan</p> <p>- Geósfera</p> <p>Materiales de la Tierra y propiedades Minerales, fósiles, rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, suelo. Procesos de la Tierra y características preservadas Procesos superficiales, procesos sedimentarios, ígneos y metamórficos, deformación (AW). Estructura de la Tierra y evidencias Corteza, manto, núcleo, litosfera. Tectónicas de Placas y evidencias Teoría unificadora, construcción y subducción de placas, características de los márgenes de las placas, mecanismo, tasas de movimiento; evidencia.</p> <p>- Hidrósfera</p> <p>Agua continental Ubicación, procesos de movimiento, usos. Agua oceánica Composición, procesos de movimiento.</p>		<p>Humanos / interacción con el sistema de la Tierra</p> <p>Peligros naturales Impacto humano, previsión, mitigación. Cuestión ambiental Local a global, mitigación. Impacto humano en la historia Guerras de recursos; migración debido al cambio climático.</p> <p>El sistema de la Tierra se explora a través del trabajo de campo y el trabajo práctico</p> <p>Observación Observación, medición y registro Síntesis de la observación Interpretación Investigación y prueba de la hipótesis Diseñar e implementar planes, procesar datos, sacar conclusiones, evaluar resultados y comunicando hallazgos.</p>
<p>Plan de Estudios internacional de geociencias, para la educación de alumnos de 16 años – Silabo central con ejemplos</p>		
<p>A la edad de 16 años, los alumnos deben desarrollar una comprensión de lo siguiente:</p>		<p>Ejemplos para indicar el alcance de la cobertura del silabo central (se anticipa que esto variará de un país a otro)</p>
<p>La Tierra como un sistema cambiante</p> <p>Atributos Abierto a la energía, casi cerrado a la materia, cambiando con el tiempo, dentro del sistema solar, que comprende geosfera, hidrosfera, atmósfera, biosfera.</p>		

Interacciones	Interacción de la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera, la biosfera.	La interacción litosfera/hidrosfera provoca procesos costeros; la interacción hidrosfera/atmósfera provoca ondas y calentamiento atmosféricos; la interacción atmósfera/biosfera controla climáticamente la vegetación; la interacción litosfera/biosfera afecta la calidad del suelo; las tasas varían de rápido a lento.
Reacción	Positivo y negativo.	Positivo: el aumento del área de las capas de hielo polar da un mayor reflejo de energía solar, aumenta el enfriamiento, aumenta el área de capas de hielo polar. Negativo: cuanto más dióxido de carbono se libera a la atmósfera, más se absorbe en los océanos.
Procesos y productos	Ciclo del agua, ciclo de las rocas, ciclo del carbono.	Propiedades únicas del agua, evaporación, transpiración, condensación, precipitación; meteorización/erosión, sedimentación, metamorfismo, fusión, actividad ígnea; fotosíntesis, respiración, entierro como caliza/combustible fósil, liberación por quema/meteorización.
Fuentes de energía	Solar, interna.	Energía interna de la radiactividad y energía de la formación de la Tierra
La Tierra es un sistema dentro del sistema solar, dentro del universo.		
Origen	Big Bang; acumulación de polvo; estrellas; planetas.	energía solar que impulsan el ciclo del agua y el clima; fluctuaciones a largo plazo de energía del sol relacionada con el cambio climático.
El Sol	Única fuente de energía externa; fluctuaciones.	
Efecto rotacional	Día/noche, estaciones, fases lunares, eclipses.	
La Tierra es un sistema que ha cambiado con el tiempo		
	Lapso, eventos importantes, datación relativa y absoluta	
Tiempo geológico	métodos, tasas de procesos.	Eventos mayores: 4600 millones de años (Ma) – formación de la Tierra; 3600Ma – primeras etapas de la vida; 550Ma – animales con partes duras; 250Ma – gran extinción, incluyendo trilobites; 65Ma: gran extinción, incluidos los dinosaurios; 1Ma glaciación; Datación principios: superposición, relaciones transversales, correlación fósil; datación radiométrica; los procesos ocurren en un espectro de frecuencia-magnitud de continuo a catastrófico.
El sistema de la Tierra comprende esferas que interactúan		
- Geósfera		
Materiales de la Tierra y propiedades	Minerales, fósiles, rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, suelo.	Definiciones de: mineral, fósil, roca, roca sedimentaria, roca ígnea, roca metamórfica, suelo; minerales que incluyen: cuarzo, feldespato, mica, granate, calcita, halita, yeso, pirita, galena; fósiles incluyendo: trilobites, ammonites, dinosaurio; procesos de fosilización incluyendo: enterramiento, reposición, moldes y moldes, rastros de fósiles; textura de la roca, porosidad, permeabilidad; rocas sedimentos. Incluyendo: piedra caliza, creta, conglomerado, arenisca, arcilla, esquisto, sal de roca; características sedimentarias que incluyen: estratificación (lecho), lecho cruzado, onduladas marcas; rocas ígneas que incluyen: granito, basalto, andesita, gabro, ceniza volcánica; rocas metamórficas que incluyen: pizarra, esquisto, gneis, mármol, metacuarcita (cuarcita).
Procesos de la Tierra y características preservadas	Procesos superficiales, procesos sedimentarios, ígneos y metamórficos, deformación (AW).	meteorización (física/química), erosión, transporte, deposición, litificación, metamorfismo, intrusión, extrusión, plegamiento, falla, unión.
Estructura de la Tierra y evidencias	Corteza, manto, núcleo, litosfera.	Evidencia sísmica
Tectónicas de Placas y evidencias	Teoría unificadora, construcción y subducción de placas, características de los márgenes de las placas, mecanismo, tasas de movimiento; evidencia.	Márgenes constructivos, destructivos y conservadores; evidencias del pasado y presente
- Hidrósfera		
Agua continental	Ubicación, procesos de movimiento, usos.	Aguas superficiales, subterráneas, casquetes polares/glaciares; infiltración, flujo cuesta abajo;

Agua oceánica	Composición, procesos de movimiento.	gestión de recursos hídricos. salinidad; flujo superficial y olas causadas por el viento; flujo profundo debido a diferencias en la densidad causadas por la temperatura y la salinidad.
- Atmósfera		
Composición	Evolución, composición actual.	Desgasificación por reciente actividad volcánica; nitrógeno, oxígeno, gases traza incluyendo vapor de agua y dióxido de carbono.
Flujo	Procesos de movimiento.	Calentamiento desigual de la Tierra, flujo debido a diferencias de densidad causadas por temperatura, fuente de calor oceánica.
Cambios	Efecto invernadero, influencias planetarias, influencia humana, impacto en el nivel del mar.	Gráficos de temperatura en diferentes lapsos de tiempo; vínculo entre la temperatura cambio y nivel del mar.
- Biósfera		
Evolución	Selección natural, evidencia fósil, extinción masiva.	Efectos paleogeográficos en la evolución; de extinción masiva por actividad volcánica e impacto.
Impacto en otros sistemas	Papel de la biosfera en los sistemas terrestres.	Meteorización biológica; acumulación biológica
El sistema de la Tierra produce recursos		
Materias primas y combustibles fósiles	Naturalmente concentrado, no renovable, usos, necesidad de gestión cuidadosa (desarrollo sostenible), potencialmente contaminante.	Petróleo/gas; minerales metálicos; materias primas a granel; ejemplos locales de minería/canteras
Energía renovable	Problemas.	baja contaminación, costo, regularidad del suministro
Interacción del sistema humano/Tierra		
Peligros naturales	Impacto humano, previsión, mitigación.	erupción; terremoto; maremoto; deslizamiento
Problemas ambientales	Local a global, mitigación.	Impacto humano global (causando erosión, contaminación, cambios en el drenaje) minería/canteras); quema de combustibles fósiles y efecto invernadero.
Impacto en la historia humana	guerras de recursos; migración debido al cambio climático	
El sistema de la Tierra se explora a través del trabajo de campo y el trabajo práctico		
Observación	observación, medición y registro	
Síntesis de observaciones	Interpretación	Entorno de la formación de rocas, geología histórica, problemas ambientales
Investigación y prueba de hipótesis	diseñar e implementar planes, procesar datos, sacar conclusiones, evaluar resultados y comunicando hallazgos.	

Imágenes y créditos

Siglas	Clave
CCA-SA	Bienes comunes creativos Atribución-Compartir Igual
ESEU	Unidad de Educación en Ciencias de la Tierra
GNUFDL	Licencia de documentación libre GNU (Versión 1.2).
ipd	en/dentro del dominio público
ISAL	Laboratorio de Ciencia y Análisis de Imágenes
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los EEUU
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
USNOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos

Figuras

Figura 0.1. Guijarros interesantes y formas de arena.

- Guijarros. Publicado por David Bleasdale bajo CCA A 2.0 Licencia genérica
- Formas de arena. Publicado por vastateparksstaff bajo licencia genérica CCA 2.0

Figura 1.1. Sistemas abiertos y cerrados.

- Un lavabo. Publicado ipd por Chris McKenna
- Dosis de vacuna. Licenciado por Termolar SA bajo licencia internacional CCA-SA 4.0

Figura 1.2. La Tierra – un sistema muy complejo. Este archivo es ipd porque fue creado únicamente por la NASA.

Figura 1.3. Sal extraída de una laguna salada costera en Túnez. Publicado por Kalechnizar bajo CCA-Licencia SA 3.0 no portada

Figura 1.4. La capa de hielo del Ártico en 1984 y 2012. Publicado por <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=79256> e ipd porque fue creado únicamente por la NASA

Figura 1.5. Una demostración simple del ciclo del agua. Foto: Chris King

Figura 1.6. Procesos y productos del ciclo del agua. Redibujado de Sigried bajo CCA-SA A 3.0 Unported licencia

Figura 1.7. Procesos y productos del ciclo de las rocas

Figura 1.8. Procesos y productos del ciclo del carbono

Figura 2.1. Galaxias fotografiadas por el telescopio Hubble

- Messier 96, una galaxia espiral. Publicado por NASA ipd
- Galaxias espirales en forma de rosa. Publicado por NASA ipd
- Centro NGC 1097. Publicado por NASA ipd

Figura 2.2. El Sol – nuestra principal fuente de energía. Publicado por HalloweenNight bajo CCA-SA 4.0 licencia internacional

Figura 2.3. El efecto de calentamiento del ángulo del Sol en el cielo.

Figura 2.4. Las fases de la luna

Figura 2.5. La Luna llena. Publicado por MKcray bajo los términos de GNUFDL

Figura 2.6. Un collage de fotografías de un eclipse solar parcial, visto desde Alemania. Publicado por Sgbeer bajo los términos de GNUFDL Versión 1.2.

Figura 2.7. Un collage de fotos de un eclipse lunar, visto desde California, EE. UU. Publicado por Jason Snell bajo CCA 2.0 Licencia genérica

Figura 3.1. La curva de desintegración radiactiva para la descomposición de todos los materiales radiactivos.

Figura 4.1. Porosidad y permeabilidad en rocas.

Figura 4.2. Argentinosaurus de Argentina, el tipo más grande de dinosaurio conocido hasta el momento y de electrones de exploración imágenes microscópicas de diminutos microfósiles marinos

- Reconstrucción de Argentinosaurus en una exposición especial del Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt, Alemania. Publicado por Eva Kröcher bajo los términos de la GNUFDL
- Imágenes SEM de microfósiles marinos. Publicado por Hannes Grobe/AWI bajo licencia CCAA 3.0 Unported

Figura 4.3. fosilización

Figura 4.4. Secuencia de suelos en Altenberg, Alemania. Publicado por Failbub bajo licencia CCA-SA 3.0 Unported

Figura 4.5. El enfriamiento y la cristalización de las rocas ígneas

Figura 4.6. Cuerpos ígneos en los océanos

Figura 4.7. Cuerpos ígneos en los continentes

Figura 4.8. Efectos metamórficos térmicos

Figura 4.9. Sección transversal de la Tierra

Figura 4.10. La geología de la corteza terrestre. Publicado por USGS e ipd porque solo contiene materiales que originalmente vino de USGS

Figura 4.11. Las rocas más comunes de la corteza continental.

- Granito. ESEU. Foto: Peter Kennett
- Gneis. ESEU. Como anteriormente
- Piedra de barro. ESEU. Como anteriormente

Figura 4.12. La parte exterior de la Tierra

Figura 4.13. El fondo del Océano Pacífico; dorsal oceánica cerca del centro y trincheras al este y al oeste. Publicado por <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> y de dominio público

Figura 4.14. Anomalías magnéticas sobre Kingjanes Ridge, suroeste de Islandia. © Geociencia, redibujado por ESEU y utilizado con permiso de ESEU.

