

# LA TIERRA: NUESTRO DINÁMICO HOGAR

## Ciencias de la Tierra



**5** to  
AÑO

**LA TIERRA:  
NUESTRO DINÁMICO  
HOGAR**

**Ciencias de la Tierra**

**5<sup>to</sup>  
AÑO**



## COLECCIÓN BICENTENARIO

**Hugo Chávez Frías**  
Comandante Supremo

**Nicolás Maduro Moros**  
Presidente de la República Bolivariana de Venezuela

**Corrección, Diseño y Diagramación**  
**EQUIPO EDITORIAL**  
**COLECCIÓN BICENTENARIO**

**Coordinación de la Serie Ciencias Naturales**  
José Azuaje

**Coordinación de Ciencias de la Tierra**  
Gloria Guilarte Cisneros

**Autoras y autores**  
Desireé Yaguare Valladare  
Freddy José Oropeza R.  
Gloria Guilarte Cisneros  
María Angélica Falcón de R.  
María Eugenia Mago  
Orlando José González C.  
Orosmán Ortega

**Revisión de Contenido**  
Gloria Guilarte Cisneros  
Orlando José González C.

**Ilustraciones y Edición Fotográfica**  
Brayan Coffi Cedeño  
Cesar Ponte Egui  
Eduardo Arias Contreras  
Gilberto Abad Vivas  
José Alberto Lostalé  
José Luis García  
José Samuel González  
Luis Lupi Ocante  
Leidi Vásquez Liendo  
Nicolás Espitia Castillo  
Victor Silva Mendoza  
Cesar Ponte Egui



República Bolivariana de Venezuela  
© Ministerio del Poder Popular para la Educación

Tercera edición: Abril, 2014  
Convenio y Coedición Interministerial  
Ministerio del Poder Popular para la Cultura  
Fundación Editorial El perro y la rana / Editorial Escuela

ISBN: 978-980-218-340-1  
Depósito Legal: If51620123702598  
Tiraje: 400.500 ejemplares

## Mensaje a las y los estudiantes

El libro *La Tierra: nuestro dinámico hogar* forma parte de la serie de Ciencias Naturales de la Colección Bicentenario. Fue elaborado para acompañarte en tus estudios de Ciencias de la Tierra del 5º año de Educación Media General. Consta de diez lecturas de contenido y cuatro lecturas adicionales que fueron escritas para que descubras el fascinante mundo de las Geociencias.

Cada lectura de contenido está estructurada en partes bien diferenciadas:

- La portadilla de presentación.
- El desarrollo de la lectura.
- Las actividades de investigación, creación e innovación.
- Las actividades de autoevaluación.

### La portadilla



Está escrita a partir de eventos y fenómenos de actualidad que tratan de conectar con tus saberes y experiencias cotidianas. Hemos hecho un esfuerzo por escoger información impactante que sirva de motivación inicial y te invite a leer. El título de la lectura va en el margen superior de la página, son títulos frescos inspirados en las ideas y contenidos centrales. Tiene una imagen relacionada con el fenómeno seleccionado, que puede servir para comprender el sentido de la lectura y los contenidos sobre los que trata.

### El desarrollo de la lectura



Las páginas que siguen a la portadilla, constituyen el cuerpo de la lectura. En ellas te acompañamos en la conceptualización de los contenidos fundamentales del tema, estructurados en subtítulos. Te exhortamos a leer y a contestar las muchas preguntas que planteamos y a hacerte nuevas interrogantes. Acompañamos los textos con imágenes, ilustraciones, tablas, gráficos y otras representaciones, que, sin duda, te ayudarán a desarrollar el pensamiento, el lenguaje y la comprensión del discurso simbólico e icónico de la Ciencia. Las lecturas no son, ni pueden ser, exhaustivas a los temas que plantean. Por eso te invitamos a indagar y profundizar en aquellos aspectos que sean de tu interés.

## Las actividades



Casi todas las lecturas van acompañadas de actividades (ICI) de Investigación, Creación e Innovación, con el fin de desarrollar métodos y técnicas de estos procesos de la Ciencia. La intención es potenciar tu curiosidad, motivarte a aprender más y a descubrir individualmente y en colectivo, nuevos ámbitos del conocimiento de las Ciencias de la Tierra. Algunas lecturas incluyen actividades de autoevaluación en las que se plantean temas que exigen reflexionar para tomar posición con compromiso, emplearás saberes aprendidos en cuestiones que no podrás resolver sólo con memorización de ideas, sino que retarán tu pensamiento crítico y reflexivo.

## Las lecturas adicionales



El libro culmina con lecturas que complementan e integran los saberes desarrollados, con el fin de promover el pensamiento crítico-reflexivo y desarrollar la conciencia del deber social que tenemos todas y todos para con nuestro planeta como el hábitat de la especie humana. Destacamos en ellas la Carta de la Tierra, documento fundamental en la defensa del planeta y las carreras y programas de formación en el campo de las Ciencias de la Tierra, para ayudarte en la selección de tus opciones de estudios universitarios. Además hemos incorporado una lectura sobre la mujer en la Ciencia, para destacar la igualdad de oportunidades y de condiciones de todas y todos para participar en el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país.

Cuida este libro pensando que pertenece a todo aquel que necesite utilizarlo. Te invitamos a la aventura de explorar nuestro planeta Tierra, conocerlo, valorarlo y cuidarlo como el único hogar que tenemos los seres vivos que lo habitamos. Haciéndolo un lugar para la igualdad, la justicia social, la paz y la solidaridad que garantizarán la permanencia armoniosa de la especie humana hoy, mañana y siempre.

## Mensaje a las profesoras, los profesores y las familias

Este libro, titulado *La Tierra: nuestro dinámico hogar* forma parte de la serie de Ciencias Naturales de la Colección Bicentenario. Se trata de un material didáctico de referencia para el proceso educativo de las y los jóvenes de 5<sup>to</sup> año de Educación Media General, realizado por educadoras y educadores pensando en la necesidad que se tiene de actualizar el currículo de las Ciencias de la Tierra, destacando las potencialidades de esta asignatura para integrar contenidos con los procesos de conceptualización, construcción teórica, investigación, creación, innovación y contextualización socio-crítica.

El libro contiene diez lecturas de contenido y cuatro adicionales, pensadas para trabajarlas en espacios de diálogo y debate constructivo.

La primera de las lecturas de contenido es de carácter introductorio, en la que se pretende aproximar al estudiantado a la pertinencia social de las Ciencias de la Tierra, su visión interdisciplinaria y la necesidad de que toda la ciudadanía reconozca el valor de comprender el planeta como el lugar que acoge la humanidad. Recomendamos trabajarla junto a la lectura adicional sobre las oportunidades de estudio en carreras geocientíficas, de modo que cumpla su papel para la orientación vocacional de las y los jóvenes, que en esta etapa suelen confrontar dudas y dilemas acerca de su prosecución de estudios universitarios.

Las restantes lecturas de contenidos curriculares, abarcan temáticas de las Ciencias de la Tierra, tomando como criterio su relevancia, su pertinencia y la necesaria actualización curricular, haciendo uso de los procesos didácticos acordes con las diferentes disciplinas de las Ciencias de la Tierra. La intención es que estas lecturas sirvan de referencia para la realización de diversos proyectos de aprendizaje y se puedan incorporar al Proyecto Educativo Integral Comunitario. Se sugiere que en su planificación didáctica prevean el uso de las lecturas discriminadas por lapso, articulando las lecturas adicionales en esa programación.

Cada lectura está escrita en forma conversacional para capturar la atención de las y los jóvenes. Éstas presentan una introducción y un desarrollo del tema, con textos que conceptualizan las ideas científicas, las cuales se ponen en acción mediante actividades propuestas de investigación, creación o innovación. También contienen actividades de autoevaluación que serán realizadas por las y los jóvenes con la mediación de ustedes.

A las y los profesores nos toca la enorme tarea de poner a disposición de nuestros estudiantes, nuestras mejores herramientas de indagación, de pensamiento y de creación. El encuentro entre docentes y estudiantes es una oportunidad para intercambiar saberes, preguntas más que respuestas, replanteos y opciones para participar con sentido crítico y profundamente humano en torno a los problemas que confronta la humanidad hoy. El sentido de nuestras vidas no está separado del sentido del propio planeta, las y los profesores de Ciencias de la Tierra compartimos la responsabilidad de promover una nueva relación saludable y solidaria con el planeta, reconociendo que somos parte del mundo natural.

Como educadoras y educadores comprometidos, les invitamos a hacer uso de este material didáctico y a estimular a sus estudiantes a leerlo y a realizar las actividades sugeridas. Estamos convencidas y convencidos de que será de gran ayuda en la tarea de impulsar una educación para ejercer la ciudadanía, con un enfoque humanístico, crítico y liberador inspirado en los principios de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la Ley Orgánica de Educación y demás documentos rectores de la educación venezolana. El sentido de pertenencia a la comunidad planetaria se expresa en el vivir bien, el bien común y el desarrollo con sentido de equidad. El conocimiento sólo es integral cuando es compartido y se convierte en guía de la vida de todas y todos los habitantes del planeta.

# Índice

## 1. ¿Por qué Ciencias de la Tierra?.....8

- Ciencias de la Tierra se escribe con “s”
- Ciencias de lo muy grande y de lo muy pequeño
- Ciencias de lo antiguo y lo reciente, de lo lento y de lo súbito
- Ciencias de lo que se ve y lo que no se ve
- Ciencias que posicionan los fenómenos
- ¿Qué herramientas son de uso frecuente en las Ciencias de la Tierra?
- Pertinencia social de las Ciencias de la Tierra

## 2. Conociendo nuestro vecindario ..... 24

- ¿Dónde queda la Tierra?
- Midiendo grandes distancias
- Nuestras representaciones de la Tierra
- Pero... ¡Nos queda mucho por conocer!
- Reconstruyendo el pasado
- La historia común de la Vía Láctea, el Sistema Solar y la Tierra
- Somos polvo cósmico
- **Actividades ICI**
- **Actividades AEV**

## 3. La Tierra, un sistema complejo ..... 52

- Replantearse la visión del planeta
- ¿Por qué un sistema?
- Intercambio de energía
- Circulación de la materia
- Si funciona como un sistema y se estructura como un sistema, es...
- **Actividades ICI**
- La Tierra en clave de sistema
- La atmósfera en clave de sistema
- La hidrosfera en clave de sistema
- La pedosfera en clave de sistema
- **Actividades ICI**

## 4. Geodinámica terrestre .....98

- Geodinámica externa
- Geodinámica interna
- **Actividades ICI**

## 5. La larga historia de la Tierra .....122

- Para medir la edad de la Tierra necesitamos unidades
- La escala de tiempo geológico
- ¿Cómo se determina la edad de las rocas?
- La Tierra Precámbrica
- La Tierra Fanerozoica
- **Actividades ICI**
- **Actividades AEV**

## 6. Historia geológica de Venezuela ..... 148

- La historia geológica a través de las rocas
- Provincias fisiográficas
- La historia geológica de Venezuela
- El Precámbrico en Venezuela
- El Paleozoico en Venezuela
- El Mesozoico en Venezuela
- El Cenozoico en Venezuela
- Cuencas sedimentarias
- Tectónica de placas y evolución de cuencas
- **Actividades ICI**
- **Actividades AEV**

## 7. Recursos energéticos y yacimientos minerales de Venezuela .....172

- Los recursos del planeta
- Yacimientos minerales de Venezuela
- **Actividades ICI**

## 8. Cambios globales, ¿fenómenos naturales o inducidos? .....186

- El cambio es lo habitual
- Calentamiento global
- Efecto invernadero
- Acciones potenciadoras de cambio
- **Actividades ICI**
- **Actividades AEV**

## 9. Gestión integral de riesgos .....214

- Mantener la memoria colectiva despierta
- El riesgo es un concepto humano
- De la amenaza a la vulnerabilidad
- De las capacidades a la resiliencia
- Gestión Integral del riesgo
- ¿Cómo podemos participar en la gestión integral de riesgos?
- Las amenazas en nuestro país
- **Actividades ICI**
- **Actividades AEV**

## 10. ¿Un planeta en emergencia? .....240

- Era antropozoica
- Evidencias de emergencia planetaria

## Para saber algo más sobre ciencia y tecnología ..... 244

- La Carta de la Tierra
- Oportunidades de estudios en Ciencias de la Tierra
- La mujer en la Astronomía venezolana
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

# 1 ¿POR QUÉ CIENCIAS DE LA TIERRA?



Unas de las muchas evidencias de que estás a punto de culminar tus estudios de Educación Media, es que en este año escolar tienes una asignatura “nueva” que se llama **Ciencias de la Tierra**.

Aunque en términos formales –como asignatura independiente y con identidad propia– aparece por primera vez en 5<sup>to</sup> año; en realidad has venido estudiando, trabajando y aprendiendo contenidos de Ciencias de la Tierra desde el inicio de tu formación, en varias materias o áreas del conocimiento. Las Ciencias de la Tierra estudian el planeta, el mundo que nos rodea, y que nos incluye. Un lugar cuyas características y complejo funcionamiento nos afectan y nos conciernen a todas y todos. Por lo tanto, este conocimiento no es tan nuevo para ti. En realidad, ya sabes algo de esto.

Lo que sin dudas será nuevo es la forma como nos vamos a aproximar a los fenómenos terrestres para obtener una **visión de nuevo tipo**, acerca de la compleja dinámica planetaria. Nuestro esfuerzo estará centrado en enraizar ideas imprescindibles para toda ciudadana y ciudadano de hoy y del futuro, relacionadas con la dinámica interdependiente de la Tierra y las actividades humanas.

Nuestro planeta es sorprendente y activo, con cambios permanentes por doquier. Un planeta que ha brindado condiciones inmejorables para que la especie humana proflerara y fuera capaz de agregar valor a los recursos naturales, a través de su trabajo, su ciencia y su tecnología. La Tierra está viva y en constante interacción, y ésto la humanidad apenas lo está empezando a entender. Es imperioso que lo haga para garantizar un vivir bien –en armonía con el planeta– con prosperidad para todas y todos.

Con esta lectura pretendemos que conozcas por qué es tan importante que estés informada o informado sobre los conocimientos que se obtienen desde las Ciencias de la Tierra. ¿Cómo se estudia a la Tierra? ¿Qué dificultades entraña su estudio? Y sobre todo, cómo es que el futuro del planeta y la preservación de la vida están unidos al nivel de conciencia y a la formación científica y tecnológica que todas y todos sus habitantes poseamos.

## Ciencias de la Tierra se escribe con “s”

¿Has notado que cuando nos referimos a las Ciencias de la Tierra lo hacemos en plural? ¿Por qué no decimos *Ciencia* de la Tierra? Estas preguntas iniciales nos pueden permitir hacer una primera distinción del quehacer de las Ciencias de la Tierra.

Las **Ciencias de la Tierra** hacen uso de métodos, técnicas y conocimientos aportados por varias disciplinas científicas, que contribuyen a descifrar los misterios e interrogantes acerca del planeta. En algunos países, e incluso en el nuestro, se las llama **Geociencias** para destacar –en forma más breve– que son varias ciencias cuyo objeto de estudio es la Tierra.

El conocimiento de un objeto complejo como la Tierra, y de los cambios que en ella se han producido a lo largo de los tiempos, no es campo de acción exclusivo de una determinada ciencia, son muchas las que tienen en común al planeta como centro de sus intereses. Estudiarla por partes, por aspectos y campos de investigación, ha sido de gran ayuda a lo largo de la historia de la humanidad. Sin embargo, esto ya dejó de ser así.

Las Ciencias de la Tierra son **ciencias integradas** o integración de ciencias. ¿Cuáles ciencias?: todas aquellas disciplinas científicas que estudian la Tierra; su estructura; su composición; sus recursos y materiales; su morfología y su funcionamiento; su lugar en el espacio; su relación con los demás astros del Universo; su pasado; cómo y cuánto ha cambiado; su evolución y cómo será en el futuro; entre otros muchos temas. Estas ciencias se integran y complementan para estudiar **un planeta excepcional con un delicado equilibrio**.