Figura 4.15. La formación de bandas magnéticas por los basaltos del fondo oceánico. Modificado de This Dynamic Earth:

The Story of Plate Tectonics (edición en línea), por W. Jacquelyne Kious y Robert I. Tilling e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USGS.

Figura 4.16. La cadena de islas volcánicas y montes submarinos volcánicos submarinos vinculados al hotspot de Hawái en el océano Pacífico. Publicado por el Centro Nacional de Datos Geofísicos/USGS e ipd porque contiene materiales que originalmente vinieron de USNOAA

Figura 4.17. Transformar las fallas que compensan la dorsal oceánica del Océano Atlántico. Publicado por <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> e ipd porque contiene materiales que originalmente vino de USNOAA

Figura 4.18. Se está creando una nueva litosfera oceánica en la dorsal oceánica en el Océano Atlántico medio. © Prensa & Siever, redibujado por ESEU, modificado y usado con su permiso

Figura 4.19. El valle del rift en el centro de una dorsal oceánica

Figura 4.20. Un pequeño valle del rift en Islandia, relacionado con el rifting de la dorsal oceánica. Puente entre continentes en la península de Kingkjanes, suroeste de Islandia a través del valle del rift de Alfgja, el límite de las regiones euroasiática y Placas tectónicas continentales de América del Norte. Publicado por Chris 73 bajo licencia CCA-SA 3.0 Unported

Figura 4.21. Una serie de fallas transformantes que compensan una dorsal oceánica y un valle de rift. Dibujado por D. King

Figura 4.22. La falla de San Andrés en California, Estados Unidos. Publicado por Robert E. Wallace e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USGS

Figura 4.23. Terremotos registrados en la zona de subducción de las Islas Kuriles; los terremotos son de color codificado por profundidad. Publicado por USGS e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USGS

Figura 4.24. Subducción en una colisión de dos placas oceánicas. Zona de colisión de placas oceánicas. Reproducido con permiso de USGS, redibujado por ESEU y usado con su permiso

Figura 4.25. El arco insular del Caribe. Publicado por <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USNOAA

Figura 4.26. Volcán Soufriere Hills en erupción en la isla Monserrat en el arco insular del Caribe. Imagen tomada por la tripulación de la Expedición 21 de la NASA y lanzó ipd porque fue creado únicamente por la NASA

Figura 4.27. Subducción de una placa oceánica debajo de una placa continental. Reproducido con permiso de USGS, redibujado por ESEU y usado con modificación y su permiso

Figura 4.28. La zona de colisión cuando la placa de Nazca se subduce debajo de la placa sudamericana. Publicado por <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> e ipd porque contiene materiales que originalmente vino de USNOAA

Figura 4.29. La cordillera de los Andes entre Chile y Argentina. Publicado por Jorge Morales Piderit

Figura 4.30. Una zona de colisión entre dos placas continentales. Reproducido con permiso de USGS, redibujado por ESEU y modificado, con permiso

Figura 4.31. La colisión de la placa india con la placa euroasiática, produciendo la cadena de montañas del Himalaya. Tomado de: Salvador Villu en Pinterest: <https://pin.it/18U79R5>

Figura 4.32. La cadena montañosa del Himalaya vista desde la Estación Espacial Internacional. Desde http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_152.html e ipd porque fue creado por ISAL del Centro Espacial Johnson de la NASA

Figura 4.33. Tasas de movimiento de las placas. Redibujado de un diagrama publicado por la NASA en <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> e ipd porque fue creado únicamente por la NASA

Figura 4.34. Mecanismos de movimiento de placas

Figura 4.35. Las principales placas tectónicas de la Tierra. Publicado por USGS e ipd porque solo contiene materiales que originalmente vinieron de USGS

Figura 4.36. Acuíferos

Figura 4.37. prueba de pozos

Figura 4.38. Una columna de contaminación de las aguas subterráneas. Redibujado de <http://pbisotopes.ess.sunysb.edu/clases/geo101-notes-07/ex-2-5.htm>

Figura 4.39. Marea alta y marea baja, el puente Humber, Inglaterra. Ambas imágenes publicadas por David Wright en el sitio web de Geograph y con licencia para su reutilización bajo la licencia CCA-SA 2.0

Figura 4.40. La Luna provocando abultamientos de marea

Figura 4.41. Cambios de marea, un ejemplo de Bridgeport, Connecticut, EE. UU. Publicado por Nicky McLean y publicado ipd

Figura 4.42. Olas: grandes y pequeñas

- Surf, California. Publicado por 2010_mavericks_competition.jpg: Shalom Jacobovitz bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Rotura de olas, Shingleton Beach, Australia Occidental. Publicado por Orderinchaos bajo CCA-SA 3.0 Licencia no portada

Figura 4.43. Corriente cálida de color rojo que fluye sobre la superficie; corriente fría de color azul que fluye sobre el fondo. Fotos: Chris King

Figura 4.44. Circulación de masas de aire en la Tierra. Basado en el rediseño de <http://www.bbc.co.uk/education/guías/zym77ty/revisión/2>

Figura 4.45. Patrón de viento superficial generalizado en la Tierra. Basado en el rediseño de https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_circulation#/media/File:AtmosphCirc2.png

Figura 4.46. Circulaciones oceánicas superficiales. Basado en el rediseño de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Corrientes-oceánicas.png>

Figura 4.47. El patrón de circulación superficial a profunda de la Tierra. Basado en el rediseño de https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation#/media/File:Thermohaline_Circulation_2.png

Figura 4.48. Los mejores caladeros, producidos por el afloramiento de aguas frías y profundas del océano. Publicado por USNOAA e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USNOAA

Figura 4.49. La Tierra de 'mármol azul' que muestra la capa muy delgada de la atmósfera en púrpura alrededor del exterior. Imagen ipd porque fue creada únicamente por la NASA

Figura 4.50. Transbordador espacial Endeavour orbitando en la atmósfera exterior mostrando la troposfera en la capa de color naranja y la capa blanca por encima que contiene ozono. Imagen ipd porque fue creada por ISAL del Centro Espacial Johnson de la NASA

Figura 4.51. Bacterias oceánicas microscópicas que realizan la fotosíntesis, absorbiendo dióxido de carbono y liberando oxígeno. Publicado por el doc. RNDr. Josef Reischig, CSc. bajo licencia CCA -SA 3.0 licencia no portada

Figura.4.52. Las nubes en espiral de un ciclón cerca de Islandia el 4 de septiembre de 2003. Imagen ipd porque fue creado exclusivamente por la NASA

Figura 4.53. El huracán Isabel en el Océano Atlántico Norte en 2003, con el característico ojo en el centro. Imagen ipd porque fue creada únicamente por la NASA

Figura 4.54. Un anticiclón cerca del sur de Australia. Imagen ipd ya que fue creada únicamente por la NASA

Figura 4.55. Niebla contaminante en Shanghái, China, atrapada bajo el aire frío que se hunde. Publicado por DL5MDA bajo los términos de GNUFDL, Versión 1.2

Figura 4.56. Un parapente que usa térmicas en el borde de una pendiente para levantarse. Publicado por Peter Greis, Stäfa, Suiza bajo la licencia genérica CCA 2.0

Figura 4.57. La temperatura pasada de la superficie de la Tierra como se muestra en la evidencia de varios indicadores. Redibujado a partir de una imagen publicada por Glen Fergus bajo licencia CCA-SA 3.0 no portada

Figura 4.58. Extracción de un núcleo de hielo de un tubo de núcleo tomado de un pozo de hielo. Publicado por Lonnie Thompson, Byrd Polar Research Center, Ohio State University e ipd porque contiene materiales que originalmente vino de USNOAA

Figura 4.59. Gráficos del cambio de temperatura y variación de CO₂ de la atmósfera durante los últimos 42.000 años registrados en el núcleo de hielo Vostok de la Antártida. Redibujado de una imagen publicada por U SNOAA bajo los términos de GNUFDL, Versión 1.2

Figura 4.60. El efecto invernadero

Figura 4.61. El cambio en los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, medido desde Moana Loa, Hawái. Datos del Dr. Pieter Tans, USNOAA/ESRL y Dr. Ralph Keeling, Instituto Scripps de Oceanografía. Redibujado a partir de una imagen publicada por Delorme bajo licencia internacional CCA-SA 4.0

Figura 4.62. Cambio en la temperatura de la superficie de la Tierra, a partir de datos recopilados por la NASA. Redibujado a partir de datos ipd porque fue creado únicamente por la NASA

Figura 4.63. Mapa de continentes 280Ma producido a través de una colaboración entre Earth Science Education Unit y Cambridge Paleomap Services Ltd, quienes produjeron las imágenes del mapa utilizadas. ESEU agradece la experiencia y la asistencia de Alan Smith y Lawrence Rush de CPSL. Imagen usada con permiso de ESEU.

Figura 4.64. Mapa de continentes 85Ma producido a través de una colaboración entre la Unidad de Educación en ciencias de la Tierra y Cambridge Paleomap Services Ltd, quienes produjeron las imágenes del mapa utilizadas. ESEU agradecido reconoce la experiencia y la asistencia de Alan Smith y Lawrence Rush de CPSL. Imagen utilizada con permiso de ESEU.

Figura 4.65. La tendencia a largo plazo de la vida en la Tierra y las principales extinciones, como lo muestra el número de géneros (agrupaciones biológicas que contienen un número de especies). Redibujado a partir de una imagen publicada por referencia: Rohde, RA y Muller, RA (2005-03). Ciclos en Diversidad Fósil. Naturaleza 434: 208-210, SVG versión de Albert Mestre bajo licencia CCA-SA 3.0 no portada.

Figura 5.1. Corte de turba comercial, Ljungby, Suecia. Publicado por Masse y publicado en ipd

Figura 5.2. Una mina de carbón a cielo abierto en un espeso manto de carbón, revelando un antiguo socavón minero profundo, Foord costura en la Formación Carbonífera Stellarton, Stellarton, Nueva Escocia, Canadá. Publicado por Miguel C. Rygel bajo licencia CCA-SA 3.0 no portada

Figura 5.3. Dos losas de arenisca sobre aceite de motor, que muestran cómo pueden absorber las diferentes areniscas diferentes cantidades de aceite en sus espacios porosos. Peter Craig en: King C.

(2017) Scottish 'Bring and Share'. St Andrews ESTA Conference, September 2016. *Teaching Earth Sciences* 41.2. pp 24-5

Figura 5.4. Una trampa formada por roca plegada (y anticlinal) – estos pueden contener petróleo o gas o ambos juntos. Modificado para incluir agua en la roca del yacimiento. Publicado por Magenta Green bajo CCA-SA 3.0. Licencia no portada

Figura 5.5. Consumo mundial de energía. Publicado por Martin buro desde Bp_world_energy_consumption_2016.gif bajo licencia CCA-SA 4.0 Internacional

Figura 5.6. Consumo de energía reciente. Datos tomados de <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Figura 5.7. Las cantidades de dióxido de carbono liberadas por la quema de diferentes combustibles fósiles para producir la misma cantidad de energía. Datos de la Administración de Información de Energía de EE. UU. (USEIA) en <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=73&t=11>

Figura 5.8. Producción reciente de energía a partir de diferentes fuentes renovables. Datos del estado global de REN21 informe, Tabla R1 tomada de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf

Figura 6.1. 'Bombas' de lava líquida en erupción por la noche en Stromboli, cerca de Sicilia, Italia, 2013. Publicado por Drtrotsky bajo licencia CCA-SA 3.0 Unported

Figura 6.2. Ejemplo de un mapa de peligro volcánico, Monte Rainier, Estado de Washington, EE. UU. Publicado por Sémhur e ipd porque solo contiene materiales que provienen originalmente del USGS; clave modificada

Figura 6.3. Terremotos y ondas sísmicas. Redibujado a partir de una imagen de Dollynarak y publicado en ipd

Figura 6.4. El tsunami causado por el terremoto de Valdivia de 1960, que muestra los tiempos de viaje por el Océano Pacífico. Publicado por http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22_tsunami.php y ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USNOAA

Figura 6.5. Logotipo del Programa Nacional de Mitigación de Riesgos de Tsunami de EE. UU. Tomado de <http://nws.weather.gov/nthmp/documents/NTHMPStrategicPlan.pdf>. Publicado por USNOAA/National Science Foundation e ipd porque contiene materiales que provienen originalmente de USNOAA