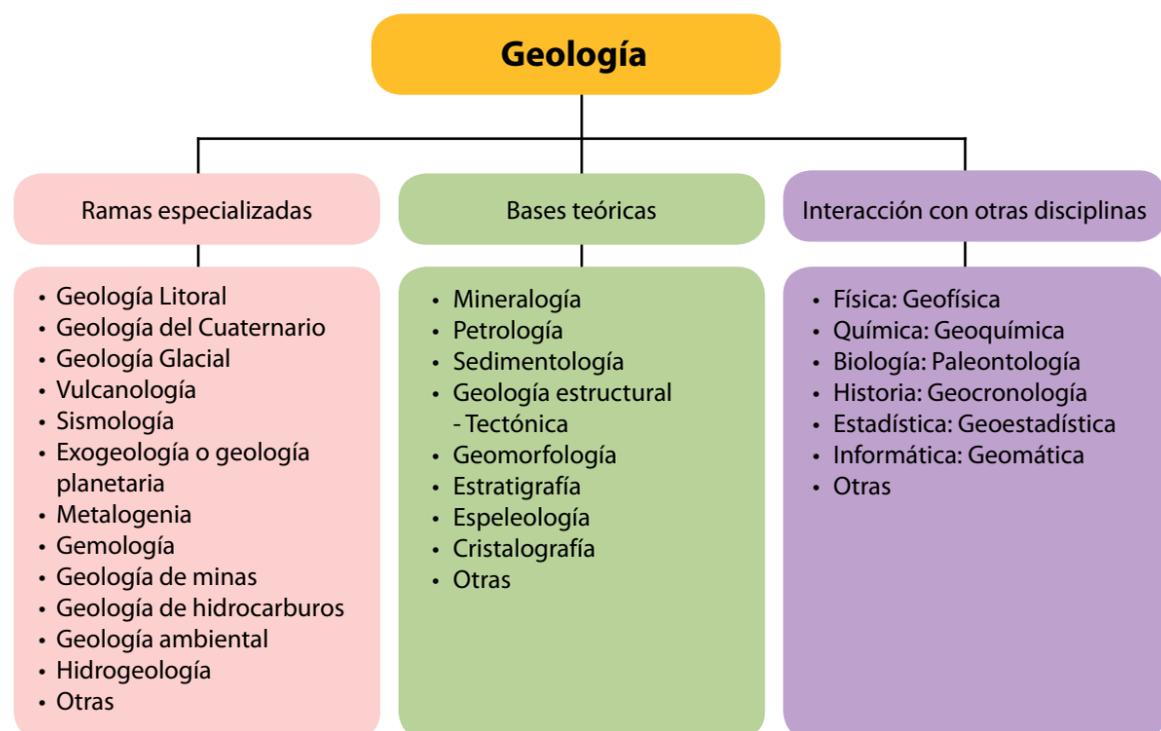
*Figura 1.1. En las Ciencias de la Tierra se constituyen equipos interdisciplinarios.*

Desde la segunda mitad del siglo XX y en el presente siglo, el surgimiento de problemáticas cada vez más complejas ha hecho que las explicaciones parciales sean insuficientes, lo que ha exigido la búsqueda de nuevas explicaciones más globales e integradoras con el aporte proveniente de distintos campos del saber. Poco a poco, se ha logrado la constitución de equipos multidisciplinarios e interdisciplinarios de científicos de la Tierra (ver figura 1.1) para encontrar respuestas y comprender los diferentes procesos y fenómenos globales que se expresan localmente. **La Tierra es un todo integrado, es necesario estudiarlo integralmente.**

Las Ciencias de la Tierra o Geociencias son el conjunto de disciplinas que estudian la estructura interna, la morfología superficial e interna y la evolución de nuestro planeta. Entre ellas se encuentran la geofísica, la geoquímica, la geología, la sismología, la climatología, la meteorología, la pedología, la hidrología, la geomorfología, y otras muchas. Estas ciencias no pueden ser consideradas como ciencias “terminadas” ya que están en constante evolución, y a su vez suelen ser interdisciplinarias, dado que estudian **un mundo complejo y dinámico, cuyas características no pueden considerarse aisladas de su propio medio.**

Estas así, que cada una de las Ciencias de la Tierra a su vez –por las múltiples conexiones que tienen sus campos de estudio– se ramifica en otras disciplinas de especialización y de aplicación, a medida que sus métodos y técnicas se han refinado y se han ido perfeccionando sus instrumentos tecnológicos. **Una realidad compleja como la terrestre, exige estudiarla desde múltiples miradas y perspectivas.**

Para ilustrar mejor la naturaleza de las Ciencias de la Tierra, sirve el ejemplo que te presentamos en la figura 1.2. Analiza detenidamente.



**Figura 1.2.** La Geología, una de las Ciencias de la Tierra, con algunas de sus ramas de aplicación, campos de desarrollo teórico y de integración con otras ciencias.

En esta figura puedes ver a la geología –una de las más representativas Ciencias de la Tierra– con sus diversas ramas de acuerdo con sus campos de especialización y de aplicación, además cómo se ve fortalecido su cuerpo de conocimientos teóricos a partir de su asociación con otras ciencias básicas. Este esquema es una propuesta de organización inacabada con fines ilustrativos, pero nos ayuda a apreciar las múltiples conexiones de las Ciencias de la Tierra. Te invitamos a realizar un ejercicio semejante con otras Geociencias; así comprobarás que se justifica que **cuando hablemos de Ciencias de la Tierra siempre lo hagamos en plural.**

## Ciencias de lo muy grande y de lo muy pequeño

Estudiar la Tierra nos coloca en la posición de conocer un vasto espacio de dimensiones enormes. Analizar cualquiera de las magnitudes físicas de la Tierra, demanda estar preparados para manejar cifras considerables. Esto acarrea dificultades prácticas para realizar los cálculos y operaciones que se necesitan a fin de estudiar algunas variables físicas de la Tierra. Por esta razón, las Ciencias de la Tierra a menudo utilizan procedimientos que hacen posible representar los macrofenómenos terrestres en forma más manejable –e incluso amigable– para favorecer la fidelidad de sus representaciones sin perder el rigor necesario.

Por esto, muchas magnitudes se expresan con la notación científica basada en potencias de diez ( $10^n$ ) para manejar cifras con un número de dígitos reducido y comparar más fácilmente magnitudes entre sí. Por ejemplo, la magnitud masa de la Tierra se expresa  $5,9 \times 10^{24}$  kg, en lugar de escribir 5.973.600.000.000.000.000.000 kg que es una cifra que por sí sola resulta complicada de escribir y más aún de comprender.

En ocasiones, se hace uso de los múltiplos de las unidades establecidas en el Sistema Internacional de Medidas (SI). Por ejemplo, para expresar la temperatura de un cuerpo, el SI indica el uso de la unidad Kelvin (K). Si necesitamos expresar, digamos, las temperaturas del Universo en el primer segundo de su formación, las cuales eran tan altas que debieron rondar los  $10^{10}$  K. Podemos entonces hacer uso del múltiplo más cercano a este orden. Podría ser el múltiplo giga (G) y expresar el dato como 100 GK que se lee cien giga Kelvin. Si usamos el múltiplo tera (T) la expresión de esta temperatura sería 0,1 TK que se lee cero coma uno tera Kelvin.

Múltiplos			Submúltiplos		
Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
yotta	Y	$10^{24}$	yocto	y	$10^{-24}$
zetta	Z	$10^{21}$	zepto	z	$10^{-21}$
exa	E	$10^{18}$	atto	a	$10^{-18}$
peta	P	$10^{15}$	temto	f	$10^{-15}$
tera	T	$10^{12}$	pico	p	$10^{-12}$
giga	G	$10^9$	nano	n	$10^{-9}$
mega	M	$10^6$	micro	$\mu$	$10^{-6}$
kilo	k	$10^3$	mili	m	$10^{-3}$
hecto	h	$10^2$	centi	c	$10^{-2}$
deca	da	$10^1$	deci	d	$10^{-1}$

**Tabla 1.1.** Prefijos de múltiplos y submúltiplos para unidades de medida en el SI.

En la tabla 1.1 se presentan los prefijos para los múltiplos y submúltiplos aplicables a las unidades establecidas por el SI con su respectivo factor de conversión en potencias de diez. Con seguridad, muchos de ellos ya los conoces, porque su uso se ha popularizado bastante con la masificación de las tecnologías de información y comunicación. Las palabras como gigabytes o terabytes son de uso frecuente y ambas incluyen un prefijo de los que mencionamos aquí.

Por otra parte, así como en las Ciencias de la Tierra se trabaja con magnitudes enormes, también necesitamos unas pequeñísimas, porque el comportamiento del mundo micro es definitorio para lo que ocurre a escalas mayores.

Por ejemplo, el fenómeno de la radiactividad ocurre a nivel del núcleo atómico de ciertos elementos químicos que se desintegran en forma natural y a una tasa constante. Esta propiedad es utilizada para determinar la edad de formación de las rocas que poseen minerales radiactivos.

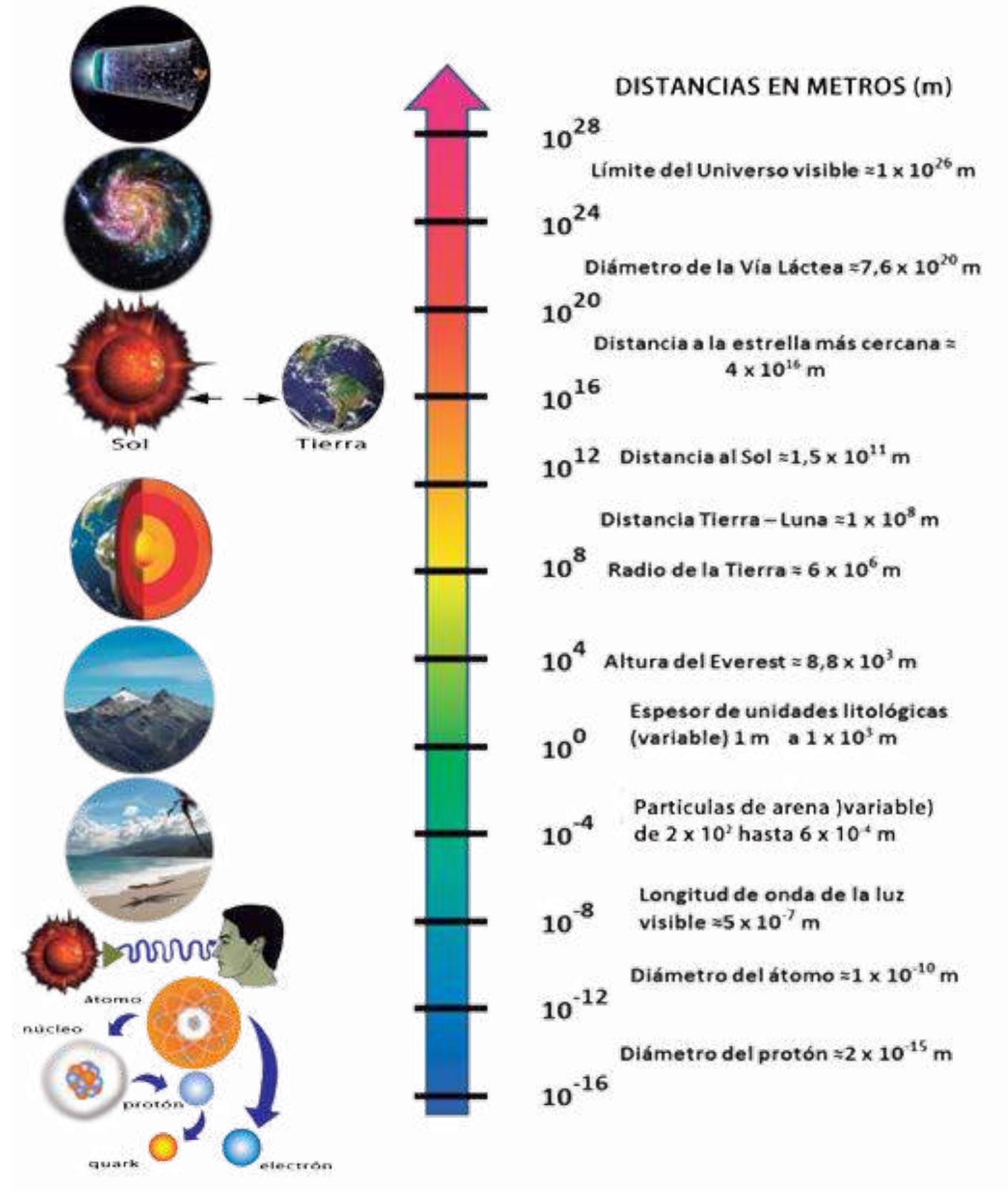
La edad se calcula por la cantidad del mineral original radiactivo y la cantidad del isótopo generado. Esto supone tener que trabajar con fenómenos que ocurren en el mundo de lo muy pequeño como es el núcleo atómico y sus partículas, y con magnitudes muy pequeñas como la masa y la cantidad de materia de tales isótopos.

Al igual que las grandes dimensiones, las muy pequeñas tienen las mismas complejidades para su manejo. En estos casos, también resulta práctico usar la notación científica y trabajar con los submúltiplos de las unidades indicadas en el SI.

Por último, cuando el uso de las unidades fundamentales del SI resulta inconveniente porque el fenómeno a describir es de magnitudes muy grandes o demasiado pequeñas, también existe la posibilidad de usar unidades más apropiadas a la naturaleza del fenómeno. Un ejemplo de esto lo tenemos en el Universo, donde usar la unidad de medida km para las distancias no resulta práctico, aunque usemos potencias de diez y apelemos a los múltiplos.

Las distancias en el Universo son enormes y, como verás más adelante, el mismo está en expansión. Frente a esto, la comunidad científica ha ido proponiendo nuevas unidades, que se han convertido en convenciones de aceptación general. El año-luz (a.l.) y la unidad astronómica (ua) son dos buenos ejemplos para explicar lo que queremos decir. Más adelante y a lo largo de tus estudios de Ciencias de la Tierra, podrás leer un poco más sobre estas y otras unidades que son ampliamente utilizadas en las Geociencias.

En la figura 1.3 se presentan algunas distancias que se consideran habitualmente en los estudios de las Ciencias de la Tierra. Esta imagen permite visualizar bastante bien cómo **estas ciencias se mueven entre magnitudes de lo muy pequeño a lo muy grande**.



**Figura 1.3.** Rango de longitudes, distancias o tamaños, de objetos de interés para las Ciencias de la Tierra. Escala expresada en metros y basada en potencias de diez. Entre lo más pequeño y lo más grande existe un rango del orden de  $10^{40}$ .

## Ciencias de lo antiguo y lo reciente, de lo lento y de lo súbito

La noción de las distancias es fundamental en las Ciencias de la Tierra para dimensionar los fenómenos que estudia. Esta dimensión espacial es importante, pero es incompleta si no consideramos la dimensión temporal.

Cuando hacemos referencia al tiempo, realmente nos referimos a intervalos o lapsos transcurridos desde el inicio de un evento determinado hasta su conclusión. La medición del tiempo es complicada en la Tierra porque:

- Los fenómenos se presentan encadenados y sucesivos.
- Algunos fenómenos pueden ser simultáneos o concurrentes con otros.

La búsqueda de precisión en la medida del tiempo, sigue siendo una línea prioritaria del desarrollo tecnológico y la innovación. Como ejemplo, podemos ver cómo los instrumentos usados en las Geociencias se han ido perfeccionando tanto que es posible detectar diferencias muy pequeñas en la magnitud tiempo.

En el Sistema Internacional de Medidas (SI) el segundo (s) es la unidad preferencial para la medición del tiempo. Aunque esta unidad básica sirve para muchos de los fenómenos terrestres como un terremoto o un alud; desafortunadamente no es apropiada para la mayoría de ellos porque ocurren en intervalos de tiempo mayores.

Para resolver esta situación, es posible hacer uso de otras unidades como la hora, el día, el año, entre otras. Su uso dependerá del grado de precisión que se necesite para expresar el tiempo. Muchas de estas unidades son irregulares y variables, como el caso del mes que puede extenderse a 30 o 31 días, e incluso 28 o 29 días, como el mes de febrero. Lo mismo ocurre con la duración del año que está asociada a la duración del período en que la Tierra completa un giro en torno al Sol.

En algunos eventos las diferencias pueden llegar a ser insignificantes y por tanto no se toman en cuenta. Por ejemplo, todos cumplimos años en la misma fecha de nuestro nacimiento, independientemente de si cada 4 años existe un año bisiesto. ¿Te imaginas lo complicado que sería mantener la unidad año, en 365 días exactos, para cumplir años? Tendríamos que cambiar la fecha cada vez.

La edad estimada de la Tierra está por el orden de 4.600 millones de años. Para escribir esta cifra con todos sus dígitos, vamos a confrontar los mismos problemas que en el ejemplo de la masa terrestre. Por lo tanto, para el tiempo se hace uso de los procedimientos que hemos relatado para otras magnitudes: la notación científica y el uso de múltiplos. ¿Cómo escribirías la edad de la Tierra usando estos dos procedimientos?



*Figura 1.4. El tiempo geológico o tiempo de la Tierra está vinculado a innumerables eventos. El choque con otros cuerpos estelares forma parte de esta larga historia de miles de millones de años.*

Como verás en todo el libro, los fenómenos terrestres se extienden a lo largo de un intervalo de tiempo que se corresponde con la edad de la Tierra, por este motivo su datación suele venir expresada en millones de años, que es la unidad básica del tiempo geológico. Para facilitar el intercambio de información y evitar errores en la comunicación de los datos, en esta y otras unidades se emplean convenciones para denotarlas. En el caso de los millones de años se emplea cada vez más la expresión M.a.

**Las Ciencias de la Tierra estudian fenómenos en una escala que oscila entre rangos de valores de tiempo de gran extensión y de corta duración.** En la lectura sobre el tiempo geológico encontrarás la escala de sucesión de eventos más significativos ocurridos en la Tierra desde su formación hace aproximadamente 4.600 M.a hasta nuestros días. Pero el estudio de estos eventos también va a permitir revelar una característica importante para las Ciencias de la Tierra, que nos habla de la naturaleza activa y dinámica de nuestro planeta.

Los fenómenos terrestres ocurren permanentemente. Esta dinámica no se detiene. En la figura 1.5 encontrarás un resumen de algunos fenómenos naturales terrestres organizados en función al medio donde ocurren y su duración.

#### FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS



**De corta duración:** tormentas, huracanes, tornados, olas de frío o calor.  
**Lentos:** sequías, oscilaciones climáticas.  
**Permanentes:** circulación general de aire, cambios físicos, químicos y fotolíticos.

#### FENÓMENOS GEOLÓGICOS



**De corta duración:** terremotos, erupciones volcánicas, avalanchas y aludes.  
**Lentos:** subsidencia y procesos tectónicos globales y locales.  
**Permanentes:** cambios físicos y químicos de los materiales, meteorización, desgaste y transporte de materiales. Formación de cavernas y suelos.

#### FENÓMENOS HIDROLÓGICOS



**De corta duración:** maremotos, inundaciones y eventos hidrometeorológicos extremos.  
**Lentos:** erosión y acumulación costera, socavamiento y abrasión litoral, variación de caudales y volúmenes de cuerpos de agua.  
**Permanentes:** circulación del agua, procesos físicos, químicos y fotolíticos.

*Figura 1.5. Algunos fenómenos naturales organizados con base en el agente que los produce y su duración relativa.*

Continuamente se están produciendo procesos de transformación, algunos de los cuales son tan lentos y graduales que la escala de vida humana no es suficiente para apreciar sus consecuencias. Por ejemplo, el relieve se erosiona día a día aunque no lo podamos apreciar directamente. La evidencia de tal desgaste se puede constatar en la cantidad de sedimentos que llevan los ríos. En otras ocasiones, podemos apreciar las transformaciones ocasionadas por los fenómenos naturales, pero sus consecuencias se han hecho tan habituales para las personas que prácticamente las pasan por alto. Ejemplo de este tipo de fenómenos los tenemos en la lluvia, el viento, las mareas, la sucesión de los días y las noches y las estaciones, entre otros.

Junto a estos fenómenos, se presentan eventos súbitos sin que podamos tomar previsiones ante su inminente aparición, sus transformaciones las podemos constatar en forma inmediata y en algunas oportunidades pueden representar verdaderas catástrofes porque su fuerza transformadora ocasiona daños e incidencia desastrosa para las actividades humanas y su infraestructura. Lo relevante del aporte de las Ciencias de la Tierra a este respecto consiste en el conocimiento de que **el planeta es un objeto vivo en constante actividad y cuyo proceso de formación aún está incompleto**. Si este conocimiento es compartido por toda la población y por la sociedad en su conjunto, las actividades económicas, sociales y ambientales se harán conforme a su naturaleza y en armonía con la esencia del planeta. Es esta la pertinencia social de las Ciencias de la Tierra.

## Ciencias de lo que se ve y lo que no se ve

Uno de los desafíos que encaran las Ciencias de la Tierra en sus investigaciones, es la necesidad de realizar experimentos reproducibles para reunir evidencias que apoyen sus hipótesis de trabajo y sus explicaciones a determinados fenómenos terrestres.

Estas evidencias provienen fundamentalmente de la observación del medio natural en los trabajos de campo, o en estudios analíticos, teóricos, de modelización y simulación del funcionamiento de la Tierra. Afortunadamente, el gran laboratorio de estas ciencias es el planeta mismo. Por esto, los estudios de campo son la estrategia más habitual en las Ciencias de la Tierra y con campo queremos decir el contacto directo con los materiales, las formas y los eventos tal como se producen en el ambiente (ver figura 1.6)



*Figura 1.6. Los trabajos de campo en las Ciencias de la Tierra.*

Pero no siempre se puede tomar contacto directo con algunos fenómenos terrestres. Hasta hace muy poco, no era posible tener acceso al fondo de los océanos y a la alta atmósfera. El avance científico y tecnológico ha logrado la exploración de estos espacios. Aún no es posible realizar observaciones directas del interior de la Tierra, con la excepción de la construcción de pozos profundos, otras perforaciones mineras y de la materia que es arrojada desde el interior en las erupciones volcánicas. A falta de estas observaciones, es necesario usar métodos indirectos ayudados por radares, sonares, sensores remotos, el estudio de las ondas sísmicas, la gravedad y el campo magnético terrestre, entre otros métodos. También se realizan experimentos y simulaciones para estudiar el comportamiento de los materiales bajo condiciones similares a las que prevalecen en las profundidades terrestres.

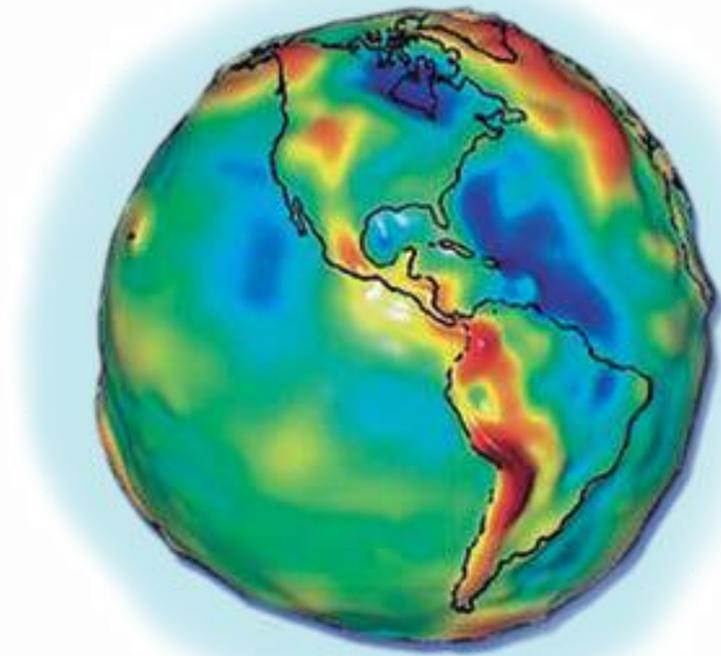


Figura 1.7. Modelo del campo gravitatorio de la Tierra.

Afortunadamente los modelos científicos de las Ciencias de la Tierra cuentan con el avance tecnológico que contribuye a la mejora y refinamiento de sus observaciones e interpretaciones. Este avance ha traído consigo la posibilidad de interconectar estaciones de trabajo y de captura de datos a nivel global, lo cual permite un seguimiento permanente de la realidad cambiante del planeta. Igualmente, nuevas técnicas e instrumentos tecnológicos han permitido acceder a lugares a los que antes resultaba muy difícil llegar. El ejemplo más claro de esto es la presencia de plataformas satelitales que monitorean permanentemente las condiciones generales de la Tierra, lo cual facilita la predicción exitosa de eventos, la localización de recursos naturales, entre otros aspectos de interés para el beneficio de la humanidad.

Finalmente, el mayor de los retos para las Ciencias de la Tierra reside en la reconstrucción del pasado del planeta bajo condiciones no vistas en la actualidad. Sabemos que la Tierra antigua era muy distinta a la de hoy. No obstante, para las Geociencias la comprensión del pasado, contando con la presencia de los mismos procesos que tienen lugar en el presente, constituye la base primordial para pronosticar cómo las condiciones del futuro pueden llegar a cambiar.

Su aporte en este sentido es de enorme valor para encontrar respuestas a los problemas fundamentales que enfrenta la humanidad en nuestro tiempo y los que se tendrá que confrontar a futuro. El trabajo continuo y denodado de las Ciencias de la Tierra con sentido humanista, puede llegar a ser una herramienta fundamental para la creación de una cultura preventiva y solidaria con el planeta; para contribuir a establecer modelos económicos racionales, no depredadores y sostenibles, todo lo cual redundará en la mejora de las condiciones de vida de la sociedad mundial y allanará el camino de la lucha contra la pobreza, porque son los habitantes más pobres los más vulnerables frente a eventos propios de la dinámica terrestre.

## Ciencias que posicionan los fenómenos

Otra característica de las Ciencias de la Tierra consiste en la localización en el espacio terrestre de los fenómenos que estudia. La necesidad de delimitar espacialmente cualquier hecho de interés, ha exigido la determinación de la posición de las cosas con confiabilidad. Para lograrlo, se necesita tener un marco de referencia útil y que no se preste a ambigüedades, de forma que no induzca a errores. La geodesia es una de las Ciencias de la Tierra que se encarga de estudiar este aspecto.

A lo largo de la historia se han usado diversos sistemas que proporcionan coordenadas para ser usadas como puntos de referencia. Pero ello implica algunas dificultades porque la superficie verdadera de la Tierra es única, con irregularidades y curvatura, mientras que los sistemas de referencia proporcionan superficies que se aproximan a ésta, sin reproducirla completamente, lo cual genera algunas distorsiones para la determinación de las distancias horizontales y los desniveles de altura.

En las Ciencias de la Tierra se han utilizado diversos modelos y representaciones gráficas como esferas y mapas, que en los últimos tiempos han experimentado un importante salto tecnológico en el campo de la fotografía aérea y satelital. El presente y el futuro de la geodesia, la cartografía, la fotogrametría conllevan nuevas formas de hacer los mapas con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual redundará en una gran precisión que enriquece enormemente el trabajo de posicionamiento de los fenómenos en el territorio, su análisis y su interpretación para la gestión de sus resultados. En la figura 1.8 puedes apreciar una composición gráfica que representa el resultado del estudio de valores de temperatura del agua en los océanos, logradas con las nuevas tecnologías.

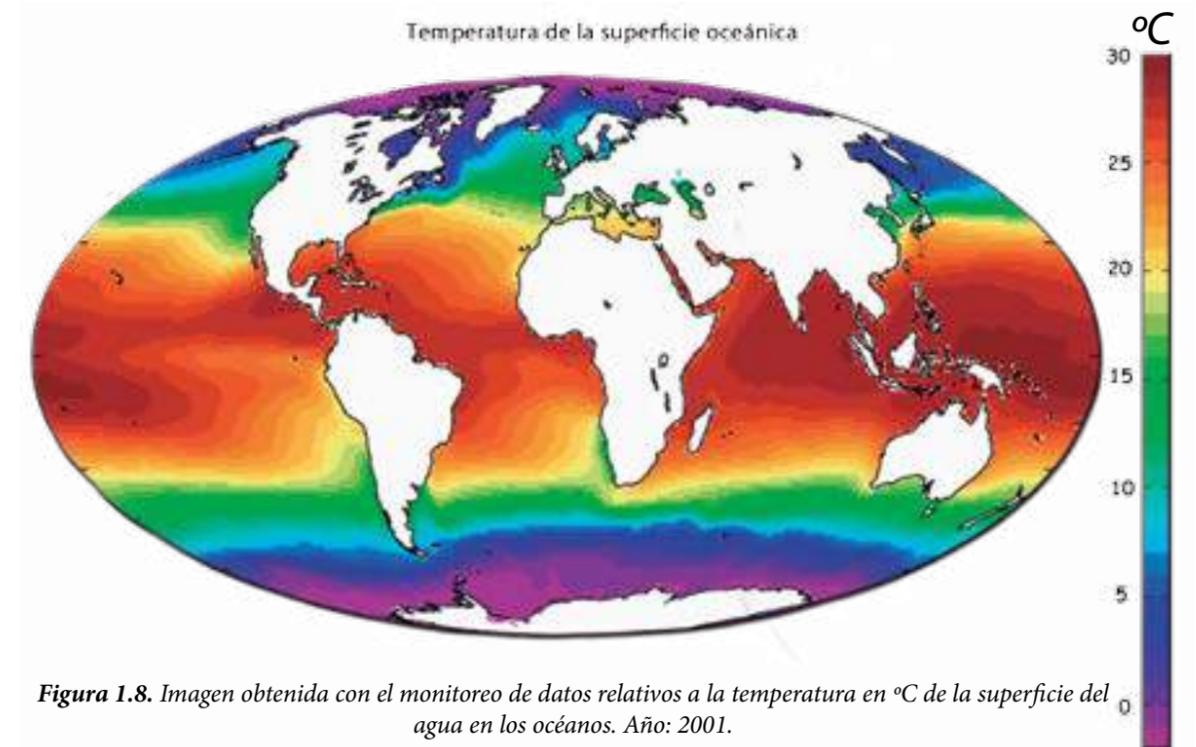


Figura 1.8. Imagen obtenida con el monitoreo de datos relativos a la temperatura en °C de la superficie del agua en los océanos. Año: 2001.

Y en la figura 1.9 se presenta una imagen satelital del territorio continental e insular venezolano y su plataforma continental, obtenida el 27 de agosto de 2012. Puede apreciarse la escasa nubosidad presente para el momento, lo cual facilita una imagen despejada del territorio.



Figura 1.9. Imagen satelital del territorio venezolano captada el 27/08/12 en: Imágenes 2012 NASA, TerraMetrics. Datos de mapa Google, MapLink.

Con estas dos imágenes lo que pretendemos es que puedas visualizar todo el arsenal de información que está al alcance de todas y todos a partir del quehacer permanente de las Ciencias de la Tierra.

Manejar con propiedad todas estas herramientas disponibles hoy es, más que una mera curiosidad, una verdadera necesidad. ¿Por qué? Porque estar informadas e informados sobre la situación del planeta y la forma como se vienen configurando sus problemáticas actuales, como por ejemplo: el cambio climático; la desertización y la sequía inclemente en algunas zonas; el retroceso de los glaciares y la cobertura vegetal; el avance de la línea de costa y la elevación del nivel del mar; el comportamiento de cuencas hidrográficas vitales; entre otros muchos fenómenos, son cuestiones que nos atañen y sobre las cuales no sólo debemos estar al día, sino actuar para transformar nuestros estilos de vida, también opinar e influir para que a quienes les corresponda tomen las decisiones necesarias. Ésta es una tarea inaplazable si queremos que la especie humana y la biodiversidad terrestre se preserven.

## ¿Qué herramientas son de uso frecuente en las Ciencias de la Tierra?

Así como las batas y los estetoscopios son un signo inequívoco del atuendo y el quehacer diario de profesionales de las Ciencias de la Salud, para los científicos de la Tierra también hay un equipamiento básico; en particular, cuando se dirigen al campo a estudiar los fenómenos terrestres en sus manifestaciones naturales.

Lo primero que señalaremos es que la vestimenta y el calzado han de ser apropiados para soportar las inclemencias del clima y recorrer terrenos agrestes. Algunas de las Geociencias exigen buenas condiciones físicas para acceder a determinados lugares y tomar algunas medidas de seguridad ante situaciones extremas, como es el caso de la vulcanología, en la que el trabajo hay que hacerlo en las proximidades de los cráteres activos, lo cual es altamente peligroso y apasionante, porque el fenómeno que se estudia permite estar en contacto con la materia originaria del planeta que fluye hacia la superficie. Es como si hiciéramos un viaje al pasado y al interior de la Tierra.

Adicionalmente, se va al campo con un número reducido de equipos. Sólo los necesarios para la recolección de muestras, el análisis en campo, para la orientación y la determinación de datos de interés. Esto es lo que se llama hacer un levantamiento.



Figura 1.10. Equipo básico para los levantamientos y estudios de campo.

Entre los equipos se encuentra (ver figura 1.10) la brújula para la orientación adecuada y ciertas mediciones como el rumbo y buzamiento de rocas; cinta métrica para hacer mediciones de espesores y distancias; libreta de notas para el registro de los datos levantados en sitio; lupa de bolsillo 20X o más, para magnificar objetos y superficies a observar; GPS para el posicionamiento de estructuras, localización de hitos georeferenciados y nuestra propia ubicación, altura y otras variables de interés; cámara fotográfica; reactivos como ácido clorhídrico y agua oxigenada para la determinación de carbonatos y materia orgánica respectivamente; mapas con la cartografía básica de la región a estudiar; herramientas como martillo, cincel, mandarina, palas, barrenos, entre otros. Como puedes observar, el trabajo sistemático hecho con las herramientas adecuadas proporcionará información de interés en las Ciencias de la Tierra.