Figura 6.6. Erosión del sendero, bosque de Fontainebleau, cerca de París, Francia. Publicado por Romary bajo los términos de GNUFDL

Figura 6.7. Drenaje pluvial, Dobney Avenue, Wagga Wagga, Nueva Gales del Sur, Australia. Publicado por Bigee bajo la licencia CCA-SA 3.0 Unported

Figura 6.8. Gestión de residuos en Katmandú, Nepal. Publicado por Sigismund von Dobschütz bajo los términos de GNUFDL

Figura 6.9. Gestión de residuos en Estocolmo, Suecia. Publicado por Holger.Ellgaard bajo CCA-SA 3.0. Licencia no portada

Figura 6.10. Relleno sanitario de los Nuevos Territorios del Sudeste revestido con una membrana geotextil, Hong Kong. Publicado por Minghong bajo los términos de GNUFDL, Versión 1.2

Figura 6.11. Serie de respiraderos de gas metano en un antiguo vertedero ajardinado donde se excavó esquisto bituminoso el pasado, Seafield, West Lothian, Escocia. Publicado por Paul Birrell como parte de Geograph colección de proyectos bajo la licencia genérica CCA-SA 2.0

Figura 6.12. Diagrama de un pozo típico de monitoreo de aguas subterráneas. Publicado por AuntSpray bajo CCA-SA 3.0 Licencia no portada

Figura 6.13. Esférulas de microplástico que drenan de una esponja para fregar en un recipiente blanco. Publicado por Hungchaka bajo la licencia internacional CCA-SA 4.0

Figure 6.14. Heeseberg nature reserve in an old quarry, Lower Saxony, Germany. Published by Manomaari bajo la licencia no portada CCA-SA 3.0

Figure 6.15. Carbon capture technology being tested at a coalmine. Published by Peabody Energy, Inc bajo la licencia no portada CCA 3.0

Figura 5.4. Una trampa formada por rocas plegadas (un anticlinal): estas pueden contener petróleo, gas o ambos juntos. Modificado para incluir agua en la roca del yacimiento. Publicado por Magenta Green bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 5.5. Consumo mundial de energía. Publicado por Martinburó desde Bp_consumo_energético_mundial_2016.gif bajo CC A-SA 4.0 licencia Internacional

Figura 5.6. Consumo de energía reciente. Datos tomados de <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Figura 5.7. Cantidades de Dióxido de Carbono liberadas al quemar diferentes combustibles fósiles para producir la misma cantidad de energía. Datos de la Administración de Información de Energía de EE. UU. (USEIA) en <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=73&t=11>

Figura 5.8. Producción de energía reciente de diferentes fuentes renovables; datos del Reporte global estatal REN21. Tabla R1 tomado de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf

Figura 6.1. 'Bombas' de lava líquida en erupción por la noche en Stromboli, cerca de Sicilia, Italia, 2013. Publicado por Drtrotsky bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 6.2. Ejemplo de a volcánico peligro mapa, Montar más lluvioso, Washington Estado, EE. UU. Publicado por Sémhur y

Figura 6.3. Un terremoto produciendo ondas sísmicas. Redibujado desde una imagen por Dollynarak y publicado ipd

Figura 6.4. El tsunami causado por el terremoto de Valdivia de 1960, que muestra los tiempos de viaje por el Océano Pacífico. Publicado por http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22_tsunami.php

Figura 6.5. El logotipo del Programa Nacional de Mitigación de Riesgos de Tsunami de EE. UU. Tomado de <http://nws.weather.gov/nthmp/documents/NTHMPStrategicPlan.pdf>. Publicado por US NOAA /Nacional Fundación de la ciencia y

Figura 6.6. Erosión del sendero, bosque de Fontainebleau, cerca de París, Francia. Publicado por Romary bajo las condiciones de GNUFDL

Figura 6.7. Drenaje pluvial, Dobney Avenue, Wagga Wagga, Nueva Gales del Sur, Australia. Publicado por Bigee bajo los CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 6.8. Gestión de residuos en Katmandú, Nepal. Publicado por Sigismund von Dobschütz bajo las condiciones de GNUFDL

Figura 6.9. Gestión de residuos en Estocolmo, Suecia. Publicado por Holger.Ellgaard bajo el CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 6.10. Vertedero cubierto con una membrana geotextil en los nuevos territorios del sureste, Hong Kong. Publicado por Minghong bajo las condiciones de GNUFDL, Versión 1.2

Figura 6.11. Series de metano gas respiraderos en un viejo ajardinado vertedero sitio donde petróleo esquisto fue excavado en el pasado, Seafield, Oeste Lothian, Escocia. Publicado por Pablo Birrell como parte del proyecto de colección geográfica bajo los CC A-SA 2.0 licencia genérica

Figura 6.12. Diagrama de a típico agua subterránea supervisión bien. Publicado por tíaspray bajo los CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 6.13. Microplástico esférulas drenaje desde a fregado esponja en a blanco bol. Publicado por Hungchaka bajo la CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Figura 6.14. Reserva natural Heeseberg en una antigua cantera, Baja Sajonia, Alemania. Publicado por Manomaar i bajo los CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Figura 6.15. La tecnología de captura de carbono se prueba en una mina de carbón. Publicado por Peabody Energy, Inc. bajo CC A 3.0 sin portar

Cuadros

Cuadro 1.1. el sistema solar. Publicado por Planetas2008.jpg bajo CCA -SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 1.2.

- Lluvia cerca Lunde, Fionia, Dinamarca. Publicado por maleno Thyssen bajo GNUFDL
- Tierra. Publicado por icor202 bajo GNUFDL
- Un resorte atrapado en un canal de piedra, Owlcots Lane, cerca de Bradford, Inglaterra. Publicado por Betty Longbottom como parte de el geógrafo colección de proyectos bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Cuadro 1.3.

- Gotas de lluvia descendente en agua. Publicado por junio de Kioto, Japón bajo el CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- calle canal en Viejo Ciudad, Estocolmo, Suecia. Publicado por Bengt Nyman bajo el CC A 2.0 Licencia genérica
- Presuntuoso Estanque de Bari. Publicado por Syed Aminu I bajo CC A-SA 4.0 Internacional

Cuadro 1.4. Patrón de arena, Barton on Sea, Hampshire, Inglaterra. Publicado por Clive Perrin como parte de la Geografía proyecto y publicado bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Cuadro 1.5. Caminante que descansa sobre la tundra cerca de Onion Portage en Alaska. Publicado por Western Arctic National Parques bajo CCA 2.0 Licencia genérica

Cuadro 2.1. El universo de tu propio jardín

- Capilla Savault en una clara noche estrellada, en Ouroux-en-Morvan, Borgoña, Francia. Publicado por Benh Lugar Canción bajo CC A-SA 4.0 Internacional
- A arremolinándose paisaje estelar encima La silla Observatorio en Chile. Publicado por los europeo Meridional Observatorio bajo CC A 4.0 Licencia internacional

Cuadro 2.2. El cinturón de asteroides

- el principal asteroide del cinturón. liberado _ ipd por su autor, mdf en ingles Wikipedia
- Asteroide gaspra tomado desde el galileo nave espacial ipd porque eso era solamente creado por NASA

Cuadro 2.3. cometas

- Cometa Hale-Bopp visto desde Croacia en 1997. Publicado por Philipp Salzgeber bajo CC A-SA 2.0 Austria licencia
 - Cometa Churyumov-Gerasimenko en septiembre de 2014, fotografiado por Rosetta. Publicado por ESA/Rosetta/NAVCAM, CC BY-SA IGO 3.0 bajo CC A-SA 3.0 YO VOY licencia
- Cuadro 2.4. Planetario geología – Marte
- Mapa geológico de Marte. De http://pubs.usgs.gov/sim/3292/pdf/sim3292_map.pdf. Publicado por USGS y de la persona oficial deberes
 - El sistema de cañones con fallas cerca del ecuador. Publicado por NASA/JPL/USGS e ipd porque solo contiene materiales que vino originalmente desde USGS
 - Kasei Valles salida canal. Publicado por Areong bajo las condiciones de GNUFDL
 - Jim secosky modificado de imagen cortesía de NASA/USGS y ipd porque eso solamente contiene materiales que vino originalmente desde USGS
 - Vista desde el sitio Pathfinder en Marte. De <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02405> y i pd porque fue creado únicamente por NASA

Cuadro 2.5. Cambiando oscuridad con la hora de día

- Fotos: Chris King

Cuadro 3.1. Utilizando métodos de datación relativa para resolver la geología historia de las rocas

- Rock formación en Machtesh Ramón, Israel. Publicado bajo las condiciones de GNUFDL

Cuadro 3.2. Un ejemplo de un geológico período - los Triásico

- los 'dorado pico' en los Global Perímetro estratotipo Sección y Punto (GSSP) de los ladiniense escenario (Triásico medio superior), sección Bagolino, Alpes italianos. Publicado por Xavier Caré bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 3.3. El rango de error dado con fechas absolutas radiométricas.

- Vista de Edimburgo bajo las rocas volcánicas del Asiento De Arturo en Escocia. Publicado por Andrés campana bajo CCA-SA 3.0 sin portar y 2.5, 2.0 y 1.0 Licencia genérica

Cuadro 3.4. Desde muy, muy rapido para muy, muy lentos procesos

- Núcleos de sedimentos de aguas profundas de las profundidades marinas cerca de Groenlandia. Publicado por Hannes Grobe bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Capa gris de un depósito de tsunamis de 8000 años de antigüedad, depositada en minutos, con capas de turba oscura encima y abajo, del depósito del tsunami Storegga en la cuenca de Montrose, Maryton, Escocia. Publicado por Stozy10 bajo los CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 3.5. Eventos de impacto catastrófico

- Común tectita formas Publicado por brocken sin gloria bajo las condiciones de GNUFDL
- Cuarzo impactado bajo el microscopio en luz polarizada cruzada. Publicado por Glen A. Izett e ipd porque solamente contiene materiales que vino originalmente desde USGS
- Cráter lonar en la India. Publicado por Nagwani bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Cráter Manicouagan de 100 km de ancho en los Costa Norte de Québec, Canadá. Publicado en <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-30/html/iss030e031663.html> y tomado por ISAL de la estación internsional espacila de la NASA.
- Crater de meteorito cerca de Flagstaff en Arizona, EE. UU., que muestra la típica depresión con un centro elevado, rodeado por el cráter borde. Publicado por neil en www.nabber.org bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Etapas de impacto. Redibujado de: <http://www.impact-structures.com/understanding-the-impact-cratering-proceso-un-enfoque-simple/>

Cuadro 4.1. Un raro mineral – diamante

- El tubo de diamante 'gran agujero', Kimberley, Sudáfrica. Publicado por Lubor Ferenc bajo CC A-SA 4.0 Internacional
- Diamante en kimberlita. Esta imagen es ipd porque solo contiene materiales que provienen originalmente de USGS
- Corte diamantes Publicado por mario sarto bajo los términos de GNUFDL, Versión 1.2

Cuadro 4.2. Una rara roca sedimentaria – esquisto (o pedernal)

- Pedernales en tiza del Cretácico en St Margaret-at-Cliffe cerca de Dover, Kent, Inglaterra. Publicado por Clem Rutter, Rochester, kent, Reino Unido bajo GNUFDL
- Pedernal punta de flecha. Publicado por Adrián Miguel bajo GNUFDL
- Esquisto en caliza. Publicado por acar54 y benzer Fotografar bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Cuadro 4.3. Un raro ígneo rock – volcánico vidrio

- Flujo de lava de vidrio volcánico, Paulina Lake, Monumento Nacional Volcánico Newberry, Oregón, EE.UU. El titular de los derechos de autor de este archivo permite que cualquier persona lo use para cualquier propósito: Gary Halvorson, estado de Oregón. Archivo, EE. UU
- Obsidiana muestra, lago país, Oregón. Publicado por PAR~commons wiki bajo licencia ipd
- Cuchillo de obsidiana. Publicado por Birmingham Museums Trust, Tom Brindle bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Cuadro 4.4. Charles Darwin y gusanos

- gusanos fotos: Pedro Kennet, Earthlearningidea

Cuadro 4.5. los Kola superprofundo Pozo. Publicado por andré Belozeroff bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 4.6. Submarino formación de almohada lavas

- Una lengua de lava bajo el agua. Publicado por US NOAA /Fundación Nacional de Ciencias y dominio porque eso contiene materiales que originalmente llegó desde USNOAA
- almohadas en el fondo marino cerca Hawai. Publicado por OAR/Nacional Submarino Investigación Programa (NURP) y
- Antiguo almohada lava, sección transversal. Peter Kennet, ESEU

Cuadro 4.7. ¿De qué está hecho el manto?

- Xenolitos de peridotita en roca volcánica, xenolitos de iherzolita a base de olivino basáltico. Publicado por Khruner bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Roca bandeada, probable del manto, cromítico serpentinita desde los Kraubath Complejo (Habla Complejo) en el oriental Alpes de Austria. Publicado por Jaime S t Juan bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Meteorito pedregoso del meteorito NWA 869. Publicado por H. Raab (Usuario:Vesta) bajo los términos de GNUFDL

Cuadro 4.8. ¿De qué está hecho el núcleo?

- Un meteorito individual de 1,7 kg probablemente de una lluvia de meteoritos Sikhote Alin. Publicado por H. Raab (Usuario:Vesta) bajo las condiciones de GNUFDL, Versión 1.2

Meteorito de hierro de aproximadamente 30cm proveniente de Siberia – la parte exterior se fundió al atravesar a la atmósfera

Cuadro 4.9. El descubrimiento de las fumarolas negras en las dorsales oceánicas

- Alvin. Publicado por NOAA de EE. UU. y
- Ahumador negro en un respiradero hidrotermal de la dorsal oceánica. P ublicado por la NOAA de EE. UU. y contiene materiales que originalmente llegó desde USNOAA
- Ahumadores blancos, Mariana Arc, Océano Pacífico. Publicado por la NOAA de EE. UU. y materiales que vino originalmente desde USNOAA

Cuadro 4.10. Empuje hojas producidas por plato colisiones

- El empuje de Glarus en los Alpes de Suiza, Martinsloch, Tschingelhörner. Publicado por Sunna bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- los Mella Delaware Morcles pliegue. Publicado por Lisipo bajo los términos de GNUFDL

Cuadro 4.11. Comercialmente vendido primavera agua

- Evian. Publicado por Arrojar debajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Cristal géiser. Publicado por cgroxano y ipd
- Sasal. Publicado por Vicente Delaware Groot en <http://www.videogro.net> bajo las condiciones de GNUFDL
- Evergrande. Publicado por WKDx417 bajo CC A-SA 4.0 licencia internacional

- Cre Cla agua enfriador en Japón. Publicado por Pedia-Ciudad y publicado ipd

Cuadro 4.12. agua subterránea bombeo métodos

- victoriano bombeo estación, Londres, Inglaterra. Publicado por R Sones por los Geografía proyecto y

- Aerobombas, Namaqualand, Sudáfrica. Publicado por Caroline Auzias (ver Delphine Ménard para detalles) bajo CC A-SA 2.0 Francia licencia
- Bomba de agua subterránea moderna. Publicado por John Poyser para el proyecto Geograph y bajo CCA-SA 2.0 licencia
- Una bomba de mano moderna, estación de tren de Pindial, India. Publicado por Nikhilb239 bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Cuadro. 4.13. Oceano corrientes y lo más contaminado isla en Tierra. Palabras de científico Jennifer fuentes desde <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4507612/World-s-polluted-island-revealed.html>

- Corrientes oceánicas superficiales circulantes en el Océano Pacífico norte y sur. pd porque contiene materiales que vino originalmente desde USNOAA
- La playa contaminada de la isla Henderson en el Océano Pacífico sur. Publicado por American bajo las condiciones de GNUFDL

Cuadro 4.14. Bola de nieve tierra o granizado ¿Tierra?

- Una simulación por computadora de la cobertura de hielo durante 'Snowball Earth'. Publicado por Linda Sohl y Mark Velero en http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/sohl_01/ y por NASA

Cuadro 4.15. los tierra durante los Paleoceno/Eoceno térmico máximo.

- Gráfico de cambio de temperatura desde el Paleoceno hasta el presente. Publicado por Robert A. Rohde para Global calentamiento Arte bajo CC-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 4.16. Charles Darwin y la evolución

- Viajes de Darwin. Publicado por Sémhur bajo CCA-SA 4.0 Internacional genérico
- Pinzones de Darwin desde los Galápagos Isla. Dibujado por Juan Gould y los del autor la vida más 100 años o menos

Cuadro 4.17. La línea de Wallace

- Sureste asiático mapa publicado por <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> y

Cuadro 4.18. los 'estupendo moribundo' masa extinción

- Glossopteris desde los houston Museo de Natural Ciencia, houston, Texas, NOSOTROS. Publicado por Daderot bajo CC0 1.0 Universal Dominio publico Dedicación

Cuadro 4.19. La extinción masiva del K-Pg

- Tiranosaurio Rex, uno de los últimos dinosaurios antes de el K-PG masa extinción, Museo de los Montañas Rocosas. Publicado por funkmonk bajo CCA -SA 2.0 Licencia genérica
- Geólogos recolectando muestras en el límite K-Pg., Wyoming, EE. UU. Publicado por Dcondón bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro. 4.20. los Hipótesis de Gaia de Jaime bloqueo de amor

- StandardDaisyWorldRun2color.gif Redibujado desde un imagen por puesto de jengibre y publicado ipd

Cuadro 5.1. Petróleo pozo válvulas

- 'Navidad árbol', norte dakota, EE.UU. Publicado por Tim Evanson bajo CC A-SA A 2.0 Licencia genérica
- Gusher: Lakeview gusher en los EE. UU., alrededor de 1911. Publicado en <http://www.sjvgeology.org/historia/lakeview/lakeview09.jpg> y ipd

Cuadro 5.2. fracking de esquisto

- Redibujado desde una imagen por MagentaVerde publicado bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Cuadro 5.3. Prospección sísmica

- Sísmico perfil y interpretación. Publicado por USGS y originalmente llegó desde USGS

Cuadro 5.4. Cómo encontrar un diamante Mia

- Pesado mineral muestreo, plantilla concentrado y pesado mineral concentrado. Foto: Chris King
- Mina de diamantes Premier, Cullinan, Sudáfrica. Publicado por Paul Parsons (paul.parsons@hyphen.co.za) bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 5.5. ¿La energía geotérmica es renovable?

- Pozo de una planta de energía geotérmica, Brühl, Alemania occidental. Publicado por AnRo0002 en Creativo Comunes CC0 1.0 Dedicación de dominio público universal

Cuadro 6.1. A colosal erupción – Krakatoa en 1883

- Litografía de La erupción del Krakatoa y fenómenos posteriores, 1888. Editado por George James Symonds (1838-1900). Publicado por la Royal Society (Reino Unido). Comité Krakatoa, 71-1250, Houghton biblioteca, harvard Universidad, EE.UU. ipd porque los derechos de autor término es los del autor la vida más 100 años o

- Pinturas del cielo en el resplandor de la erupción del Krakatoa en 1888, pintadas por William Ashcroft y incluido en La erupción del Krakatoa y fenómenos posteriores (1888), editado por George James Symonds. 71-1250, Houghton Library, Harvard University e ipd porque se produjo más de 100 años atrás

Cuadro 6.2. A mega-colosal erupción - Oruanui erupción de los Taupó volcán, alrededor 25,360 años atrás

- Impresión artística de la erupción de Oruanui. Publicado por Cualquiera, basado en una fotografía de la NASA, publicado bajo CCA-SA

Cuadro 6.3. Teoría del rebote elástico

- Movimiento de los terrestre en AF de Reid elástico rebote teoría.

Cuadro 6.4. Sismómetros

- Sísmico grabación equipo, Golfo de Corinto, Grecia. Fotos: Chris King
- Dos sismómetros, Sismológico de Patras Laboratorio, Grecia. Foto: Chris King
- Tambor registro desde a sismómetro. Publicado por Z22 bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro. 6.5. los Kobe terremoto, Japón, 1995

- Yasuyo Morita historia desde <http://www.sln.org.uk/geography/7-11kobe.htm>
- Daño para a viaducto en kobe _ Publicado por 野田知明 bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Cuadro 6.6. Terremoto de Cachemir, Pakistán, 2005 – momento magnitud 7.6

- Historia de la madre Shazia Ahmed. Desde <https://www.familia de bueyes org.nz/what-we-do/emergencias/previous-emergencias/terremoto-de-cachemira-2005/historias-de-balakot>
- Shazia con su bebé que sobrevivió tres días entre los escombros antes de ser rescatada. Oxfam de <https://www.oxfam.org.nz/what-we-do/emergencias/previous-emergencias/kashmir-earthquake-2005/historias-de-balakot>
- La ciudad devastada de Balakot. Publicado por la Fuerza Aérea de EE. UU. e ipd: preparado por un oficial o empleado de los nosotros Gobierno

Cuadro 6.7. Un terremoto plan

- Signo de preparación para terremotos en Vancouver, Canadá. Publicado por Wikiemon bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- los Terremoto País Alianza en California Destacar 'Siete Pasos para Terremoto La seguridad'. <http://www.earthquakecountry.org/sevensteps/>

Cuadro 6.8. 2011 tsunami, Tohoku, Japón

- Relato de un testigo tomado de <http://factsanddetails.com/japan/cat26/sub161/item1674.html#chapter-10>
- Público hospital en Minamisanriku después los 2011 Tohoku tsunami, Japón. Publicado por Cristóbal Johnson bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Cuadro 6.9. los indio Oceano tsunami, 2004

- Entrevista transcrita del video de UNISDR publicado en Youtube en <https://www.youtube.com/ver?v=V0s2i7Cc7wA>
- tsunami ola sorprendentes los Phuket costa. Publicado por VolarAkwa bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional

Cuadro 6.10. tsunami advertencia información

- Hoja publicada en línea por el Departamento de Comercio de USNOAA, Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Oceanográfica Intergubernamental y el Centro Internacional de Información sobre Tsunamis en <https://earthweb.ess.washington.edu/tsunami/general/mitigation/mitigation.html>

Cuadro 6.11. El flujo de lodo del Oso, 29 de marzo de 2014

- Cuenta de testigo de <https://www.earthmagazine.org/article/oso-landslide-report-yields-some-respuestas>
- los Oso avalancha de lodo y su cicatriz. Publicado por samantha Ciaramitaro y ipd

Cuadro 6.12. Drenaje ácido de mina

- Drenaje de una antigua mina, Rio Tinto, España. Publicado por Carol Stoker, NASA e ipd porque fue solamente creado por NASA

Cuadro 6.13. El fin de la civilización Minoica

- Satélite vista de el santorini (Tera) cráter hoy día. Publicado por NASA y ipd

Cuadro 6.14. El año sin verano', 1816

- 1816 temperatura otoño en Europa. Desde http://www.giub.unibe.ch/klimet/docs/luterbacheretal_ciencia.pdf. Publicado por giorgiogn2 bajo CCA-SA 3.0 sin portar
- Canal de Chichester, una puesta de sol pintada en el Reino Unido por JMW Turner. I pd porque el término de derechos de autor es los del autor la vida más 100 años o menos

Cuadro 6.15. Guerras por agua

- El río Jordán, trayendo agua a Israel desde el norte. Publicado por Jean Housen Bajo los términos de GNUFDL

Cuadro 6.16. Guerras del Petróleo

- Campos de petróleo en llamas detrás de un tanque abandonado, Kuwait, 1991. Publicado por JO1 Gawlowicz de la Marina de los EE. UU. y entonces ipd

Cuadro 6.17. Migración de los primeros humanos fuera de África

- La expansión de los primeros grupos humanos en todo el mundo, con fechas de expansión: Primero, Homo erectus; Segundo, Homo neanderthalensis; Tercero, Homo sapiens. Redibujado a partir de una imagen publicada por NordNordWest y publicado ipd

Cuadro 6.18. El desierto de El Sahara

- Cueva de Manda Guéli, montañas Ennedi, noreste de Chad. Publicado por David Stanley de Nanaimo, Canadá bajo CC A-SA2.0 Licencia genérica
- Formación rocosa, montañas Ennedi, Chad. Publicado por David Stanley de Nanaimo, Canadá bajo la CC A 2.0 Licencia genérica

Cuadro 6.19. Doggerland" en la zona del Mar del Norte

- Mapa de Doggerland. Redibujado a partir de una imagen publicada por Max Naylor bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 7.1. los Geoético Promesa. Tomado desde <http://www.geoethics.org/geopromise>

- Juramento en Yuma, Arizona. Publicado por un empleado militar o del Departamento de Defensa de EE. UU., tomado o hecha como parte de que oficial de la persona deberes. Como a trabajo de los nosotros gobierno federal, los imagen es ipd
- afgano niños. Publicado por a nosotros Ejército soldado o empleado, como encima

Cuadro 7.2. Geológico cartografía investigaciones

- Geológico Perímetro Entre gris arenisca y de grano fino granito pálido, Mar Punto contacto, capa Pueblo. Foto: Chris King
- A importante cambiar en Pendiente en el geológico límite entre ígneas duras rocas de a umbral para los Derecha y más débiles rocas sedimentarias a los izquierda. V en Adriano Muro, del Norte Inglaterra. Publicado por Nilfanion bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Cuadro 7.3. A prospección investigación por diamantes. Fotos: Chris King

.....