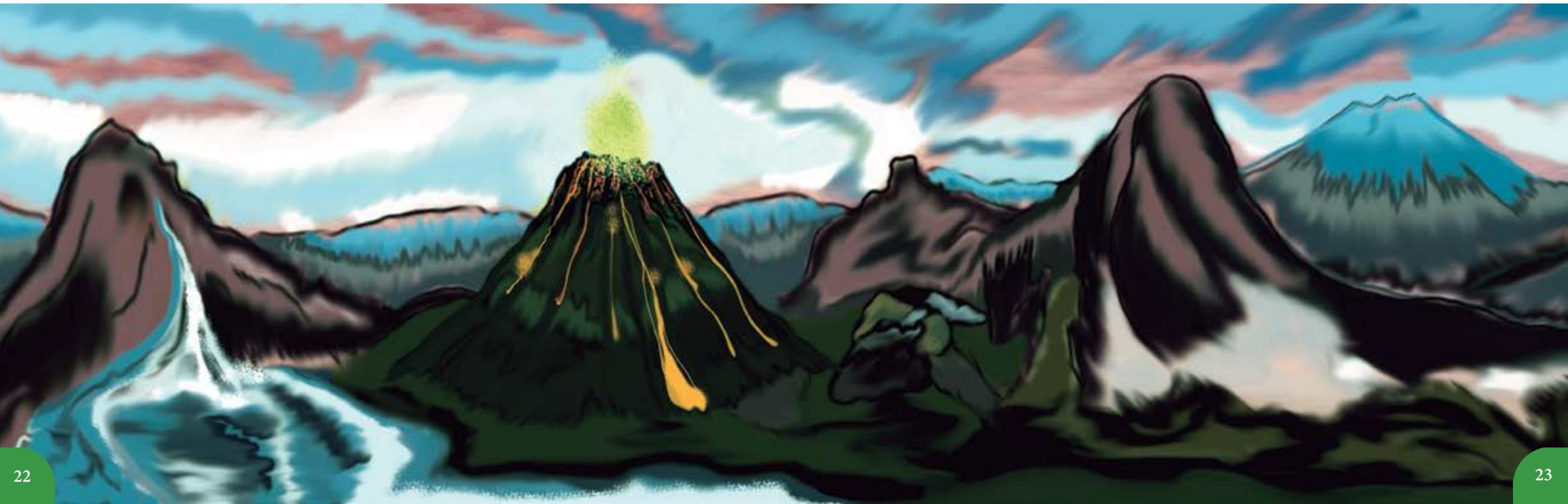
## Pertinencia social de las Ciencias de la Tierra

Es evidente que no podemos cuidar lo que desconocemos y, en este sentido, conocer nuestro planeta es clave para protegerlo y mantenerlo en condiciones adecuadas para disfrutar sus potencialidades y garantizar que las futuras generaciones también puedan desarrollarse plenamente en él. Se trata de un compromiso de todas y todos sus habitantes.

El papel de un curso como el de Ciencias de la Tierra es el de proporcionar conocimientos fundamentales para el bienestar general de la población, en la medida que comprendamos la importancia de los temas que aborda y sus implicaciones sociales, económicas y ambientales, más aún cuando los problemas vinculados con el delicado equilibrio planetario han adquirido especial relevancia. Determinar su impacto en el desarrollo humano es apremiante.

La gestión del territorio y de los recursos de un país con características geológicas y geofísicas como el nuestro, requiere también del desarrollo óptimo de la investigación y de aplicaciones de las diferentes disciplinas que conforman las Geociencias. Se necesita que las nuevas generaciones se incorporen a este esfuerzo.

Las Ciencias de la Tierra son uno de los instrumentos que tenemos para ampliar la comprensión pública del destino del planeta y el futuro de la especie humana. Esta comprensión es incompleta, si no se logra que todas y todos desarrollemos la capacidad para evaluar, con juicio crítico, los problemas más acuciantes y asumamos que son temas que nos conciernen. Los temas del planeta, de sus recursos y de su naturaleza activa y dinámica, junto a la discusión sobre el modelo de desarrollo que deseamos, no son exclusivos de unos pocos, ni sólo para los debates de salón; en realidad son temas para todos los ciudadanos y ciudadanas quienes con su participación decidida, pueden llegar a influir sobre el curso de las acciones para lograr el imperativo ético de salvar al planeta y preservar la especie humana.





Todas las personas conocen bien su hogar. Algunas lo conocen tanto, que hasta podrían cerrar los ojos y moverse con comodidad en su interior. También, conocemos nuestra calle, sector o comunidad. Pero a medida que los espacios se hacen más grandes, como el pueblo o la ciudad, el estado, el país y el continente, generalmente nuestro conocimiento se hace menor, o en todo caso, se hace menos vivencial porque tenemos limitaciones para conocer presencialmente todos esos lugares y poder decir que los conocemos de cerca.

Ni qué decir entonces de nuestro planeta. Es un espacio tan vasto, tan inmenso, que la mayoría de sus habitantes no tienen conciencia de ser parte de la comunidad que lo habita. En efecto, la Tierra es nuestro hogar y así como experimentamos la sensación de pertenencia a nuestra casa desde la infancia, deberíamos sentirnos unidos a nuestro planeta por ser nuestro refugio.

El destino de nuestras vidas está indisolublemente unido al destino del planeta. Nuestra permanencia en la Tierra como especie es reciente, en comparación con su larga existencia; este planeta ha vivido largo tiempo sin nosotros y es muy probable que subsista frente una eventual desaparición de la especie humana. Desentrañar de dónde viene y hacia dónde va, con seguridad nos permitirá desentrañar nuestro propio futuro.

Conocer este excepcional planeta, que ha brindado condiciones óptimas para que la especie humana se desarrolle en él, es una de las primeras acciones que debemos emprender para retribuir su hospitalidad. Te invitamos a realizar esta lectura donde encontrarás información básica que todas y todos debemos conocer hoy acerca de la Tierra y más allá, porque en realidad el Universo es nuestro vecindario.

## ¿Dónde queda la Tierra?

Una de las primeras cosas que aprendemos en la infancia es nuestra dirección. Esta información se considera de gran utilidad para regresar a nuestra vivienda cuando salimos de ella o para ser ubicados por alguna persona. Así como nuestra casa tiene una ubicación determinada; la Tierra también tiene una posición determinada en el espacio, lo que representa su localización física.

Para determinar la ubicación de un objeto, se toma en cuenta la posición del observador, las dimensiones espaciales y temporales entre ciertos puntos determinados y el objeto a posicionar. Por eso en las direcciones damos nombres y números a las calles, distancias entre puntos significativos (por ejemplo, a 100 m de la iglesia) y el tiempo que supone llegar hasta allí (por ejemplo, a 10 minutos del centro de la ciudad). Todos estos datos constituyen el **sistema de referencia** que se usa habitualmente para establecer la posición de un objeto determinado.

Pero a diferencia de la ubicación de tu casa, en la que usas un sistema de referencia que incluye puntos que se asume que están fijos como calles, sectores, barrios, urbanización, ciudad o pueblo, entre otras referencias, para ubicar a la Tierra deben emplearse otros datos de referencia que resulta un poco más complejo establecer.



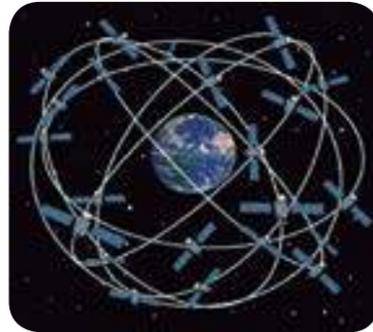
Tomado de la Serie Mafalda. Autor: Quino (1973).

Para determinar los puntos de referencia del planeta, tenemos que tomar en cuenta la extensión y dimensiones del Universo que son inmensamente grandes para la escala humana, aún el espacio exterior es bastante desconocido, buena parte de él está inexplorado, y además los astros que sirven para establecer la posición de la Tierra cambian de ubicación en forma constante porque se mueven y, como veremos más adelante, el Universo está en expansión.

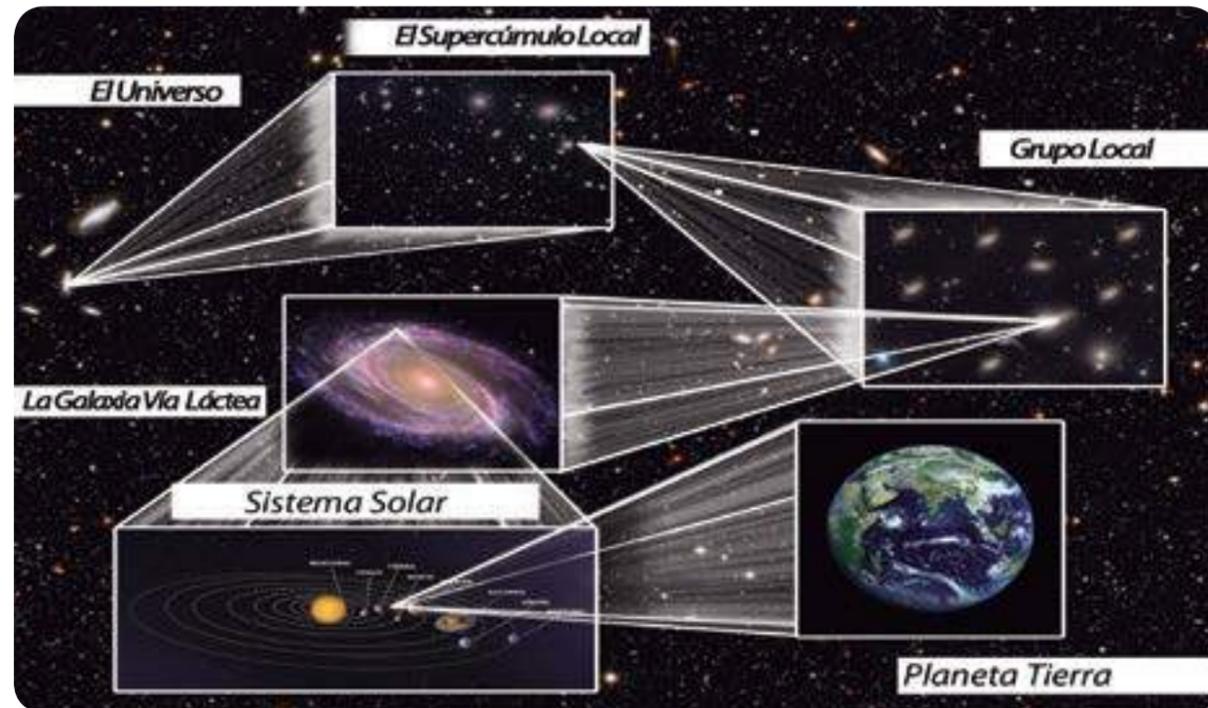
Para resolver este problema es conveniente recordar que la Tierra también está en movimiento, por esto, todo lo que ella contiene también se mueve, aunque no lo percibamos propiamente. De manera que pensar que cualquier punto que usamos de referencia para establecer la posición de un objeto en la Tierra está inmóvil es una convención, que se usa para poder establecer la **posición relativa** de un objeto con respecto a otro.

### Para saber más...

Hoy en día se determina la posición de cualquier objeto con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) que funciona con una red de 24 satélites que orbitan la Tierra con trayectorias sincronizadas entre sí. Para ello, se emiten señales desde el objeto con un dispositivo GPS, que son captadas por al menos tres satélites, éstos determinan el tiempo de emisión-recepción de las señales y calculan la distancia entre ellos y el objeto. Así se logra determinar la posición relativa del objeto con gran exactitud.



De la misma forma como se hace en La Tierra, en el espacio se asume que los cuerpos estelares están inmóviles a los efectos de determinar la posición relativa de la Tierra o de cualquier otro objeto estelar. Para esto se utilizan como puntos de referencia el Sol, los planetas del Sistema Solar, otras estrellas, galaxias, entre otros astros y objetos astronómicos.



**Figura 2.1.** Montaje que explica la posición relativa de la Tierra en el Universo. Comienza con su ubicación en el Sistema Solar, la de éste en la Vía Láctea, de ésta última en el Grupo Local, la posición del grupo en el Supercúmulo Local y de éste en el Universo.

La imagen de la figura 2.1 es bastante ilustrativa para responder la pregunta que encabeza este apartado ¿Dónde queda la Tierra? En ella puedes apreciar de un solo vistazo que la Tierra se encuentra en el Universo y más precisamente en una gran agrupación de galaxias llamada **Supercúmulo Local** (conocido también como Supercúmulo Virgo) en el que se encuentra, entre otros, un grupo de galaxias llamado **Grupo Local** donde, a su vez, se encuentra la **Vía Láctea**. En la Vía Láctea se localiza nuestro **Sistema Solar** formado por ocho planetas, al menos seis planetas enanos, más de 155 satélites e innumerables asteroides y cometas.

## Midiendo grandes distancias

La Tierra ocupa la tercera órbita en orden creciente a la distancia que separa del Sol a los ocho planetas que integran el Sistema Solar. Esta información es bastante conocida y utilizada con frecuencia. Pero si quisiéramos una mayor precisión podríamos señalar la distancia que separa la Tierra del Sol, que se ha determinado en 150.000.000 km, lo cual representa una distancia muy grande, difícil de dimensionar por nosotros.

### Para saber más...

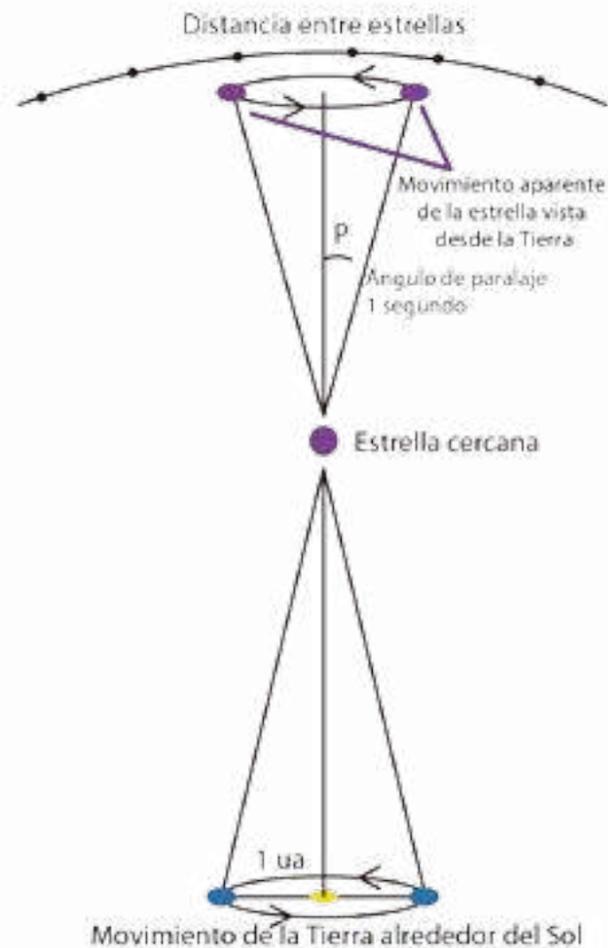
Como en la astronomía se trabaja con magnitudes enormes, para facilitar los cálculos se recurre al uso de unidades diferentes a las unidades terrestres. Es así como se propuso la **unidad astronómica** (ua) para representar la distancia existente entre la Tierra y el Sol y para emplearla como patrón de medidas de distancias entre la Tierra y otros astros. De este modo si, 1 ua equivale a 150.000.000 km entonces, Júpiter está a 5,2 ua del Sol, y la Luna a 0,0026 ua de la Tierra. Se estima que el Sistema Solar tiene un diámetro de entre 30 a 55 ua ¿Podrías calcular estas distancias en km? ¿A qué se deberá que el diámetro del Sistema Solar no tiene un valor único sino que se dan dos valores que se diferencian en unas 25 ua?

Nicolás Copérnico en 1543 fue el pionero en establecer, mediante cálculos trigonométricos –con extraordinaria precisión para su época– la distancia al Sol como patrón de medida. Además, comprobó que la Tierra y los planetas giraban en torno al Sol en su modelo heliocéntrico. Las mediciones contemporáneas utilizan sondas espaciales, radares y técnicas láser que han dado como resultado un valor para la unidad astronómica (ua) de 149.597.870 km.

Por su parte, el Sistema Solar se encuentra en una **galaxia** que es una agrupación de cientos de miles de estrellas, planetas, satélites, asteroides, cometas, nubes de polvo cósmico y gas, llamada Vía Láctea. Nuestra galaxia tiene forma de espiral y agrupa otros sistemas parecidos al Solar. La posición relativa de este en la Vía Láctea la puedes apreciar en la figura 2.2.

**Figura 2.2.** Vía Láctea y la posición relativa del Sistema Solar en uno de los cuatro brazos de esta galaxia en forma de espiral. La Vía Láctea agrupa cientos de miles de estrellas parecidas al Sol en torno a las cuales suelen girar planetas. ¿Por qué no pensar en la posibilidad de mundos habitados como el nuestro?





Si queremos saber a qué distancia se encuentra la Tierra del centro de la Vía Láctea es necesario reconocer que, más allá del ámbito del Sistema Solar, el uso de la *ua* como patrón de medida de distancias resulta inoperante, por lo que la astronomía ha recurrido a otras unidades: el **año-luz** (a.l. o ly por sus siglas en inglés) y el **pársec** (pc).