Tablas

Tabla 2.1. planetas del sistema solar

- Mercurio desde los Mensajero volar por. Publicado por NASA y ipd
- Imágenes de Venus de Mariner 10. Publicado por NASA e ipd; procesamiento de imágenes por R. Nunes en <http://www.astrosurf.com/nunes>
- tierra siguiente los BlenderGuru.com tutoría _ Publicado por jason _ harwell bajo _ CCA -SA 3.0 sin portar
- Marte desde los Hubble telescopio. Publicado por NASA y ipd
- Júpiter desde Viajero 1 imágenes Como encima
- Saturno desde Viajero 2. Como encima
- Urano desde viajero 2. Como encima
- Neptuno desde Viajero 2. Como encima

Tabla 2.2. La inclinación de la Tierra provocando las estaciones Tabla 3.1. métodos de datación relativa.

- Inclinado tiza en Chipre. Publicado ipd por su autor, Calles malas, en inglés Wikipedia
- Doblada rock en Groenlandia. Publicado por Havard Berland bajo las condiciones de GNUFDL
- Diques en Colorado, EE. UU. Publicado por Ala-Chi Cuchara bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Xenolitos en granito, Herm, Islas del Canal, Reino Unido. Publicado por Kevin Walsh bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- William de Smith dibujo. ipd como los derechos de autor término es los vida del autor plus 70 años o menos
- Inconformidad en Bochum, Alemania, donde los Cretácico más joven rock superpone los inclinado Carbonífero rock bajo. Publicado por Hermann A. Sabio bajo las condiciones de GNUFDL

Tabla 3.2. Principios del tendido abajo de sedimentos, lavas y ceniza volcánica

- Sedimentos del Mioceno colocados horizontalmente, D rahomyrchany, Ucrania. Publicado por Gretarsson bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- cruzado playa, Estonia. Publicado por hannu y publicado ipd
- grandioso Cañón, Arizona, EE. UU. Publicado por selbst gemach bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Trenzado río depósitos en Islandia. Publicado por Cristóbal michel bajo CC A 2.0 Licencia genérica

Tabla 3.3. William de Smith método aplicar los 'Ley de fauna sucesión' Todos William dibujos de smith están

Tabla 3.4. fósiles típicos encontrado en rocas de diferentes edades

- Vieira gibosa Argopecten. Publicado por FWC Fish and Wildlife Research Institute bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Crasostrea titán ostra. Publicado por Kevmin bajo CC A-SA 3.0 sin portar li
- Dientes fósiles de Carcharias tingitana de Marruecos. Publicado por Hectonicus bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- micráster leskei equinodermo. Publicado por didier Descouens bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Califiloceras amonita. Publicado ipd por Antonov
- Ceratitas ceratita ammonoide Publicado por maria bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- goniatita. Publicado por Ghedoghedo bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Facops. Publicado por Dwergenpaartje bajo _ CC A-SA 3.0 sin portar
- Monograptus. Publicado por porshunta bajo las condiciones de GNUFDL
- Tetragraptus. Publicado por Jaime S t Juan bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Paradóxidos. Publicado por Sam Gon III para su uso con cualquier fin Tabla 3.5. los principal subdivisiones de geológico hora

Tabla 4.1. Minerales comunes, su química, forma y físico propiedades

- Cuarzo. Publicado por luis miguel Bugalló Sánchez bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- feldespatos – potasio feldespatos cristales en granito, oriental Sierra Nevada, Rock Cala Cañón, California, EE.UU. Publicado por wilson44691, ipd
- Mica. Publicado por pascal terjano bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- calcita – un grupo de amarillento colmillo cristales de calcita desde los Nkana Mío de Zambia. Publicado por Robar Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0
- Halita, de la mina de sal de Wieliczka en Polonia. Publicado por Lech Darsk i bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Yeso – en su 'Desierto Rosa' formulario. Publicado por rama bajo CC A-SA 2.0 Francia
- Pirita. Publicado por mauro cateb bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Galena sobre calcita, de la Mina Gibraltar, Naica, Municipio de Saucillo , Chihuahua , México. Publicado por Robar Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0

Tabla 4.3. Importantes procesos de fosilización

- Fósil mamífero demostración pelo – los Eomaia escansoria fósil desplegado en Hong Kong Museo de Ciencia, China. Publicado por Laikayiu bajo GNUFDL
- A Calimena trilobites – recogido en la casa de henry Formación cerca ada, Oklahoma, EE.UU, desde los Siluriano. Publicado por Dwergenpaartje bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Amonita reemplazada por pirita, Bully Calvados, Francia. Publicado por Didier Descouens bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Moho interno y externo de gasterópodo, Formación Galena, Ordovícico, Iowa, EE. UU. Publicado por Jaime S t Juan bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Reparto de huellas de dinosaurios, Fairlight, Sussex, Inglaterra. Publicado por Sandpiper bajo CC0 1.0 Universal Público Dominio Dedicación
- madrigueras y trilobites descansando lugar - Rusophycus y otra rastro fósiles desde los Gog Formación (Medio Cámbrico), Lake Louise, Alberta, Canadá. Publicado por wilson44691 y publicado ipd
- lepidodendro raíz y raicillas – Superior Carbonífero de del nordeste Ohio, EE.UU. Publicado por wilson44691 bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 4.5. rocas sedimentarias comunes Muestra imágenes

- Conglomerado. ESEU. Foto: Pedro Kennet
- Crema arenisca. ESEU, como encima
- rojo arenisca. ESEU, como encima
- lutita, ESEU, como encima
- Esquistos. Publicado por Amcyrus2012 bajo CC A 4.0 Internacional
- Arcilla de San Julián, Santa Cruz, Argentina. Publicado por Beatrice Murch bajo CC A 2.0 Licencia genérica

- caliza fosilífera. ESEU, como encima
- Oolítico caliza. ESEU, como anteriormente
- Tiza. Publicado por superagente001 bajo CC A 4.0 Licencia internacional
- Rock sal – mongol sal de roca desde ultravioleta cuenca nuur, Mongolia. Publicado por GFDL (Autor mizú Basio) bajo GNUFDL
- Carbón. ESEU, como encima

Exposición imágenes

- Conglomerado exposición, Adarra montaña, San Sebastián, España. Publicado por Joxema i bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Arenisca crema de lecho cruzado, Isla de Bressay, Islas Shetland, Reino Unido. Los derechos de autor propiedad de Anne Diputado y con licencia por reutilizar bajo CCA-SA 2.0 licencia
- Arenisca roja Navajo, Cañon de Antelope, Arizona, EE.UU. Publicado por Meckimac Bajo los términos de GNUFDL
- Pérmico rojo lutita con más pálido limolita camas, bajo Delaware Lodève, Hérault, la Lieude, Mérifons, Francia. Publicado por alfiler bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Esquistos. Publicado por bloqueo de nivel bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Arcilla. Publicado por Siim Sepp bajo GNUFDL
- caliza fosilífera, los Verde Puente de Gales arco y apilar, pembrookeshire, Gales. Publicado por JKMMX bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Caliza oolítica del Jura, cantera Rothenstein III, región del Jura, Francia. Publicado por J. Stiegler bajo CC A- SA 3.0 sin portar licencia
- tiza, acantilado de Tiza en Lun, Dinamarca. Publicado por Chad k bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Rock sal, sal cueva coronel, Israel. Publicado por bukvoed bajo CC A 3.0 sin portar
- Inmersión de vetas de carbón con un antiguo pozo de mina, Formación Stellarton, Nova Scotia, Canadá. Publicado por Miguel C. Ryge I bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 4.7. Rocas ígneas comunes Muestra imágenes

- Granito. ESEU. Foto: Pedro Kennet
- Gabro. Como encima
- Dolerita. colección _ de Nacional Museo, Praga, República Checa. Publicado por carel j y publicado
- Basalto. Como encima
- Andesita. Publicado por Miguel C. Rygel bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Ceniza volcánica. Fuente: <http://resourcescommittee.house.gov/subcommittees/emr/usgsweb/photogallery/>; Wikipedia en inglés, carga original del 3 de agosto de 2004 por Chris 73. Como obra del gobierno federal de EE. UU., la imagen es ipd

Exposición imágenes

- Exposiciones de granito, Mount Hope, Victoria, Australia. Publicado por Melburnian bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Gabro desde los Ucrania, en a geológico muro en los Botánico parque popular, Blankenfelde, Pankow, Berlina, Alemania. Publicado por Sebastián Wallroth bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Dolerita dique en los bordes del río Agwa Rock, lago Superior Provincial Parque, Canadá. Publicado por Hongo Chico bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Basalto columnas, del gigante Calzada elevada, Del Norte Irlanda. Publicado por Sebd bajo las condiciones de GNUFDL
- Flujos de lava andesítica, volcán Stewart Peak, Colorado, Estados Unidos. Publicado por PW Lipman; ipd porque contiene materiales que vino originalmente desde USGS
- Ceniza volcánica depositada como capas de toba en las islas Eolias, cerca de Sicilia, Italia. Publicado por stefan fotos desde leipzig, Alemania bajo CC A-SA 2.0 Genérico

Tabla 4.9. Rocas metamórficas comunes Muestra imágenes

- Pizarra. ESEU. Foto: Pedro Kennet
- Esquisto. Como encima
- Gneis. Como encima
- Mármol. Como encima
- metacuarcita (cuarcita). Como encima

Exposición imágenes

- Pizarra, en a camino corte protegido por rock anclas y cable malla, Rothar Montañas, norte Rin, Alemania. Publicado por fugarse bajo CC A-SA3.0 sin portar
- Mica esquisto, La Pedro blanca, isla de Groix, Bretaña, Francia. Publicado por Lyokoï88 bajo CC A-SA

4.0 Internacional

- El gneis del Pan de Azúcar, Río de Janeiro, Brasil. Publicado por Rafael de Siqueira Ferreira bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Mármol cuadra, cantera de Carrara, Italia. Publicado por Lucarell i bajo GNUFDL
- Exposición de metacuarcitas, El Castellar, Zaragoza, España. Publicado por PePeEfe bajo CC A-SA 4.0 Internacional

Tabla 4.10. Común meteorización procesos

- Roto roca, meridional Islandia. Publicado por Hasta Niermann bajo GNUFDL, Versión 1.2
- Hojas de granito ruptura vencer para refrigeración calefacción, Medio Hazme, Yosemite Nacional Parque, EE. UU. Publicado por HylgeriaK bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Carbonífero caliza pavimento con ampliado articulaciones (grikes), Doolín Muelle, Irlanda. Publicado por Beto jones bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Químico meteorización a lo largo de a articulación en los kondalita Rock formación en Rushikonda Playa, visakhapatnam, india_ Publicado por Adityamadhav83 bajo CC A-SA 3.0 sin puerto
- Líquenes crecientes en una rock desnuda, EE.UU. Publicado por Sara murray desde South Bend, Indiana, EE. UU bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Capas de suelo en el valle del Rin cerca de Rastatt, Alemania. Publicado por U. Burkhardt bajo CC A-SA 3.0 sin portar

Tabla 4.11. Importante erosión procesos

- Scree conos, Bow Lake cerca de Crowfoot Mountain, Alberta, Canadá. Publicado por Florian Fuchs bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Erosión por el río Tista, Sundarganj Thana, Bangladesh. Publicado por Ibrahim Husain Meraj bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Una nube de tormenta de arena que sopla sobre Al Asad, Irak. Publicado por Alicia M. García e ipd porque originalmente llegó desde los estados unidos Marina Cuerpo
- Lecho rocoso rayado (estrías) por el movimiento glacial, Glaciar Gorner, Zermatt, Suiza. Publicado por Miguel C. Ryge I bajo CC A-SA 3.0 sin portar

Tabla 4.12. Accidentes geográficos formado por resistente rock capas

- Meseta de Table Mountain, Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Publicado por Harvey Barrison de Massapequa, Nueva York, EE. UU. bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- cuesta visto desde los Victoria isla transportar, Vancouver, Canada. Foto, Chris King
- Ridge, Monte Rundle, cerca de Bamff, Alberta, Canadá. Publicado por Stevan Marcus Stevanm1 bajo CC A- SA 3.0 sin portar
- Escarpa de falla de Abert Rim, Oregón: una de las más altas de EE. UU. Publicado por Abert Rim ACEC bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Acantilados escarpados y un arco, Island Archway, Victoria, Australia. Publicado por Diliff bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Una bahía entre promontorios, Cabo de la Vela, Colombia. Publicado por Tanenhaus bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Caída de acantilados costeros, Shippards Chine, Isla de Wight, Inglaterra. Publicado por Graham Horn bajo CC A- SA 2.0 Genérico

Tabla 4.13. Paisaje características formado principalmente por erosión y declaración

- en forma de V río Valle, Goriot, Pakistán. Publicado por Khakán Ibrahim bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Valle Prapic glacial en forma de U cerca de Orcières, Hautes-Alpes, Francia. Publicado por el Padre Latreille bajo GNUFDL
- Los canales serpenteantes de la llanura aluvial de Zambezi en Namibia, vistos desde el aire. Publicado por la NASA tierra Observatorio: zambezi_ali_2010128_lrg.jpg. Ipd porque era solamente creado por NASA
- Silvaplanas ventilador delta edificio fuera dentro Silvaplanas Lago, Suiza. Publicado por en-chan bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- El glaciar Isunnguata Sermia al fondo depositó la morrena en primer plano, Kangerlussuaq, Groenlandia. Publicado por Chmee2 /Valtameri bajo CC A 3.0 sin portar licencia

Tabla 4.14. Importante sedimentario estructuras

- Areniscas y limolitas estratificadas, Quebrada das Conchas, Salta, Argentina. Publicado por <http://www.flickr.com/photos/travelwayoflife/6164348161/in/photostream/> bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Lutolita laminada, Hesselberg, Alemania; Jurásico inferior. Publicado por Oswald Engelhardt bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Arenisca cruzada a gran escala (formada por el viento), Angel's Landing Trail, Parque Nacional Zion, Utah, EE.UU. Publicado por Roy Suerte <http://www.flickr.com/people/royluck/> bajo CCA-SA licencia
- Asimétrico ondulado marcado cambriano arenisca, Wiśniówka Duża, Polonia. Publicado por Roberto Niedźwi ed zki bajo C C A - S A 3 . 0 Sin portar licencia.
- Arenisca fina ondulada simétrica, Sierras Bayas, Olavarría, Argentina. Publicado por Beatriz muro , Buenos Aires, Argentina bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Calificado lecho – Eoceno arena en a jardín muro cerca Besalú en Cataluña, España. Foto: Pete Cargador
- Grietas de desecación alrededor de una huella de dinosaurio en mudstone, Loulle, Franche-Compte, Francia. Publicado por PePeEfe bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 4.15. Importante ígneo características

- Lavas almohadilladas modernas en el fondo del océano, tomadas durante la Expedición Galápagos Rift en el Pacífico occidental Océano, 2002. Publicado por Foto de la NOAA de EE. UU. biblioteca: en Flickr : Exp1528 bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- invertido Ordovícico almohada basaltos, crozón, Bretaña, Francia. Publicado por zarmel <http://www.geodiversite.net/auteur2> bajo CC A-SA 3.0 sin puerto licencia
- El tapón volcánico Devil's Tower en Wyoming, Estados Unidos. Publicado por Chris Light, bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Falda escocesa rock alféizar, skye, Escocia. Publicado por arjecahn en Flickr bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Oscuro dolerita precámbrico diques (1100Ma), corte a través de más pálido 1800Ma rocas, Koster islas, Suecia. Publicado por Thomas Eliasson del Servicio Geológico de Suecia: <http://www.flickr.com/people/geologicalsurveyofsweden/> bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Imagen satelital de la intrusión de granito del macizo de Brandberg que ha horneado las rocas circundantes en un oscuro metamórfico aureola, Namibia. ipd porque eso contiene materiales que originalmente llegó desde USGS

Tabla 4.16. metamórfico rocas formado por regional metamorfismo

- lutita. ESEU. Foto: Pedro Kennet
- Pizarra. Como encima
- Esquisto. Como encima
- Gneis. Como encima
- Granito. Como encima

- Arenisca. Como encima
- metacuarcita (cuarcita).
- caliza fosilífera.
- Mármol. Publicado por Beatriz muro bajo CC A 2.0 Licencia genérica

Tabla 4.17. Fracturas causado por frágil falla – articulaciones y fallas

- Lecho de limolita articulado en esquistos ordovícicos, Fort Plain, Nueva York, EE. UU. Publicado por Miguel C. Ryge I bajo CCA-SA 3.0 Licencia no portada
- Normal fallando en las paredes de la Corinto Canal, Grecia. Foto: Chris King
- Vista desde arriba de la falla de Piquiang, montañas Tein Shan, China. Publicado por NASA Earth Observatorio imágenes por Roberto Simón y jessé allen, y ipd como eso era creado por NASA
- Contrarrestar culpa. Desde los AGI Mundo Imagen Banco, hflo30, Marli Molinero, Universidad de Oregón, EE. UU
- Falla de empuje, Lilstock Bay, Somerset, Inglaterra. Publicado por Mikenorton bajo CCA-SA Licencia internacional

Tabla 4.18. Pliegue tipos

- Anticlinal en precámbrico gneis a lo largo de Nueva Jersey Ruta 23 cerca Butley, Nuevo Jersey, EE. UU. Publicado por herrero y ipd porque eso vino originalmente desde USGS
- Piedra caliza plegada en el desfiladero de Glasenbachklamm en Austria. Publicado por Viva La Ren bajo CCA-SA 3.0 sin portar 2.5 genérico _ 2.0 Genérico y 1.0 Licencia genéricas
- Ajustado pliegues cerca Ágios Pavlos en meridional Creta. Publicado por dieter Müller bajo GNUFDL
- Estrechamente doblada 2.6 mil millones edad precámbrico en bandas planchar formación cerca Sudán, Minnesota, EE.UU. Publicado por Jaime S t Juan bajo CCA 2.0 Licencia genérica
- Isoclinal pliegue sobre 10cm al otro lado de en los Montes d'Arrée cerca Comana, Francia. Publicado por zarmel <http://www.geodiversite.net/auteur2> bajo CCA-SA licencia

Tabla 4.19. Oceánico corteza rocas

- Sedimento núcleo de Sur Atlántico. Publicado por Hannes Grobe/AWI bajo CCA sin portar licencia
- Gabro. ESEU, Foto: Pedro Kennet
- Dolerita. Publicado por carel j y publicado ipd
- Basalto. Como encima

Tabla 4.20. Características de las capas terrestres

Tabla 4.21. Procesos del ciclo interno de la roca explicado por la teoría de las placas tectónicas

Tabla 4.22. la principal evidencia secundario plato tectónico teoría

- Forma de rompecabezas: el rompecabezas continental, plataforma continental. Andrew McLeish en Ciencias Geológicas, redibujado por ESEU y usado con permiso
- Geológico evidencia en 'los rompecabezas' – distribución de antiguo rocas al otro lado de Sur America y África. © Andrés McLeish en Geológico ciencia _ redibujado por ESEU y usado con permiso
- Evidencia fósil en 'el rompecabezas': distribución de animales y plantas terrestres / de agua dulce en los continentes de 'Gondwanalandia'. reproducido con permiso de USGS, redibujado por ESEU y usado con permiso
- Evidencia paleoclimática: los rompecabezas continentales (antigua distribución de hielo en Gondwana) continentes). © Andrés McLeish en geológica ciencia _ redibujado por ESEU y usado con permiso
- Relieve terrestre. Figura tomada de: Thomas, M. 2010. Diercke International Atlas. Westermann. Brunswick, Alemania.
- Distribución del mapa de volcanes. Publicado en http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/PlateTectonics/Maps/map_plate_tectonics_world.html y
- Terremoto mapa distribución. Publicado por NASA y

- Terremoto lo más hondo – terremotos grabados al otro lado de los Kuriles islas, Rusia, subducción zona. Publicado por USGS y ipd porque eso contiene materiales que originalmente llegó desde USGS
- Magnético rayas. © geociencia, redibujado por ESEU y usado con permiso de ESEU
- Fallas transformantes de San Andres. Modificado de INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA (Argentina). Disponible en: <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf> y
- 'Puntos calientes', Hawai, EE. UU. ESEU, como encima
- Años de los Oceano piso. Publicado por USNOAA y desde USNOAA
- Calor flujo – los patrones de calor fluir fuera de los Oceano piso y La parte superior parte de el manto y la corteza.
© Chris King y Dee Edwards, redibujado por ESEU y usado con permiso
- Composición del magma: Stromboli, Italia, erupción de lava. Publicado por Wolfgang Beyer Bajo los términos de GNUFDL
- Composición del magma, Mount St Helens, Washington, EE. UU. Publicado por USGS e ipd porque contiene materiales que vino originalmente de USGS
- Mediciones de plato movimiento. publicado _ por NASA y ipd como eso era solamente creado por NASA

Tabla 4.23. Continental agua en tierra

Datos porcentuales de <http://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html> . Fuente: capítulo de Igor Shiklomanov ' Recursos mundiales de agua dulce' en Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Nuevo Agua Recursos (Oxford Universidad Prensa, Nuevo york)

- La capa de hielo que cubre la isla de Saunder en la bahía de Baffin, cerca de Groenlandia. Publicado por la NASA y no protegido por derechos de autor
- Un manantial de agua mineral en la zona del Cáucaso. Publicado por Ivtorov bajo CCA-SA Licencia internacional
- 'Suelo modelado' producido por el permafrost en la tundra congelada del Ártico Occidental Nacional Parques, Alaska, Estados Unidos. Publicado por Western Arctic National Parklands bajo CCA Licencia genérica
- Lago Satpara, uno de los lagos más altos de Pakistán. Publicado por Waqas Usman bajo CCA-SA Licencia genérica
- Suelo húmedo de Lüningsburg en Baja Sajonia, Alemania. Publicado por Ukko.de Bajo los términos de GNUFDL
- nubes en Muelle Delaware El quisco, Valparaíso, Chile, 1997. Publicado por Jorge Barrios y publicado ipd
- El pantano de agua dulce Ratargul, Bosque de Sylhet, Bangladesh. Publicado por Md Habibur Rahman Salmán bajo licencia
- Yukón río, norte de Canadá. Publicado por Je ssie hola debajo CAA-SA 2.0 Licencia genérica
- Tradescantia cebrina hoja visto bajo microscopio, demostración los verde estomas cual liberar agua para la atmósfera en la transpiración. Publicado por AioftheStorm bajo CC0 1.0 Dominio Público Universal Dedicación

Tabla 4.24. Costero características producido por ondas y mareas

- Una playa de tormenta en la parte trasera de la playa de Veluga en Batanes en Filipinas. Publicado por anne_jimenez bajo CCA Licencia genérica
- Pisos de lodo de marea cerca de Palau Melaka, Ciudad de Malaca, Malasia. Publicado por Vmenkov Bajo los términos de GNUFDL
- los Escupir, Bruny Isla, tasmania, Australia. Publicado por JJ harrison (jjharrison89@facebook.com) bajo CC A-SA 2.5 Licencia genérica

Tabla 4.25. Posibles problemas para ser causado por a calentamiento tierra Tabla 4.26. la contribución de vida para formación rocosa

- Formación de carbón - hoja fósiles en Carbonífero carbón. Desde los Natural Museo de Historia Biblioteca, Londres, y ipd ya que los derechos de autor término es la vida del autor más 70 años o menos

- Formación de arrecifes – fósil _ coral en la llave windley Fósil Arrecife, Geológico Parque Estatal, Florida, EE.UU. Publicado por pececito4 bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- resistido edificio Roca: caliza formada de roto Cenozoico bivalvos y gasterópodos en los templos de Zeus, Olimpia, Grecia. Publicado por Koelle bajo las condiciones de GNUFDL
- Una imagen de microscopio electrónico de barrido de cocolitos. Publicado por Hannes Grobe/AWI bajo licencia CCA
- Madrigueras de animales parecidos a cangrejos en lutitas del Jurásico, Makhtesh Qatan, sur de Israel. Publicado por Marcos A. Wilson (Departamento de Geología, The College of Wooster), y publicado en ipd por su autor, Wilson4469, 1 en inglés Wikipedia