En el caso del año-luz, debemos tener en cuenta que la velocidad de la luz es de 300.000 km/s, así podemos calcular la distancia que recorre la luz en 1 año, es decir  $9,46 \times 10^{12}$  km. El año-luz representa unas 63.241 ua. Es muy importante que observes que el año-luz es un patrón para medir la magnitud física longitud en términos del espacio-tiempo.

**Figura 2.3.** Un pársec es la distancia desde la Tierra a un cuerpo astronómico que tiene un paralaje cuyo ángulo es de 1 segundo. El pársec equivale a  $30,8 \times 10^{12}$  km; 3,6 a.l. y 206.000 ua. La palabra pársec proviene de la abreviatura de **paralaje** y **second** (segundo en inglés).

Por su parte, el pársec (pc) es una unidad de distancias que está relacionada con la unidad astronómica (ua). Para determinar su valor se emplea un método basado en cálculos trigonométricos llamado **paralaje**. De acuerdo con este método, 1 pársec equivale a la distancia en la que dos cuerpos estelares separados por 1 ua, están a su vez separados de otro astro por un ángulo de 1 segundo (ver figura 2.3)

De este modo, podemos ahora responder sobre la distancia desde la Tierra al núcleo de la Vía Láctea: de acuerdo con las mediciones efectuadas hasta el momento, se calcula que es de 27.700 años-luz y en pársec son 8.500 pc, lo cual representa una distancia sumamente grande para la escala humana. El sentido de darte a conocer estos datos no es para memorizarlos, por el contrario, lo que pretendemos es que puedas ir comprendiendo la vastedad del Universo, ámbito en el que se localiza nuestro planeta, y cómo la astronomía y otras ciencias del espacio utilizan sistemas de referencia que se adaptan a las singularidades de un lugar tan inmenso y complejo como el Universo.

Tomando en cuenta dimensiones tan grandes y si la Tierra tiene 4.600 millones de años de formación, ¿habrá llegado a ella la luz que emiten los astros que están en el límite del Universo observable? Te invitamos a seguir indagando sobre la localización de la Tierra y las dimensiones del Universo y a realizar las actividades propuestas para investigar, crear e innovar con estos saberes.

## Nuestras representaciones de la Tierra

A pesar de que la Tierra, como hemos discutido hasta aquí, ocupa un lugar minúsculo e insignificante en la inmensidad del espacio, ha sido y es el centro de interés de la humanidad desde su propio origen. Los pueblos ancestrales sabían que su existencia estaba unida al abrigo que les proporcionaba el planeta, sus prácticas sociales, religiosas y productivas estaban asociadas a la dinámica relación de la Tierra con otros astros.

El conocimiento del planeta se ha ido acumulando a lo largo de la historia en forma no lineal. En ocasiones se han superado explicaciones, tenidas como satisfactorias, para ser sustituidas por nuevo conocimiento que echa por tierra a los anteriores. De la misma forma, se han ido cambiando también las representaciones que se tienen de la Tierra.

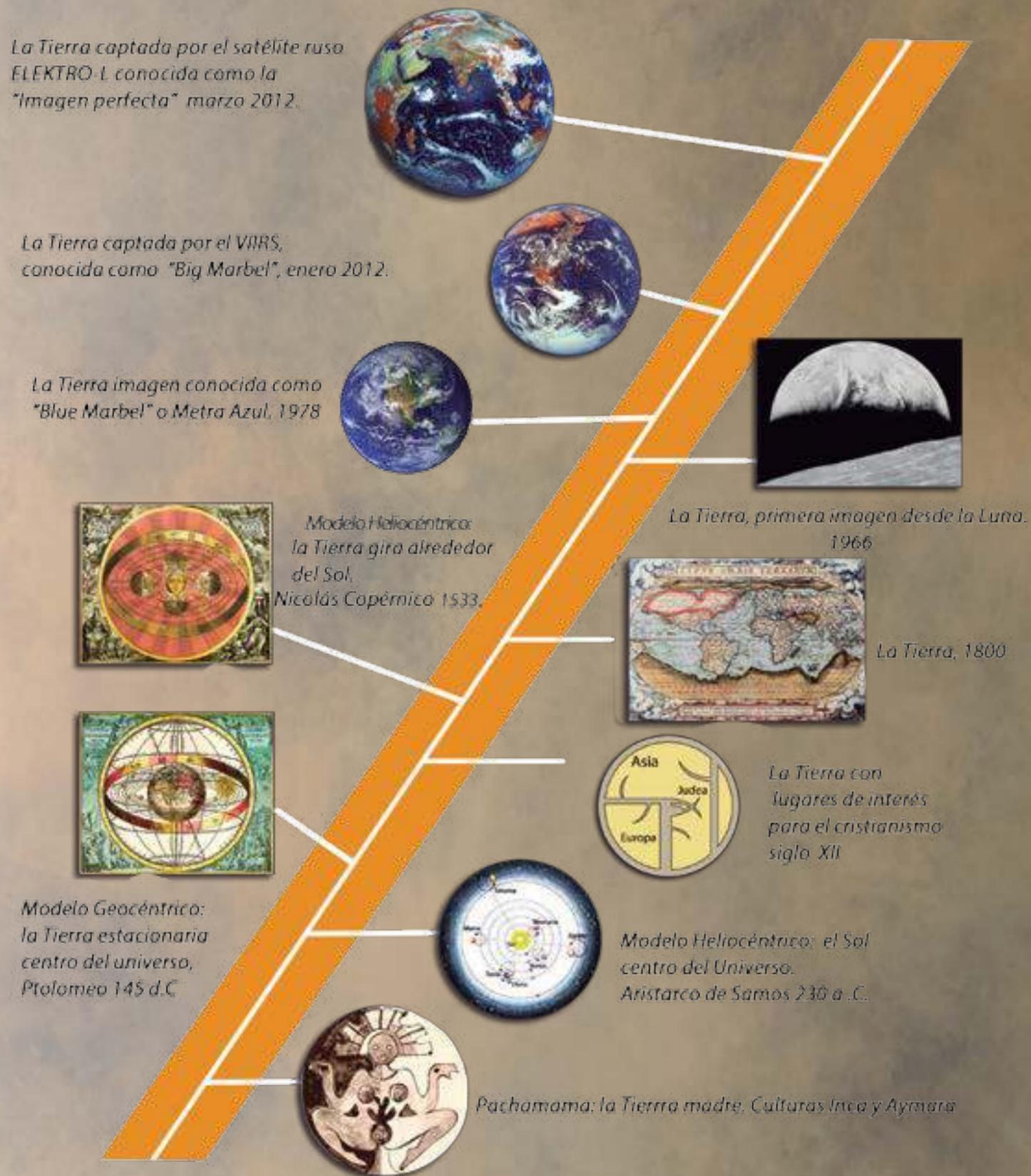
En la figura 2.4 preparamos una línea del tiempo con unas pocas representaciones de la Tierra a lo largo de la historia de las civilizaciones, en ella podrás apreciar cuán antigua ha sido la necesidad de disponer de explicaciones para el hogar de la especie humana. Aunque esta línea del tiempo no tiene pretensiones de ser exhaustiva, puede resultar de utilidad para apreciar cómo han cambiado las explicaciones dadas al mundo que habitamos por pensadores, geómetras, astrónomos, cartógrafos y, en general, científicos y científicas de las Ciencias de la Tierra y el Espacio.

Al observar la figura 2.4 piensa en las razones que pueden haber motivado la permanencia de algunas de las representaciones durante siglos y contrasta la rapidez actual con la que se superan unas imágenes con respecto a otras. En el siglo XX y el actual siglo XXI hemos presenciado una verdadera revolución en términos del avance del conocimiento astronómico y de nuestro planeta.

**La astronomía** es la más antigua de las ciencias; sus orígenes están asociados con prácticas religiosas y mitológicas de las civilizaciones remotas. Desde sus inicios, la astronomía ha empleado **la observación** y **la modelización** como métodos para investigar los movimientos de los astros y sus comportamientos periódicos.

El avance científico-tecnológico ha permitido el refinamiento de técnicas, la creación e innovación de dispositivos con mayor resolución y sensibilidad, que extienden la capacidad humana para observar objetos muy lejanos que emiten radiaciones no perceptibles a simple vista. La historia de la astronomía es un excelente ejemplo de la creatividad y el ingenio de la especie humana para resolver problemas complejos y asumir desafíos propios de cada momento histórico.

Como puedes darte cuenta, las visiones que tenemos de la Tierra son cada vez más nítidas y se superan día a día. Para lograrlo, la investigación científico-tecnológica ha tenido un papel fundamental, no sólo para explorar el espacio, sino también para avistar a nuestro planeta. Estos logros se han alcanzado con la integración de muchas disciplinas científicas y empleando diferentes instrumentos de observación y modelización, como cálculos teóricos, simulaciones, satélites, transbordadores, telescopios terrestres, observatorios espaciales y sondas robóticas. También gracias a los riesgos y arrojó que han supuesto los viajes espaciales tripulados.



**Figura 2.4.** Línea del tiempo con imágenes de algunas representaciones de la Tierra a lo largo de la historia. El proceso no lineal de avances y retrocesos de las representaciones de la Tierra marcha tras la búsqueda de explicaciones cada vez más potentes acerca de cómo es y funciona la Tierra.

Los resultados de esta investigación –a pesar que muchas veces no lo percibamos del todo– tienen gran impacto en nuestra vida diaria. El cuerpo de conocimientos que hoy forman parte de las Ciencias de la Tierra y del Espacio desde tiempos muy remotos se viene empleando en la agricultura, la navegación, la arquitectura, el pronóstico del tiempo meteorológico y el estudio del clima. Hoy día, estos conocimientos tienen un enorme impacto en nuestra vida aunque no nos resulte apreciable, y son significativamente más potentes. Algunos ejemplos los tenemos en:

- Los **sistemas de referencia posicional**: cada vez se logra mayor precisión en la localización de cualquier objeto, desde un satélite ubicado en el espacio extraterreno, un avión en movimiento, un vehículo extraviado, los linderos de una parcela... y hasta nosotros mismos. Muchos de los teléfonos celulares ya incluyen GPS para saber la ubicación de quien los usa.
- Las **telecomunicaciones**: las comunicaciones satelitales, transmisión de voz, video y datos a través de los servicios de conexión a TV, radio, Internet, telefonía, entre otras señales, se han incrementado facilitando enormemente la interconexión de estaciones en red ubicadas en regiones remotas y para el intercambio de información de todo tipo entre ellas (telemedicina, teledetección, teleeducación, entre otras). En los últimos 15 años, la comunidad usuaria de comunicación móvil emplea facilidades que se han ampliado de una manera notable.
- Los **sistemas de vigilancia y monitoreo**: el establecimiento de plataformas satelitales que facilitan la observación territorial, procesamiento y monitoreo de imágenes para la planificación y toma de decisiones en diversos campos como estudios climatológicos, agrícolas, ambientales, sismológicos, de resguardo fronterizo y defensa, entre otros. El desarrollo de dispositivos para la detección y procesamiento de imágenes ha llegado a nuestras manos muy rápidamente en las cámaras fotográficas digitales y en nuestros teléfonos celulares.

Valga la ocasión para poner de relieve que estos avances no son exclusivos de unos pocos países. En el nuestro existe un decidido esfuerzo y una política de Estado que promueve el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación para poner los conocimientos al servicio de la gente (ver figura 2.5).

**Para saber más...**

El 26 de noviembre de 2011 despegaron tres cohetes sonda diseñados y construidos en el país con el objetivo de realizar mediciones meteorológicas, observación y monitoreo supersónico desde la alta atmósfera.

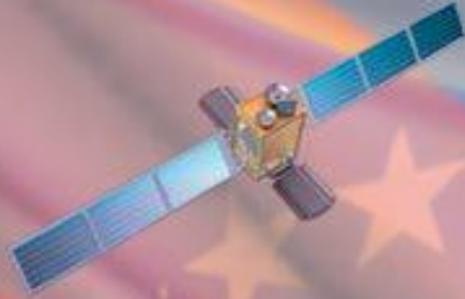


Este lanzamiento forma parte del Proyecto Cohete Sonda ULA del Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio de la Universidad de Los Andes. Con esta prueba se logró por primera vez alcanzar la ionósfera con un artefacto venezolano, lo cual es importante para la seguridad y defensa del país.

## Simón Bolívar y Francisco de Miranda nos guían desde el cielo

### Satélite Simón Bolívar, 2008

Satélite geoestacionario a 37.876 km, que apoya las redes de telecomunicación convencional y no convencional.



### Satélite Francisco de Miranda, 2012

Satélite de órbita baja a 678 km, para la observación del territorio y obtención de imágenes en diferentes ámbitos de la investigación.



Estación terrena de control satelital "Manuel Rios". Bamarí, edo. Guárico.

**Figura 2.5.** La observación de la Tierra desde plataformas espaciales comprende un conjunto de tecnologías para el estudio de procesos y fenómenos naturales o antrópicos de la superficie del planeta. La observación satelital permite obtener información de diversas coberturas terrestres de forma continua y en tiempo real, para el estudio de los sistemas terrestres y su impacto en las actividades humanas.

## Pero... ¡Nos queda mucho por conocer!

El avance del conocimiento científico no es lineal, entre otras razones porque no sólo requiere conocer el funcionamiento de la naturaleza hoy, sino que exige también conocer el pasado. Para la ciencia, el pasado y el presente constituyen la llave para pronosticar el futuro. En el caso de las Ciencias de la Tierra, la reconstrucción del pasado del planeta entraña diversos desafíos y complejidades: las condiciones de hoy son completamente diferentes a las que existieron en el pasado, porque la Tierra ha cambiado mucho desde su origen; y porque el desarrollo de la vida y la diseminación de la especie humana –aunque abarcan un brevísimo instante en la larga historia de la Tierra– han hecho un intenso trabajo de transformación de las condiciones originarias del planeta.

Este devenir no lineal también está asociado al hecho de que la ciencia a veces debe dar marcha atrás al retomar viejas explicaciones caídas en desuso. Esta situación se comprende en la medida que nos damos cuenta de que a veces el ingenio humano da saltos significativos en sus explicaciones, que no vienen acompañados de los medios para reunir evidencias que los comprueben. Cuando se disponen de nuevos métodos, técnicas e instrumentos puede ocurrir que algunas explicaciones desechadas con antelación, tengan que ser retomadas porque se encuentran nuevas evidencias que obligan a rescatar su punto de vista. ¿Se te ocurre algún ejemplo para ilustrar un caso semejante?

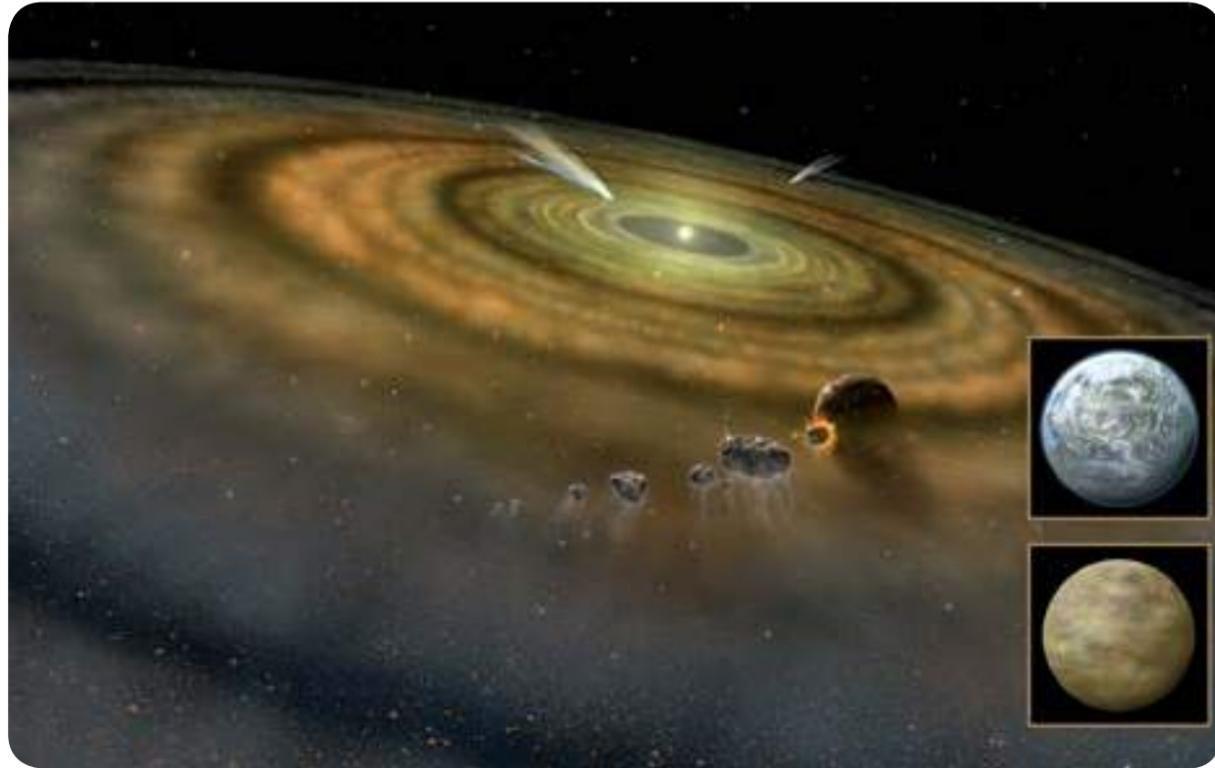
### Para saber más...