Tabla 5.1. Recursos Naturales

- gráfico de butchar jardines, Victoria, británico Columbia, Canadá, situado en a regenerado caliza cantera. Publicado por mitzi.humphKing bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Sal evaporación estanques, La Palma, los Canario Islas. Publicado por bernardo Diablos bajo CCA- SA 2.0 Alemania licencia
- Planta de oxígeno de membrana, utilizada para extraer oxígeno del aire. Publicado por grasys.com bajo los términos de GNUFDL
- Agricultura algas marinas en Indonesia. Publicado por Hasan Abdel Rahman bajo CC A 2.0 Licencia genérica

Tabla 5.2. Ejemplos de a granel crudo materiales

- Supercantera de granito de Glensanda en Escocia, una de las más grandes de Europa. Publicado por Donald MacDonald como parte de los Geografía proyecto bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Cantera de piedra caliza de Nagara, Toyohashi, Japón. Publicado por Alpsdake bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Arena y grava fosa cerca de Lisboa, Portugal. Publicado por Hansueli Krapf bajo CC A-SA 3.0 sin portar

Tabla 5.3. Ejemplos de materias primas a granel utilizadas en la fabricación de materiales de construcción, y la cerámica y químico industrias

- Cementeras, Holcim, Eclépens, Suiza. Publicado por Roland Zumbühl, www.picswiss.ch bajo las condiciones de GNUFDL
- Un horno de cal rotatorio moderno, Wyoming, EE.UU. Publicado por PD Tillman y Greg Goebel de Loveland, colorado, estados unidos de américa bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Cúbico cristales del mineral hálita, Merkers sal Mia, Alemania. Publicado por Wamp yo bajo CCA-SA 3.0 sin portar licencia
- El agua bombeada al mineral de potasa soluble se bombea luego como salmuera a estanques de evaporación para recuperar la potasa, utah, EE.UU. Publicado por un piloto desconocido y yo pd como era solamente creado por NASA
- Una cantera de yeso en rocas triásicas cerca de Nottingham, Inglaterra. Publicado por Jim Thornton como parte de la Geografía proyecto bajo CC A-SA 2.0 Genérico
- Excavación de ladrillos de arcilla, Baduria, Bengala occidental, India. Publicado por Biswarup Ganguly Bajo los términos de GNUFDL
- China arcilla fosa cerca Kaznejov, checo República. Publicado por petr Kinšt bajo CCA-SA 3.0 sin portar

- Vista aérea del enorme foso de arena de sílice cerca de Frechen, en el oeste de Alemania. Publicado por Frank Hertz y liberado _ ipd

Tabla 5.4. Ejemplos de metal extracción de mineral

- Tomás Precio planchar Mia, occidental Australia. Publicado por Barras bajo los términos de GNUFDL
- Bingham Cañón cobre Mia, Utah, EE. UU. Publicado por spencer Música y publicado ipd
- Monte Es un Mia, Queensland, Australia. Publicado por Tennis experto bajo CC A-SA 2.5 Licencia genérica

- Lavado de oro comercial por el pueblo Sakalava en Madagascar. Publicado por Heionlein bajo CC A- SA 4.0 Licencia internacional

Tabla 5.5. Ejemplos de industrial mineral extracción

- Raro tierra Mia en bayán obo, China. Publicado por NASA y ipd
- Mina Mirny, Rusia. Publicado por Staselnik bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 5.6. los cinco requisitos para para el hombre petróleo y/o gas campo

- Anticlinal en Angustia La pasar en Tíbet. Publicado por einar fredriksen bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- lutita en los Deakin anticlinal de los siluriano Yarralumla formación, Canberra, Australia. Publicado por graeme bartlett bajo los CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Arenisca que contiene petróleo de forma natural, del yacimiento petrolífero de Hutton en el Mar del Norte. Peter Craig en King C. (2017) Scottish 'Bring and Share', de la Conferencia ESTA de St Andrews, septiembre de 2016, Enseñanza Ciencias de la Tierra', 41.2. páginas 25
- Esquisto bituminoso del depósito del Eoceno en el pozo de Messel cerca de Frankfurt, Alemania. Publicado por Fafner bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 5.7. Métodos de proteger los ambientes durante explotación de natural recursos

- Poner en pantalla plantación de árboles, activo basalto cantera, Huhnerberg, baviera, Alemania. Publicado por Wolkenkratzer bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Banco construido alrededor de la parte superior de la cantera de basalto cerca de Hohenfels-Essingen, Alemania. Publicado por beckstet bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Estanques de decantación de la mina de hierro de Cagdianao Mining Corporation en Filipinas. Publicado por Edgardo Caringa I bajo los términos de los Gratis Arte Licencia
- Tratamiento de Mia aguas residuales para retirar metal polución en Australia. Publicado por CSIRO bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Un sistema de lavado de ruedas de camiones en Alemania. Publicado por FRUTIGER Company AG bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Vertederos de semillas de hierba en terrazas de arcilla china, Higher Coldvreath, Cornualles, Inglaterra, publicado por tonio atkin para los Geografía proyecto bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Monitoreo de aguas subterráneas, Coronado National Memorial, Arizona, EE.UU. Publicado por SonoranDesiertoNPS desde tucson, Arizona, Estados Unidos bajo CC A 2.0 Genérico

Tabla 5.8. Ejemplos de remediación

- La antigua mina de uranio Jackpile-Paguete en Laguna Pueblo, al oeste de Albuquerque, EE. UU. Publicado por Mary Gant, NIEHS e ipd porque es un trabajo preparado por un funcionario o empleado de la nosotros Gobierno
- Mina de carbón a cielo abierto y terrenos ganados al mar en la mina de carbón North Antelope Rochelle en Wyoming, EE.UU. Publicado por Energía Peabody bajo CC A 3.0 sin portar licencia
- Preservado horno edificio en un viejo zinc, dirigir y azufre Mia, Co. Tipperary, Irlanda. Publicado por Juan Gibson por los Geografía proyecto bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- El Proyecto Edén en Cornualles, Inglaterra. Publicado por Richard Johns para el proyecto Geograph bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Estudiante trabajo de campo en simios Colina, un viejo caliza cantera, staffordshire, Inglaterra. Foto: Chris King

Tabla 5.9. renovable energía fuentes

- Un canal hidroeléctrico que va desde el embalse del lago Pukaki, Nueva Zelanda, hacia las turbinas de la central eléctrica. Publicado por Marcos Oliver Dittrich y publicado ipd
- Las plantas de energía solar PS20 y PS10 en Andalucía, España. Publicado por Koza1983 bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Planta de calefacción urbana de biomasa cerca de Steinfeld, Ternitz, Baja Austria: suministro de combustible de madera en el antecedente. Publicado por Herzi Rosa yo bajo los CC A-SA 4.0 Licencia internacional

- Una costa afuera viento granja, Bạc Lugar, Vietnam. Publicado por Tycho bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- La central hidrotermal de Nesjavellir en Thingvellir , Islandia. Publicado por Gretar Ívarsson, geóloga en Nesjavellir, y publicado ipd
- Maqueta de la planta de energía mareomotriz Kislogubskaya en la península de Kola, Rusia. Publicado por Galin Vladimir Petrovic y publicado ipd
- Una de los Tres Pelamis máquinas muy lleno a través de a ola en los Ola Aguçadoura Parque, Portugal. Publicado por P123 y publicado ipd

Tabla 6.1. procesos Volcánicos y sus efectos

- Fuentes de lava y flujo de lava, Hawai, EE. UU., 2004. Ipd porque es un trabajo preparado por un oficial o empleado de los nosotros Gobierno
- Grandes árboles aplastados por la explosión de Mt St Helens, estado de Washington, EE. UU., 1980. Publicado por USGS cascadas Volcán Observatorio y
- Erupción de cenizas del Monte St Helens, 1980. Publicado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias Foto Biblioteca y publicado ipd
- Nuée ardentes fluyendo por el volcán Mayon, Filipinas, 1984. Publicado por CG Newhall e ipd porque contiene materiales que originalmente vino de USGS
- Lahar enterrando casas cerca del volcán Galunggung, Indonesia, 1983. Publicado por Robin Holcomb, USGS, y ipd porque contiene materiales que originalmente llegó de USGS

Tabla 6.2. Erupciones según el Índice de Explosividad Volcánica (VEI), mostrando altura de penacho (m), volumen de material eyectado (m3) y aproximadamente con qué frecuencia ocurre ese tipo de erupción (frecuencia global). Publicado por Brian S en Flickr: <http://www.flickr.com/people/exfordy/> bajo CC A 2.0 Licencia genérica

- Erupción de Stromboli en noche, Italia 1980 – volcánico bombas siendo despedido más que 100m dentro los aires. Publicado por Wolfgang Beyer bajo los términos de GNUFDL
- Erupción del monte Sinabung, Medan, Indonesia, que destruyó las vides, 2014. Publicado por Rendy Cipta Muliawan bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Lahar del Nevado del Ruiz, Colombia, erupción de 1985, con el poblado de Armero enterrado en el centrar. Publicado por JeffKing Marso, geólogo de USGS e ipd porque contiene materiales que originalmente llegó desde USGS
- Pluma de erupción del volcán Calbuco cerca de Puerto Varas, Chile, 2015. Publicado por Aeveraa I bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Satélite vista de los 800 km de largo ceniza penacho desde los 2011 Puyehue-Cordón erupción, Chile. Publicado por jeff Schmaltz y ipd porque eso fue únicamente creado por NASA
- Penacho de ceniza de Pinatubo durante la erupción de 1991 en Filipinas. Publicado por D. Harlow e ipd porque contiene materiales que originalmente llegó desde USGS
- El área estimada cubierta por la caída de ceniza de la erupción Tambora de 1815, Indonesia. Mapa base tomado de imagen de la NASA. Indonesia_BMNG.png, y mapas de isópacas trazados de Openheimer (2003). Publicado por Indon~commonswiki bajo CC A-SA3.0 sin portar licencia
- los enorme volcánico cráter (caldera) desde los Tres piedra amarilla erupciones, Wyoming, EE.UU. Publicado por Ed Austin/Herb Jones y, ipd como obra de un empleado del Servicio de Parques Nacionales del gobierno federal de EE. UU. Gobierno

Tabla 6.3. Métodos usados para intentar predecir volcánico erupciones

- Terremotos vinculados a la erupción de 2010 de Eyjafjallajökull en Islandia. Publicado por Veðurstofa Íslands bajo CC0 1.0 Universal Dominio publico Dedicación
- GPS supervisión estación, Pitón Delaware la Fournaise volcán, Reunión Isla, indio Oceano. Publicado por b.navez bajo los términos de GNUFDL
- Alto flujo de calor rojo de Calbuco en Chile, 2015, contra el fondo azul frío de la tierra y el mar. Publicado por NASA y ipd
- Terrestre deformación mostrado por satélite, vinculado para los 2015 erupción de Calbuco, Chile. Publicado por ESA/NASA/JPL-Caltech y ipd

Tabla 6.4. Escala de magnitud del momento

Tabla 6.5. Algunos de los más peligrosos terremotos, según para los números de fallecidos

- Terremoto mapa distribución. Publicado por NASA y

Tabla 6.6. Métodos de pronóstico de terremotos

- los Loma brecha de prieta en los San andreas Culpa, California, EE.UU. ipd porque eso solamente contiene materiales que originalmente vino desde USGS
- Mapa de Japón. Publicado por Alexrk2 bajo CCA -SA 3.0 sin portar licencia
- Mapa de amenaza sísmica de América del Sur elaborado por USGS. Publicado por USGS Departamento de la Interior/USGS y publicado ipd

Tabla 6.7. Edificio métodos para resistirse terremoto daño

- Muros de corte construidos para dar fuerza adicional a un edificio. Publicado por el Departamento de Transporte de Oregón, EE. UU, bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Pernos y correas de cimentación, Napa, California, EE. UU. Publicado por Adam Dubrowa del Federal Emergencia Gestión Agencia y entonces ipd
- Una Tabla vibratoria que prueba métodos de aislamiento de bases: el edificio normal de la izquierda se está derrumbando. Universidad de California, San Diego, EE.UU. Publicado por Shustov bajo las condiciones de GNUFDL
- Red de armaduras para la cimentación de un puente de hormigón. Publicado por Wonaw bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Válvula de corte automática instalada en una tubería principal de gas, Seattle, EE. UU. Publicado por John Shea de la Federa l Emergencia Gestión Agencia y entonces ipd