Se dice que Galileo Galilei pronunció la frase "Y sin embargo se mueve" cuando, bajo juramento, se vio obligado a negar su visión heliocéntrica en un juicio ante la Santa Inquisición en 1633. Galilei se basaba en observaciones con telescopios hechos por él mismo. Coincidió con las ideas de Copérnico, prohibidas por la Iglesia por contradecir las sagradas escrituras y la postura aristotélica ampliamente aceptada en su época. Más tarde la observación astronómica con equipos más sofisticados ratifica las ideas de Galileo, aunque él no estuviera ya para saberlo.

Un buen ejemplo para apreciar el recorrido seguido para generar conocimiento, es la búsqueda de respuestas acerca de cómo se formó la Tierra, el Sistema Solar, las galaxias y el Universo. Estas preguntas han acompañado las clásicas interrogantes de la especie humana: ¿Quiénes somos? ¿De dónde venimos? ¿Qué o quién nos creó?

La observación astronómica de cuerpos estelares parece estar cargada de respuestas para explicar cómo se formó nuestro planeta, el Sistema Solar y el Universo. Guiados por la pregunta: ¿se estarán formando astros en la actualidad en el Universo?, hoy ha sido posible observar estrellas que, por sus comportamientos, parecen estar sometidas a procesos intensos de formación de otros cuerpos a su alrededor muy similares a la configuración del Sistema Solar.

Un ejemplo lo constituye la observación de la estrella Beta Pictoris ( $\beta$  Pic) a 63 años-luz de la Tierra, que parece poseer un **disco protoplanetario**, es decir, de planetas en formación (ver figura 2.6). La luz que nos llega de ese astro está permitiendo desde la fecha de su descubrimiento en 1984, reconstruir su historia y, a la vez, la probable historia de nuestro Sol y de todo el Sistema Solar.



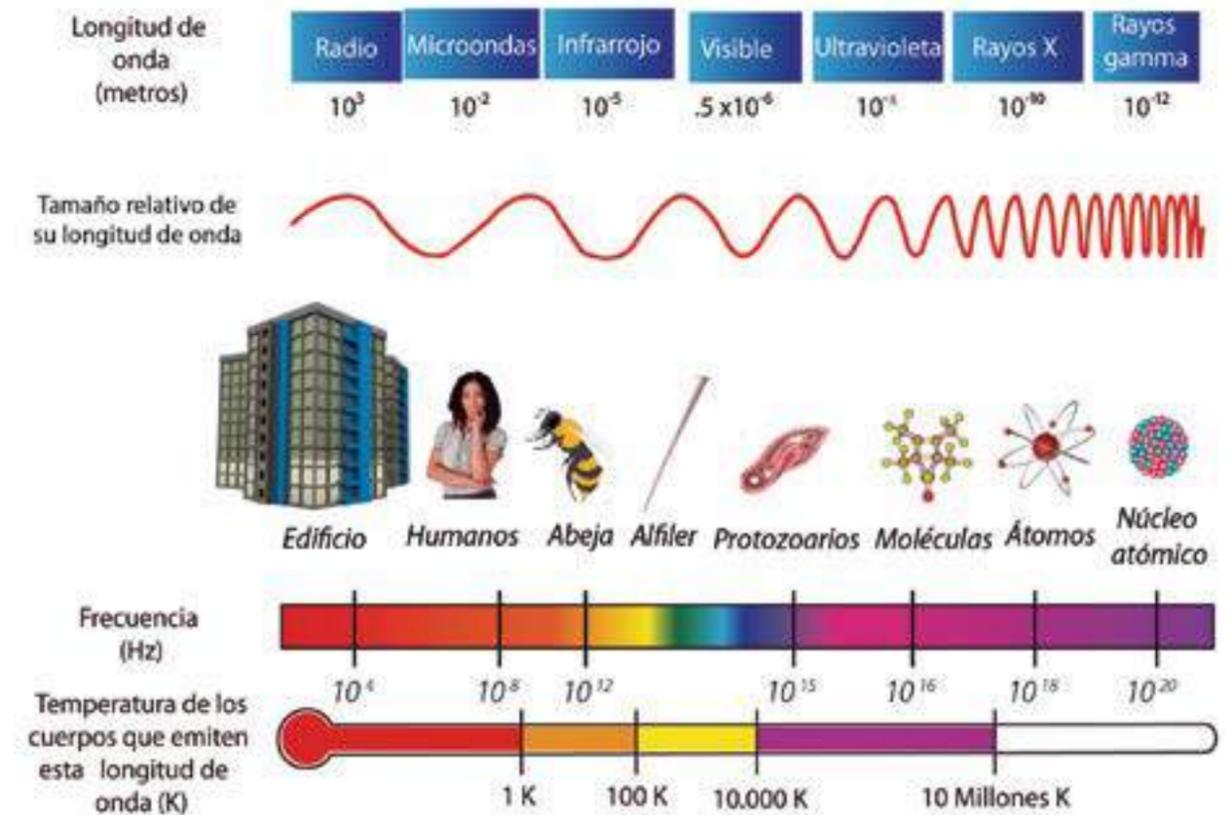
**Figura 2.6.** Representación artística basada en los datos astronómicos del disco de la estrella  $\beta$  Pic en el centro y con su protoplaneta que está siendo impactado por meteoritos y asteroides. En el recuadro de la derecha se representa en detalle este planeta masivo, suponiendo que en estos choques se enriquezca con el agua que presuntamente contienen estos fragmentos que lo impactan. Sobre él se ha colocado a la luna en otro recuadro. ¿Observas algún parecido entre ambos astros. Fuente: NASA.

Pues así es como la investigación astronómica, aunque no exenta de controversias y puntos de vista opuestos, está ayudando a obtener en los últimos 50 años avances espectaculares en lo que sabemos del pasado y del origen del cosmos, especialmente mediante la observación astronómica desde la Tierra, desde el espacio y además, de lo que nos llega proveniente del espacio. Pero, ¿qué recibimos desde el espacio?

No sólo nos llega **luz visible**, es decir, luz que el ojo humano puede apreciar. En realidad, recibimos radiación muy diversa que corresponde a todo el **espectro electromagnético**. En la figura 2.7 ilustramos dicho espectro con información de interés para comprender lo que se analiza en la observación de las radiaciones que emiten los astros.

El análisis de estas radiaciones que nos llegan desde el espacio, ofrece mucha información sobre los astros, su composición química, temperatura, velocidad con la que se mueven y alejan, distancia a la Tierra, entre otras que pueden servir para explicar su formación, edad o grado de evolución y su posible colapso.

## EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



**Figura 2.7.** Espectro electromagnético constituido por radiaciones de radio, microondas, infrarroja, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Esta ilustración se lee verticalmente de forma que puedes apreciar en cada caso, la longitud de onda (absoluta y relativa), la frecuencia y el rango de temperatura de los cuerpos que la emiten.

Sin embargo, la atmósfera actúa como filtro para algunas de estas radiaciones, por tal motivo los **radiotelescopios** –que es como se llaman los instrumentos empleados para observar tales radiaciones– deben colocarse a gran altura en montañas, alejados de la influencia de la iluminación de ciudades, en satélites que orbitan la Tierra y otros que viajan por el espacio exterior como los famosos telescopios Hubble y Fermi, que son verdaderos observatorios espaciales.

### Para saber más...

En la población de Llano del Hato en el estado Mérida, tenemos un observatorio a 3.600 metros de altura sobre el nivel del mar, lo que lo convierte en uno de los más altos del mundo. Allí funciona el Centro de Investigaciones de Astronomía Francisco J. Duarte (CIDA).

Adicionalmente, la investigación no sólo se ha ceñido a la observación que hasta aquí hemos descrito, también se complementa con los viajes espaciales tripulados o no y la recolección de muestras, como se ha hecho desde el primer viaje espacial con el Sputnik; en la Luna con los programas Apolo y Soyuz; los transbordadores espaciales como el Columbia y el Challenger (ambos siniestrados con la pérdida de toda su tripulación); el establecimiento de estaciones espaciales como la estación MIR y la Estación Espacial Internacional; el lanzamiento de sondas exploratorias a Marte, Mercurio, Venus, Saturno y Júpiter con robots que se encargan de explorar la superficie de estos astros como Opportunity, Spirit y más recientemente Curiosity (ver figura 2.8) que es un laboratorio rodante que se posó en la superficie de Marte, en agosto de 2012. Si no conoces esta misión te recomendamos visitar el siguiente enlace donde puedes consultar mucha información interesante sobre esta misión y seguir las imágenes que envía este vehículo, dotado

de instrumentos para investigar la existencia de vida en Marte.<http://mars.jpl.nasa.gov/msl/participate>.

Te recomendamos ver el video del aterrizaje del robot en la superficie del planeta, para que veas imágenes reales y las compares con imágenes de películas de ciencia-ficción.



**Figura 2.8.** Recreación artística de Curiosity en Marte. En ella se aprecian tres de sus cámaras instaladas en lo que se asemeja a una especie de cabeza de un solo ojo. Observa las huellas que deja en su recorrido ¿Serán esas las primeras dejadas por algún vehículo que se haya desplazado sobre la superficie de Marte?

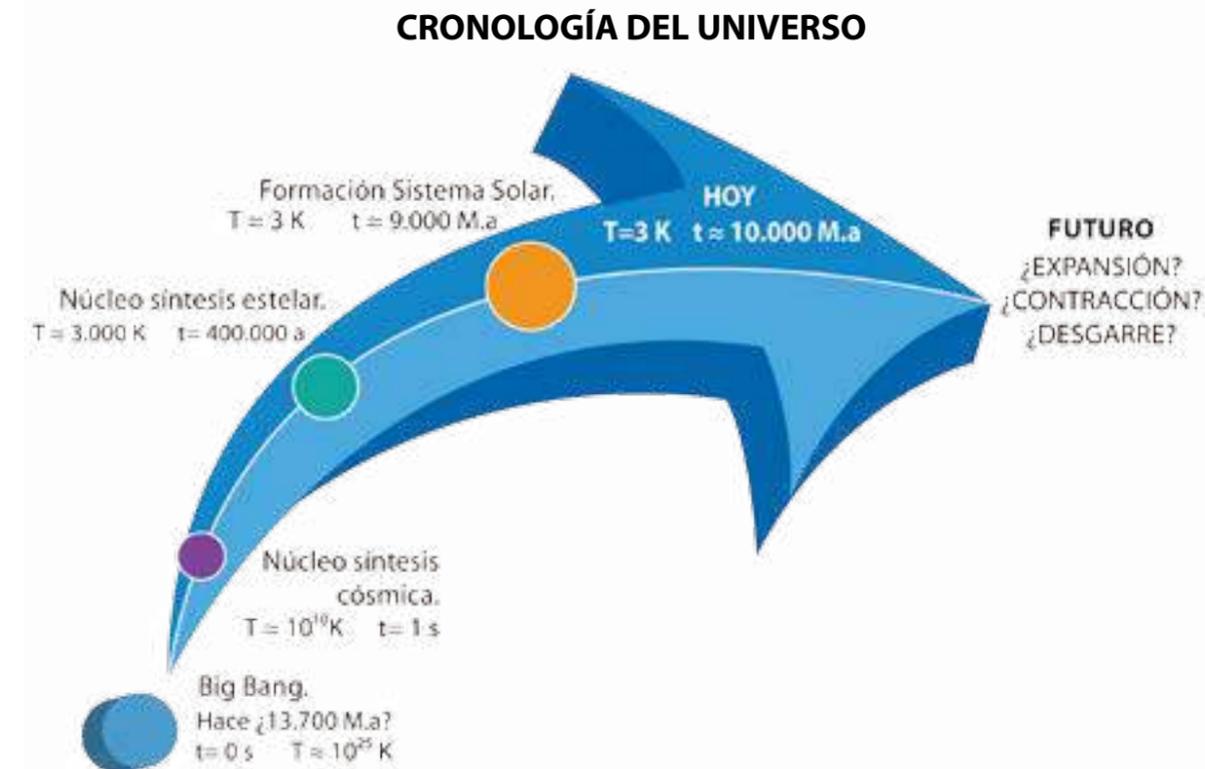
El nombre de Curiosity nos habla de la curiosidad que ha caracterizado la actividad permanente de indagación de la especie humana, también nos recuerda su imaginación sin límite para visualizar realidades futuras y buscar soluciones a través de respuestas sorprendentes. Siguiendo esta idea, nos resta por mencionar otra fuente de información del espacio que ha sido retomada de una manera renovada, apoyada con los conocimientos, con el instrumental y con técnicas más refinadas y precisas de hoy. Se trata del estudio de **meteoritos** que han caído en la superficie de la Tierra.

En la actualidad, la investigación de los meteoritos es una frontera de la ciencia que está arrojando interesantes hallazgos porque se han revalorado –no ya como amenaza– sino como restos que poseen las huellas de la más temprana formación del Sistema Solar y como muestras de la materia común que originó todos sus componentes. Por tanto, la historia inicial de la Tierra puede inferirse del estudio de los meteoritos, los cuales se formaron al mismo tiempo que ella.

Con esta apretada síntesis que hemos hecho hasta aquí, podrás apreciar que es mucho lo que se ha avanzado en la comprensión de los mecanismos que desencadenaron la formación del Universo, de sus astros y su actual desarrollo. Pero también podrás ver que nuestro conocimiento es todavía incompleto. Hasta el momento no existe un modelo físico que, por sí solo, explique y prediga las características, fenómenos y hechos que se han ido obteniendo. La mayoría de las veces cuando se encuentra una respuesta que parece explicarlos, se generan nuevas preguntas inquietantes. Algunas hipótesis de trabajo logran explicar comportamientos y regularidades de los objetos estelares, pero frente a otras se quedan sin respuestas. Parece que el camino futuro nos deparará nuevas sorpresas entre las que podría estar la unificación de algunas de estas hipótesis, e incluso, el olvido de otras que se quedarán en el camino.

## Reconstruyendo el pasado

Demos un breve recorrido a algunas de las explicaciones vigentes para la formación del Universo, entendiendo que todas ellas aún tienen un carácter tentativo, aunque en general, gozan de aceptación por parte de la comunidad científica. Para ello nos basaremos en la síntesis gráfica que te presentamos en la figura 2.9 donde se incluyen los grandes procesos que facilitan la reconstrucción de origen del Universo. Más adelante nos detendremos un poco más en los acontecimientos ocurridos para la formación del Sistema Solar y, por supuesto, para el origen de la Tierra.



**Figura 2.9.** Cronología del Universo. En esta ilustración se indican los grandes hitos ocurridos en la evolución del Universo desde su origen en un diminuto punto en el espacio, hasta nuestros días. Se plantean además las interrogantes sobre su destino futuro ¿Continuará expandiéndose, se contraerá o se desgarrará en tiras?

## ¿Fue un gran estallido?

Todavía hay mucha discusión para establecer qué desencadenó la génesis del Universo, si fue una gran explosión o si, por el contrario, no hubo tal estallido. Lo que sí tiene consenso en la comunidad científica es que el modelo teórico del *Big Bang*, es el que mejor explica ese momento primigenio. Según esta teoría –construida con el aporte de innumerables científicas y científicos– el Universo está en expansión y en su génesis debió estar concentrado en un diminuto punto muy denso llamado **singularidad**.

Para ejemplificar esta explicación, pensemos en una jugada polémica de un partido que estamos viendo por TV; si queremos saber si el árbitro tomó la decisión correcta, se observa la repetición, devolviendo las acciones hasta el punto en que se inicia la jugada. Así podrás ver a los jugadores retrocediendo en sus movimientos y posiciones desde el desenlace de la jugada hasta el momento inicial que la desencadena. De forma análoga, podríamos decir que se ha “retrocedido la película” a partir de la imagen que tenemos del Universo visible de hoy en plena expansión. En este “retroceso” no quedan dudas de que si el Universo se expande actualmente, debió ser muy pequeño antes, ¿Cuánto más pequeño? Probablemente más pequeño que un átomo o que una partícula subatómica, pero muy masivo y denso; un punto de gravedad pura, donde las dimensiones espacio-tiempo no se pueden determinar, las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (la electromagnética, la gravitacional, la nuclear fuerte y la débil) estaban unificadas en una sola interacción y es esto a lo que se llama **singularidad espacio-temporal**.

Hay evidencias concretas de que el Universo está en expansión, porque se ha medido el desplazamiento (constante de Hubble) de las galaxias con respecto a la Tierra; se ha comprobado que esa expansión es acelerada e incluso se ha detectado una especie de “ruido” que parece provenir del estallido inicial, llamado **radiación del fondo cósmico**. El análisis de esta emisión condujo a determinar que se trata de señales con una longitud de onda correspondiente a microondas, que están presentes en todo el Universo visible, bastante homogéneas e independientes de la dirección en que se mida, lo cual confirma lo planteado por la Teoría del *Big Bang*, según la cual el Universo se generó de un cuerpo oscuro, muy denso, con temperaturas propias de una alta energía.

Utilicemos una analogía. Pensemos en los fuegos artificiales o juegos pirotécnicos que seguramente has visto alguna vez. Parece increíble que un cartucho tan pequeño pueda llegar a producir una explosión tan vistosa como las que se aprecian en la figura 2.10. Nuestra experiencia como observadores de tales explosivos, nos dice que al explotar primero vemos la luz y luego escuchamos la detonación. Este ejemplo puede servir para explicar a partir de una experiencia cotidiana, cómo pudo ocurrir el *Big Bang*.



*Figura 2.10. Exhibición de fuegos artificiales que podemos usar como analogía para aproximarnos a un fenómeno como el Big Bang. Las leyes de la relatividad general logran explicar parte de él, otras, sólo las leyes de lo muy pequeño o física cuántica.*

De acuerdo con la Teoría del *Big Bang*, en el tiempo cero el Universo era un diminuto punto denso y masivo, un plasma compuesto de partículas como electrones, fotones, bariones (protones y neutrones) que no se unían entre sí para formar átomos, por la alta energía a la se encontraba el plasma. En nuestro ejemplo, el tiempo cero corresponde al momento en que el cartucho se encuentra en reposo, con todo su potencial explosivo concentrado en las sustancias que reaccionarán más tarde para producir su incandescencia e iridiscencia características.

Luego ocurrió algo de lo que todavía desconocemos sus causas, pero que logró activar el plasma y comenzó la liberación de la alta energía concentrada, lo que en nuestro ejemplo equivale al encendido de la mecha del dispositivo pirotécnico.

Enseguida, se produjo la inflación o expansión exponencial y acelerada del Universo primitivo (se estima que a los  $10^{-42}$  s del *Big Bang*) este fenómeno ultra rápido es lo que, en nuestro ejemplo, se corresponde con la combustión, la excitación y la emisión de fotones de los compuestos químicos que forman el detonante, lo cual a nuestra vista se convierte en una esfera de luces de colores.

Por último, nuestro ejemplo del fuego artificial nos sirve para mostrar lo que quedó luego del estallido: las luces incandescentes desaparecen, subsisten los restos de la explosión como humo, gases, fragmentos del material detonado y el sonido de la explosión que nos llega con un cierto retraso, retumbando en el aire y en nuestros oídos.

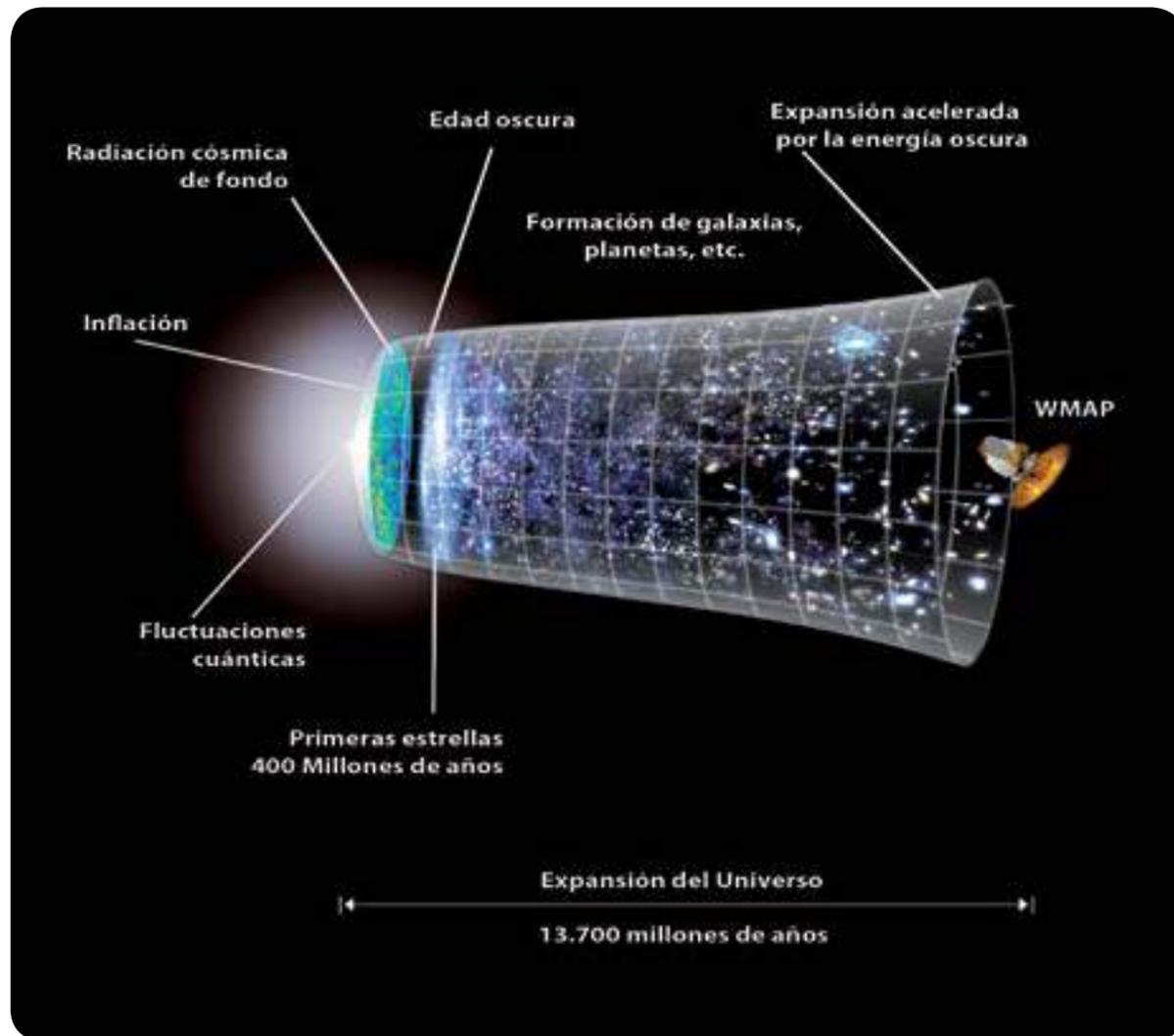
En el caso de la Teoría del *Big Bang*, este momento se corresponde con el descenso progresivo de las temperaturas del Universo primigenio; cuando las partículas elementales o **quarks** hacen la transición a **hadrones** y éstos constituyen los protones y electrones que se enfriaron suficientemente, pudiendo interactuar entre sí para formar núcleos atómicos; se habían diferenciado las cuatro fuerzas de la naturaleza y se formó la materia cósmica inicial constituida por núcleos (protones y neutrones) de los elementos livianos. A esto es a lo que se llama **núcleo-síntesis cosmológica**.

Los fragmentos de materia, el humo, el polvo y los gases de nuestra explosión artificial, se asemejan a la materia estelar que va a constituir más adelante las galaxias, es el equivalente a la **núcleo-síntesis estelar**, que en el Universo se produce por la fusión nuclear de los elementos livianos formados inicialmente en la núcleo-síntesis cosmológica.

El olor a pólvora que percibimos luego de la explosión del fuego artificial, se puede comparar con la **materia oscura** del Universo. La pólvora es algo que no vemos, pero sabemos que está allí y podríamos hasta aventurarnos a decir que tanta luz nos brindará el explosivo, como olor a pólvora tendremos que soportar. Por su parte, la materia oscura que forma parte fundamental de la Teoría del *Big Bang*, parece ser una forma de materia que no vemos, pero que –con base en los cálculos experimentales de la masa de las galaxias y su movimiento– se sugiere que existe un estimado que en el Universo hay mucha más materia de la que podemos ver.

Por último, el sonido de la explosión pirotécnica que llega después de su luz, lo podemos equiparar con la radiación del fondo cósmico que aún subsiste y se ha distribuido bastante uniformemente por el Universo visible.

Nuestra explosión pirotécnica dura unos cuantos segundos; la Teoría del *Big Bang* hasta ahora ha logrado explicar el tiempo transcurrido desde el estallido inicial, que se estima en aproximadamente 13.700 M.a. La figura 2.11. muestra al Universo en expansión de acuerdo con los datos obtenidos por la sonda espacial WMAP.



**Figura 2.11.** Evolución espacio-temporal del Universo. Fuente: NASA. Theophilus Britt Griswold – WMAP Science Team. Copyleft

La investigación cosmológica no cesa y se aventura a explicar qué sucederá más adelante tratando de responder a las preguntas sobre la expansión, contracción o desgarramiento del Universo en el futuro. Esta es la historia a muy grandes rasgos del Universo, historia que tiene aún muchos pasajes oscuros y es todavía bastante incierta, pero, sin duda, apasionante. Te invitamos a conocer más acerca de ella y a estar pendiente del desarrollo de los acontecimientos sobre nuevos hallazgos, nuevas preguntas y nuevas sorpresas. Pero con lo que hemos relatado hasta aquí, no hemos logrado responder la pregunta sobre el origen del planeta. Continuemos en esa dirección para relatar cuánto se ha avanzado sobre este tema.

## La historia común de la Vía Láctea, el Sistema Solar y la Tierra

Uno de los principios fundamentales de las Ciencias de la Tierra consiste en indicar que **el presente es la clave del pasado** también conocido como método del **actualismo**, según el cual es posible deducir las condiciones del pasado a partir de las comparaciones con los procesos y fenómenos que ocurren en el presente en la Tierra. Este mismo principio, aplicado al Universo y a todos los cuerpos que lo componen, ha resultado particularmente útil en la reconstrucción de sus procesos de formación.

Ya relatamos el ejemplo de la observación de la estrella Beta Pictoris, cuya radiación nos cuenta la historia sobre la génesis de un disco protoplanetario. La observación estelar no se ha detenido y es por eso que se ha ido acumulando mucha información sobre fenómenos que están ocurriendo en las distancias astronómicas, que permiten inferir lo que pudo ocurrir en el pasado durante la formación de la Vía Láctea, el Sistema Solar y la Tierra.

Las teorías de la evolución del Universo suponen que este partió de un espacio homogéneo e isotrópico que devino –por una razón aún desconocida– en un espacio en el que se formaron “grumos” o heterogeneidades donde la materia era más densa que en el resto de las regiones. Se cree que cada zona grumosa y más densa, se contrajo debido a la fuerza gravitacional en función a su masa y esta atracción hizo que se generara una condensación de materia, que dio como resultado la formación de una galaxia. La observación astronómica da cuenta de cientos de miles de galaxias y de ser esta explicación cierta, los grumos o heterogeneidades fueron muchísimas, por tanto, el Universo primitivo o no era tan homogéneo, o si lo era; no se ha encontrado el motivo por el cual se produjeron esas grandes condensaciones de materia para producir el enorme número de galaxias que existen hoy.

Lo importante de esto, es que tal mecanismo pudo haber formado a nuestra galaxia, la Vía Láctea, y a nuestra estrella y principal fuente de energía, el Sol. A esta etapa de la evolución del Universo es a la que nos referíamos con el nombre de **núcleo síntesis estelar**. Ya veremos más adelante que además de explicar la condensación del núcleo de las galaxias, también es de trascendental importancia para la formación de los núcleos de elementos químicos.

De tal manera, que la historia del Universo parece marcar el ritmo de la historia de las galaxias. La Vía Láctea tiene una historia común con otras galaxias y con los astros que las componen, mientras que la génesis del Sistema Solar está aparejada a la formación de nuestra galaxia y ambas están íntimamente ligadas a la formación de nuestro planeta. La historia del cosmos parece ser un continuo de acontecimientos encadenados.

Para tener una idea global de esta interesante sucesión de acontecimientos, analiza con detenimiento las tablas 2.1 y 2.2 en las que hemos agrupado los procesos y eventos más significativos de la historia común del trío Vía Láctea-Sistema Solar-Tierra.

Grandes procesos	Acontecimientos	Teorías e hipótesis
<b>Formación de galaxias</b>	<p>Las fluctuaciones de densidad de la materia provocaron que las regiones más densas se condensaran para formar galaxias. Son las <b>protogalaxias</b>. Estas atrajeron hacia sí más materia para formar los núcleos estelares de la primera generación de estrellas: <b>protoestrellas</b>. Las galaxias son muy dinámicas, cambian constantemente, se atraen entre sí, chocan y se inflaman para formar nuevas galaxias.</p> <p>Así como se formaron los núcleos atómicos de los elementos livianos como el H, He y Li en la núcleo síntesis cosmológica por fusión nuclear y captura de partículas (neutrones y protones) se van formando los núcleos de elementos químicos más pesados desde He hasta Fe en reacciones termonucleares exotérmicas. Más allá del Fe, los núcleos atómicos se generan en reacciones endotérmicas. En la Síntesis del He hasta el Fe hay balance entre la expansión térmica de la estrella y la contracción gravitacional. Pero cuando comienzan a formarse núcleos de elementos más pesados que el Fe, este balance se rompe y la estrella colapsa. Son las <b>supernovas</b>.</p> <p>Las perturbaciones causadas por ondas de choque de las supernovas, liberan enormes cantidades de energía equivalentes a reacciones termonucleares que expulsan la materia en todas direcciones para formar nebulosas y nuevas galaxias.</p>	<p><b>Big Bang y modelo del Universo inflacionario</b></p> <p><b>Nucleosíntesis estelar</b></p> <p><b>Colapso gravitacional Supernova</b></p>
<b>Formación del Sistema Solar</b>	<p>La supernova o protoestrella que colapsó, generó una nebulosa de materia y gas, muy densa, formada por los componentes expulsados tras el colapso. La nube comenzó a girar más a prisa a medida que se contraía por la atracción gravitacional, lo que generó un <b>disco nebuloso</b>. La mayor parte de la materia se condensó por acreción, en el centro del disco, para dar origen a una estrella: el Sol. La densidad máxima se concentra en el centro del disco, en sus proximidades se estabilizan rocas y elementos pesados como el Fe y más distantes los gases expulsados por el colapso. Por acreción, la materia se fue condensando en núcleos que constituyeron los <b>planetesimales</b> o embriones de planetas. Es un <b>disco protoplanetario</b>. Comienzan las colisiones entre los planetesimales y en los choques se agregan o se fusionan para formar objetos de mayor tamaño que, al aumentar su masa, interactúan gravitacionalmente, lo que incrementa el número de choques. Unos sobreviven y aumentan su masa a expensas de otros que se destruyen. Por causa desconocida se inicia un bombardeo caótico de meteoritos que se suma a las colisiones entre planetesimales. Se van limpiando las órbitas de los planetesimales y van logrando su equilibrio hidrostático, son los planetas actuales llenos de cicatrices (cráteres) y todavía sometidos al viento solar y al bombardeo permanente.</p>	<p><b>Hipótesis nebular Kant-Laplace</b></p> <p><b>Evolución estelar.</b></p> <p><b>Acreción</b></p> <p><b>Planetesimales</b></p> <p><b>Gran bombardeo terminal</b></p>

Tabla 2.1. Grandes procesos, acontecimientos y teorías relevantes para la formación de la Vía Láctea y el Sistema Solar.