Tabla 6.8. Grande tsunamis y sus efectos

- los efectos de los Tohoku, Japón tsunami Publicado por los nosotros Armada y entonces ipd
- El tsunami de 2004 en Ao Nang, provincia de Krabi, Tailandia. Publicado por Bild:Davidsvågfoto.JPG y mayo ser usado Por cualquiera por cualquier propósito
- El resultado del tsunami causado por la erupción del Krakatoan de 1883. De los Anales de la Sociedad Espala de Historia Natural, fuente: <https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/18162559072/>; ipd como eso es más que 100 años viejo
- Una vista del artista de los 1755 Lisboa, Portugal, terremoto y tsunami ipd como eso es más que 100 años viejo

Tabla 6.9. Métodos usados para aumento la seguridad durante tsunamis

- los tsunamis peligro advertencia folleto preparado por los costero ciudad de Pichilemu en central Chile. Publicado por Gobierno Delaware Chile, ONEMI bajo CC A 3.0 Chile
- A tsunami muro en Tsu-shi en Japón. Publicado por Rodolfo Ammann bajo CCA 2.0 Licencia genérica
- La boya del sistema de alerta de la red DART II. Esta imagen es ipd porque contiene materiales que originalmente llegó desde USNOAA
- Señal de advertencia de tsunami, Okumatsushima, Japón. Publicado por David Monniaux Bajo los términos de GNUFDL

Tabla 6.10. Diferentes tipos de derrumbes y fluye

- Desprendimiento de rocas en las montañas de la Columbia Británica, Canadá, 2011. l magen proporcionada por Natural Resources Canadá, Geopaisaje vancouver bajo los términos de GNUFDL
- The Ferguson Slide on California State Highway 140, EE. UU., 2008. Publicado por Eeekster bajo CC A 3.0 sin portar
- Rotacional depresiones en el mas largo desplomado Area del viejo camino, mamá Colina, derbyshire, Inglaterra. Publicado por Miguel Cáscara (www.mikepeel.net) bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Vargas, Venezuela, a un mes del flujo de escombros de diciembre de 1999. Publicado por Veronidae bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Tierra arrastrarse lóbulos en Wyoming, EE.UU. Publicado por Jack Flanagan bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

- Terracettes debajo de Morgan's Hill, Wiltshire, Inglaterra. Publicado como parte del proyecto Geograph por Derek arpista bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Tabla 6.11. Movimientos en masa destacados

- Terremoto de Haiyuan de 1920 que desencadenó los flujos de Haiyuan en el centro de China. Publicado por Usuario: PhiLiP y publicado ipd
- Destrucción generalizada en el área de Caraballeda, Venezuela, causada por un flujo de escombros de 6 m de espesor. Publicado por Herrero, Lawson, nosotros AS y ipd como eso contiene materiales que originalmente llegó de USGS
- Foto tomada en Yungay, Perú, 10 años después de la tragedia – el edificio con la inscripción. Publicado por base de datos y publicado ipd
- la cicatriz en Chokrák montaña, Tayikistán, y los deslizamiento de tierra que destruido Khait pueblo. Publicado por rl wesson (USGS) y ipd

Tabla 6.12. Deslizamiento de tierra y deslizamiento de montaña riesgo reducción métodos

- Global deslizamiento de tierra peligro mapa compilado por NASA. Desde <https://earthobservatory.nasa.gov/images/89937/una-visión-global-de-la-susceptibilidad-a-los-deslizamientos-de-tierra>
- A alámbrico extensómetro automovilismo dispositivo - conectado por cable para una inestable área, transmitiendo datos remotamente por radio Publicado por Jfoster7991 bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Tráfico advertencia firmar. Publicado por Oimee bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Terrazas de roca en la Ruta 23, Libra Gap, Cumberland Mountains, Virginia, EE.UU. Publicado por Nyttend y publicado ipd
- Zanja de drenaje francesa llena de grava para atrapar sedimentos, con tuberías perforadas para llevar el agua. Publicado por scooter133 y publicado ipd
- Alerces plantados en una empinada pendiente de pedregal suelto en el campo de esquí de Broken River en Nueva Zelanda para controlar erosión. Publicado por Alan levantamiento y publicado ipd
- Rock pernos en Negro Rock en la costa de sussex, Inglaterra. Publicado como parte de los Geografía proyecto por Simon CaKing bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- Geotextiles. Publicado por marilyn475 y ipd
- Protección de malla de alambre contra la caída de rocas, Marine Drive, Llandudno, Gales. Publicado como parte de la Geografía proyecto por eric jones bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- acantilado estabilizado por hormigón proyectado, auckland, Nuevo Zelanda. Publicado por Subidor y publicado ipd
- Camino corte estabilizado por natural Roca muro en la base con a hormigón retener muro encima, Rebernice, Eslovenia. Publicado por Liuba branco bajo los términos de GNUFDL
- Corte estabilizado con gaviones en Alemania. Publicado por Geolina163 bajo CC A-SA Licencia internacional
- Red de captura de rocas en un sendero para caminar en Multnomah Falls, Oregon, USA. Publicado por Dar-Ape y publicado ipd
- Deslizamiento de tierra proteccion túnel, Narvik/Beisfjord camino 751 en Noruega. Publicado por TorbjørnS bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Rotura rap cantos rodados caído en la costa en este sussex, Inglaterra, para proteger Fairlight pueblo encima. Publicado como parte de los Geografía proyecto por nigel Chadwick bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica

Tabla 6.13. Tierra erosión

- Tierra erosión, Huesco provincia, España; el verde campo espectáculos los diferencia que bien agricultura métodos lata hacer. Publicado por Sierpe de roca bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Una tormenta de polvo en el condado de Hamadan, Irán. Publicado por Saman-1984 bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Maquinaria agrícola enterrada por el polvo arrastrado por el viento en Dallas, Dakota del Sur, EE. UU., en 1936. Publicado por Sloan, a nosotros Departamento de Agricultura empleado, y entonces ipd

Tabla 6.14. Métodos de reduciendo costero erosión

- Rocoso rompeolas construido al otro lado de los playa 'du Evitar' en capbretón, Landas, Francia. Publicado por tangopaso y publicado ipd
- Ola golpeando un malecón, Plogoff, Finistère, Bretagne, Francia. Publicado por Henri Camus bajo CC A 1.0 Licencia genérica
- Rip rap y un malecón, Beesands, Devon, Inglaterra. Publicado por Nigel Chadwick como parte de la Geografía proyecto bajo CC A-SA 2.0 Licencia genérica
- tetrápodos en a rompeolas en Górký Wschödnie, Gdansk , Polonia, en los báltico costa. Publicado por Andrzej Otrebski i bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 6.15. Desperdicio materiales necesitando disposición

- Escombros desde a demolido edificio en milovice, checo República. Publicado por tiia monto bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Doméstico desperdicio siendo comprimido en a vertedero sitio en Australia. Publicado por Vestible y publicado ipd
- El sitio de desechos tóxicos de Valley of the Drums, Kentucky, EE. UU., en la década de 1980. Publicado por los EE . UU. Ambiental Protección Agencia (EPA) y publicado ipd
- Disposición de bajo nivel radioactivo desperdicio en Nevada, EE.UU. Publicado por ENERGÍA.GOV y publicado ipd

Tabla 7.1. Algunos del amplio rango de geociencia especialidades

- Climatólogos registrando datos glaciales, Parque Nacional Glacier, EE. UU. P ublicado por Albert Herring de la USGS bajo CC A 2.0 Genérico
- Núcleo de registro de geólogos de ingeniería en Australia Occidental. Publicado por Jlawrencegeo bajo CC A-SA4.0 Licencia internacional
- Científico ambiental revisando un área minera abandonada en los Estados Unidos. Publicado por Mis tierras públicas Viaje: Detrás los Escenas con BLM Nevada Abandonado minas y tierras Programa Dirigir bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- examinando nuevo taladro Núcleo, Chile. Publicado por Geoz y publicado ipd
- Estudiando la geoquímica de los gases volcánicos, Mount Baker, Washington, EE.UU. Publicado por w . Chadwick de USGS y ipd
- Estudiando glaciación, central Rongbuk glaciario, Everest, Tíbet. Publicado por Matías Kühle bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Despliegue de un sismómetro del fondo del océano frente a Barbados, Indias Occidentales. Publicado por John Whitehead de Oceano Instrumentos y ipd porque eso fue creado únicamente por NASA
- Muestreo agua subterránea en Alemania. Publicado por kreidefossilien.de bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Medición nieve profundidad en Irán. Publicado por Mirisa56 en persa Wikipedia bajo las condiciones de GNUFDL
- Veta de espato flúor en una mina, Peak District, Inglaterra. Publicado por Neilwalker en Wikipedia en inglés bajo las condiciones de GNUFDL
- Instalación de equipos de monitoreo del fondo marino. Publicado por la NOAA de EE. UU. y que originalmente vino desde USNOAA
- Paleontólogo con el hueso del muslo de un gran dinosaurio, Zimbabue. Publicado por Kevin Walsh bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Investigadores que examinan las exposiciones de granito en las montañas Fosdick, en la Antártida. Publicado por Csidoway bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Análisis del tamaño de los sedimentos en el laboratorio, Oficina Oceanográfica Naval, Mississippi, EE. UU. Este archivo es una obra de un marinero o empleado de la Marina de los EE. UU. , tomado o hecho como parte de los deberes oficiales de esa persona. como obra de los nosotros federal gobierno , los imagen es ipd

- Agrimensura tierra costras utilizando a cuadratín. Publicado por 08Biocorteza bajo CC A 2.0 Genérico
- Prueba de muestras en el cráter del volcán Mutnovsky, Kamshatka, este de Rusia. Publicado por Dr. Jake Maule bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

Tabla 7.2. Métodos usados para observar y grabar el ambiente para observar y registro geocientífico características

- Observación de microscópico diamantes Foto: Chris King
- Observando un fósil con una lupa. Publicado por Catherine Christopoulou bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Paisaje observación en los Cima Distrito, Inglaterra. Foto: Pedro Kennet
- Doblada rock secuencias en los argelino Desierto. Google Tierra™
- Medición los chapuzones de a cama. Foto: Pedro Kennet
- Medición cama espesores Como encima
- Racha de hematites muestras Publicado por KarlaPanchuk bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- los tierra Ciencia Educación Unidad rock descripción llave. Por permiso de ESEU
- Geología campo notas Publicado por PePeEfe bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Grabación a campo diagrama. Foto: Jaime Velocidad
- Fotografía anotada, Champlain Thrust, Lone Rock Point, Burlington, Vermont, Estados Unidos. Publicado por Ed Meyer y publicado ipd
- Registro estratigráfico de los Más bajo Cretáceo Kitadani formación cerca de Katsuyama Ciudad, Japón. Redibujado de una imagen publicada por Yoichi Azuma, Xing Xu, Masateru Shibata, Soichiro Kawabe, Kazunori Miyata y Takuya Imai bajo CC A 4.0 Licencia internacional
- Stevenson pantalla proteger tiempo instrumentos y lluvia indicador. Publicado por Famartín bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia
- Las mediciones periódicas se realizan en una pantalla Stevenson. Publicado por JH. Janßen Bajo los términos de GNUFDL
- Aire calidad muestreo en Francia. Publicado por cjp24 bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Tierra fosa en los Cárpatos estrabaciones, Polonia. Publicado por Plogeo bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Análisis de la calidad del agua, Port Macquarie, Nueva Gales del Sur, Australia. Publicado por Brian Tolagson bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Dispositivo para el muestreo de la columna de agua en el océano. Publicado en <http://www.scienceimage.csiro.au/pages/about/> bajo CC A 3.0 sin portar licencia

Tabla 7.3. Edificio geociencia observaciones dentro modelos y mapas

- Diorama jurásico, Museo Smithsonian de Historia Natural, Washington DC, EE. UU. Publicado por Carlos Malamud bajo CC A 2.0 Licencia genérica
- Grandes cristales de feldespatos en una roca ígnea de fondo de grano más fino, que muestran un enfriamiento en dos etapas. Publicado por chmee2 bajo las condiciones de GNUFDL
- La discordancia descubierta por James Hutton en Siccar Point en Escocia. Publicado por Stuart Sutherland bajo CC A-SA 4.0 Licencia internacional
- Geológico mapa de los Cobre Acantilado, Sudbury Minería Distrito, Ontario, Canadá. Publicado por los Geológico Encuesta de Canadá bajo los Abierto licencia del gobierno, Canadá 2.0
- Tierra mapa de Timor. Publicado por Semillas de vida bajo CC A-SA 3.0 sin portar
- Mapa de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en la península de Cabo Verde, Senegal. Publicado por JC. Conde, O. Bantón & Y. Travi bajo CC A-SA 3.0 sin portar licencia