Grandes procesos	Acontecimientos	Teorías e hipótesis
<b>Formación de la Tierra y conformación de su estructura</b>	<p>La Tierra temprana es una masa rocosa indiferenciada que está sometida a la energía de acreción que comprime internamente los materiales, al viento solar junto a otras emisiones del joven Sol, y a un bombardeo intenso de meteoritos y choques contra otros planetesimales. Alcanza temperaturas que funden su materia originaria rica en metales. Por densidad los más pesados (Fe y Ni) migran al centro y la materia más liviana se dispone gradualmente hacia las zonas superiores o más externas. Se han creado así el <b>núcleo</b>, el <b>manto</b> y posteriormente la <b>corteza</b> terrestre. Se produce la diferenciación física de los materiales (por densidad) y a la par la diferenciación química (por masa atómica).</p> <p>La Tierra arcaica choca violentamente contra un cuerpo casi tan grande como ella, que logra arrancarle una porción importante que queda atrapada por su campo gravitatorio. Se ha formado la Luna con material proveniente del manto terrestre. Tierra y Luna continúan siendo sometidas al bombardeo terminal. La Luna conserva esas huellas en su superficie, en la Tierra se han ido borrando con el permanente modelado de su superficie.</p> <p>La intensa actividad volcánica a raíz de la migración del Fe parece explicar la emisión de gases hacia la superficie y la consecuente formación de una atmósfera caliente y enrarecida compuesta de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y vapor de agua. Al enfriarse, el vapor de agua se condensa y se producen las primeras lluvias ácidas que escurren hacia las zonas bajas para formar la primitiva hidrosfera cálida y ácida. Una explicación alternativa explica que la hidrosfera se formó por la captura de hielo que venía en los meteoritos del gran bombardeo terminal. Los fondos de los cráteres de la Luna también parecen tener hielo.</p> <p>El enfriamiento paulatino de la corteza origina las primeras rocas y las masas continentales arcaicas, pero como se conserva el intenso calor en el manto, la materia fundida es empujada a moverse en forma convectiva, lo que genera movilidad de los continentes y creación o destrucción del relieve.</p> <p>Se conjugan los siguientes factores para la aparición de primeras formas de vida: a) la atmósfera protectora de la radiación y del viento solar; b) ambientes acuáticos propicios que se extienden por el establecimiento del ciclo hidrológico; c) creación de nuevos relieves que a su vez crean condiciones para d) el establecimiento de microclimas y mesoclimas diferenciados. Una hipótesis alternativa propone que la vida es de origen extra terrestre y que fue sembrada por los meteoritos del bombardeo terminal.</p> <p>La vida tiene consecuencias planetarias importantes: la atmósfera se torna oxidante por el enriquecimiento de O<sub>2</sub> proveniente de la actividad vital y la captación del CO<sub>2</sub> por organismos y rocas de la corteza. El efecto invernadero que era intenso por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> se reduce y proliferan nuevas formas de vida.</p>	<p><b>Catástrofe del hierro</b></p> <p><b>Diferenciación de materiales</b></p> <p><b>Formación de la Luna</b></p> <p><b>Desgasificación</b></p> <p><b>Condensación de la hidrosfera</b></p> <p><b>Captura del hielo de meteoritos</b></p> <p><b>Tectónica de placas</b></p> <p><b>Origen de la vida: evolución prebiótica/chimeneas hidrotermales/ambas</b></p> <p><b>Panspermia</b></p> <p><b>Evolución</b></p>

Tabla 2. Grandes procesos, acontecimientos y teorías relevantes para la formación de la Tierra.

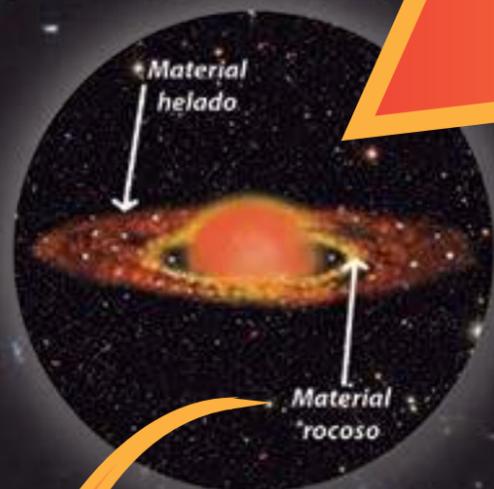
**1** Hace más de 4.600 M.a una nube de gas y polvo en la Vía Láctea se contrajo y colapsó.



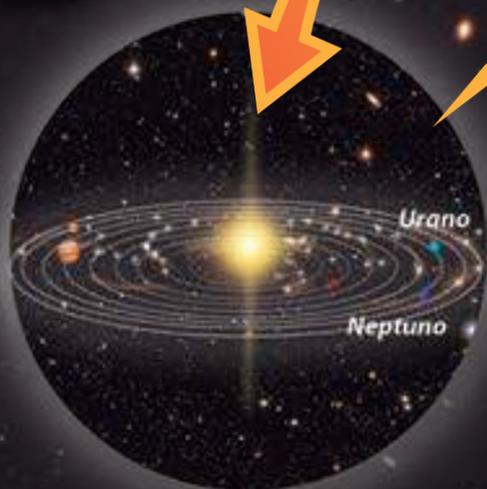
**2** Se formó un disco en rotación, en el centro se concentraba la mayor cantidad de materia. Los frecuentes choques de los materiales provocaron su calentamiento.



**3** Posteriormente, la temperatura y la presión en el centro del disco eran suficientes para lograr la fusión nuclear del hidrógeno. Había nacido una nueva estrella, el Sol.



**4** Mas adelante, se habían formado por acreción la mayor parte de los planetas que vemos hoy, rodeados por un anillo de fragmentos dispersos y helados.



**5** Varios cientos de M.a después se produjo una interacción entre Júpiter y Saturno que provocó la migración de Urano y Neptuno hacia el exterior. Esto ocasionó que el material disperso fuera lanzado en todas las direcciones, bombardeando los planetas interiores y constituyendo el cinturón de Kuiper y la nube de Oort.



Figura 2.12. La formación del Sistema Solar en forma gráfica con indicaciones del tiempo estimado para la conformación de los 8 planetas, planetas enanos, satélites, cinturón de Kuiper y Nube de Oort.

## Somos polvo cósmico

Al examinar el contenido de las tablas 2.1 y 2.2 y la figura 2.12, podrás comprender que las explicaciones aportadas para todos los procesos de formación de lo que hemos llamado nuestro vecindario, son muy complejas y exigen la incorporación e integración del conocimiento de varias disciplinas científicas. Es un claro ejemplo de lo que significan las Ciencias de la Tierra: la integración de diversos conocimientos de la astronomía, la geología, la química y la física entre otras disciplinas, para explicar, anticipar y proyectar el comportamiento de nuestro planeta ante los acontecimientos futuros en función de su dinámica actual y de sus respuestas a situaciones del pasado.

Cuando apreciamos una síntesis de acontecimientos –como las que acabamos de presentar– se suele olvidar o subestimar la dimensión temporal, lo cual puede inducirnos al error de pensar que se trata de eventos que se sucedieron en forma rápida. Si bien es cierto que se produjeron eventos catastróficos de efectos inmediatos, sus consecuencias pudieron tardar cientos de miles de años en manifestarse completamente. Asimismo, hubo acontecimientos más graduales y progresivos que tomaron miles de millones de años en desencadenar toda su potencia transformadora. El proceso de evolución Vía Láctea-Sistema Solar-Tierra se relata rápido, pero debió extenderse durante un tiempo que se estima en 10.000 M.a. equivale a 10 G.a. El tiempo de formación de nuestro planeta o edad de la Tierra se estima en 4.600 M.a. Por tal razón, podemos afirmar que la especie humana es, en realidad, una invitada reciente sobre el planeta. La Tierra pudo perdurar tenazmente sin su presencia, de forma bastante exitosa.

De la misma manera, podemos afirmar que la materia primordial, común a todas las cosas, comenzó a formarse transcurrido el primer segundo (1s) de existencia del Universo, por el brusco descenso de temperaturas de  $T \sim 1.025 \text{ K}$  a  $T \sim 1.010 \text{ K}$ .

Es bajo estas nuevas condiciones que se inicia el proceso de núcleo-síntesis permitiendo la existencia de protones y neutrones, por la fusión nuclear que se desencadena y la creación de iones de hidrógeno (1H) como materia elemental. El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el Universo, el helio ocupa el segundo lugar; ambos son constituyentes esenciales para la formación de las estrellas y de las reacciones que ocurren en ellas.

El proceso de formación de nuevos elementos continuó, la fusión nuclear del hidrógeno produjo el helio, la del helio produjo carbono, éste generó oxígeno y así sucesivamente, los elementos transmutaron en otros –bajo condiciones de reacciones termonucleares– en las antiguas estrellas y todavía esto está ocurriendo en las actuales estrellas.

Pero si esos elementos se forman en las estrellas ¿Cómo y por qué existen en la Tierra? La respuesta a esta pregunta es una de las evidencias que soportan la hipótesis de la supernova que nos dio origen. Cuando la estrella colapsa la materia estelar sale expulsada para formar las nebulosas de las cuales se crean los sistemas planetarios. Los elementos químicos formados en las estrellas madres constituyen todo lo que nos rodea e incluso la materia de la que estamos hechos nosotros mismos. Cada átomo de nuestro cuerpo provino de estrellas que colapsaron tiempo atrás. Podemos afirmar sin temor a equivocarnos que estamos hechos de materia estelar, somos polvo cósmico.



## Modelos del Sistema Solar

Vamos a construir modelos del Sistema Solar para representar algunas de sus características significativas y a reconocer las ventajas y limitaciones que estos modelos poseen.

Esta actividad tiene 3 partes, de las cuales dos se harán en el aula y la tercera afuera en los espacios exteriores del plantel.

### ¿Qué necesitan?

- Papel milimetrado y hojas blancas.
- Lápices, marcadores y creyones.
- Reglas y escuadras graduadas.
- Cinta adhesiva.
- Cinta métrica.
- Compás.

### ¿Cómo lo harán?

Traerán a la clase una tabla con la siguiente información que deben buscar con antelación. La tabla sugerida puede ser así:

Nombre del astro	Diámetro	Distancia media al Sol (Km)	Distancia media al Sol (ua)	Masa	Densidad	Número de satélites	Período de rotación	Período de traslación	Velocidad media
Sol									
Mercurio									
Venus									
La Tierra									
Marte									
Júpiter									
Saturno									
Urano									
Neptuno									

### Primera parte: construcción de gráfica del Sistema Solar

Van a representar gráficamente en papel milimetrado las distancias al Sol de los ocho planetas del Sistema Solar. Para ello, escogerán las variables a representar y las escalas más adecuadas. Trazarán la gráfica y la analizarán. ¿Cómo interpretas esta representación gráfica? ¿Te sorprende el resultado obtenido?

Recuerden que los planetas no ocupan una línea recta en su órbita alrededor del Sol. Cada uno se mueve a diferente velocidad y cambian de posición permanentemente. Pero en su gráfico están alineados. Analicen entonces las ventajas y las limitaciones de este modelo.

### Segunda parte: representación del tamaño de los planetas a escala

Tomando en cuenta que el diámetro solar es de 1.390.000 km asumirán que  $\varnothing \sim 1.400.000$  km y construirán una escala para representar este valor. Les sugerimos la escala 1:10.000.000.000 que les va a facilitar el trabajo con estas dimensiones tan grandes. Una vez que hayan decidido la escala con la que trabajarán, con ayuda del compás, tracen los círculos que representan cada astro. Usen una hoja blanca para cada astro. Identifiquen claramente el nombre del astro y comparen los resultados obtenidos en cada caso. Recuerden mantener siempre la misma escala. ¿Tuvieron alguna dificultad para representar algunos de ellos? ¿Esta representación coincide con las ideas que tenían sobre el tamaño de los planetas? ¿Cuáles son los planetas más grandes y cuáles los más pequeños?

Ahora escriban en cada hoja donde representaron los astros, los datos de la tabla preparada con antelación para cada uno de los astros. Establezcan relaciones entre el tamaño, la densidad, la masa, la velocidad de traslación, la duración de los movimientos de traslación y rotación y el número de satélites. ¿Se imaginan de qué tamaño serán algunos de esos satélites? ¿Podríamos representarlos en el papel fácilmente usando la misma escala?

### Tercera parte: modelización de las distancias interplanetarias del Sistema Solar

Saldrán al patio o a los espacios exteriores del plantel para ubicar la posición relativa del Sol y los ocho planetas. Antes de salir construyan una tabla con las distancia entre el Sol y los planetas como la que proponemos más adelante. Recomendamos usar la escala 1: 10.000.000.000. Utilizarán el patrón 1 metro=1 paso, como unidad de medidas. Por tanto, si utilizan la escala que les hemos recomendado, cada 1 metro será equivalente a 1 paso y ambos representarán una distancia de 10.000.000 km.

Escojan a una de las personas que integran su grupo como medidor de pasos, se pueden ayudar con una cinta métrica para garantizar una mayor precisión. Seleccionen la ubicación que le darán al Sol (en un extremo del espacio disponible) y comiencen a ubicar los planetas. Marquen la posición con tiza o alguna marca en el piso y asignen una persona para personificar cada astro. Identifíquenlos, en forma visible.

Tabla sugerida

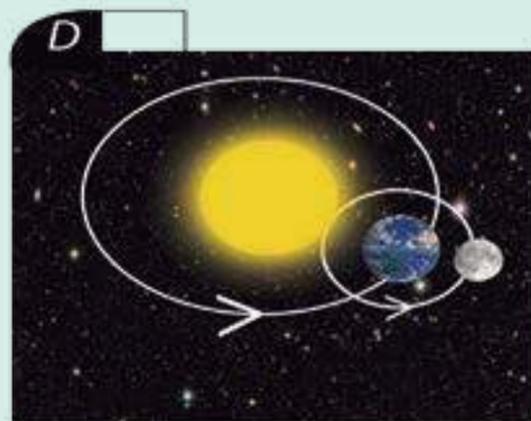
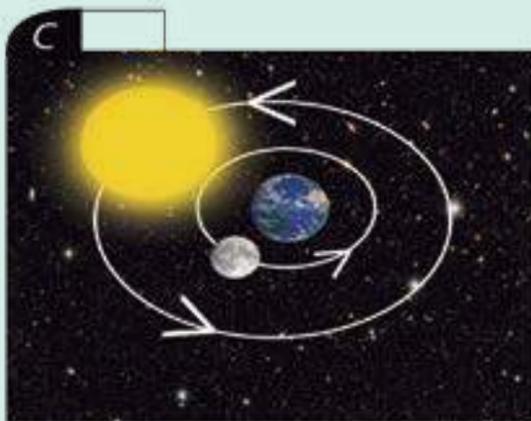
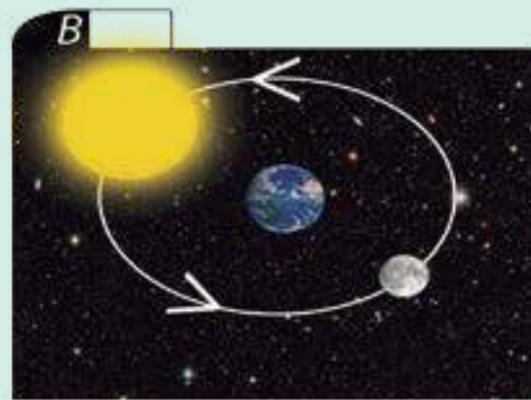
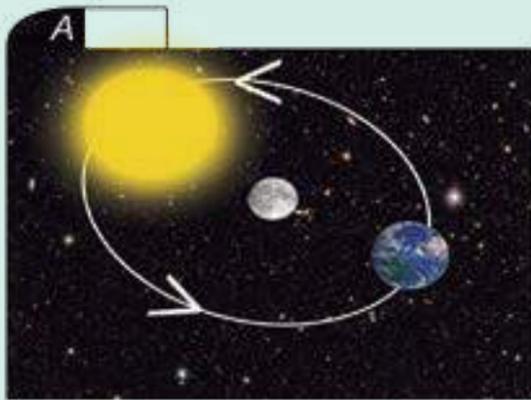
Distancia entre:	En km	En pasos o metros	Distancia total al Sol en pasos o metros
El Sol y Mercurio			
Mercurio y Venus			
Venus y la Tierra			
La Tierra y Marte			
Marte y Júpiter			
Júpiter y Saturno			
Saturno y Urano			
Urano y Neptuno			

Una vez que hayan concluido la ubicación de todos los astros y las personas que los representan, si tienen el espacio suficiente comiencen a trasladarse alrededor del Sol. Díganle a la persona que representa a la Tierra que avise cuando alguno de los astros anteriores (Mercurio y Venus) pasan por delante del Sol y coinciden con su posición. El movimiento debe tratar de "parecerse" a la velocidad relativa del movimiento de traslación que ya conocen, de modo que unos planetas se moverán más rápido que otros. Propongan soluciones para tratar de representar este parámetro en su modelo. Plantéense preguntas y traten de responderlas usando este modelo. Por último, resuelvan el siguiente problema: Si las naves espaciales recorren 3 cm cada hora de acuerdo con un modelo a escala semejante a la utilizada, calculen el tiempo que les llevaría llegar a cada astro. Analicen sus respuestas y reflexionen acerca de qué otras variables deberían considerarse para responder este problema.



## Actividades de autoevaluación

1.- Escoge el gráfico que mejor represente las posiciones relativas y el movimiento del Sol, la Tierra y la Luna.



2.- La Panspermia es una hipótesis que explica el origen de la vida en la Tierra, suponiendo que, cuando nuestro planeta fue impactado por meteoritos, éstos “sembraron” moléculas orgánicas y aminoácidos (que han sido detectados en ellos) los cuales pudieron facilitar el origen a la vida más tarde. Teniendo en mente esta explicación, que no ha sido confirmada aún, analiza si este mecanismo puede ser válido para ser aplicado en las naves, sondas y demás artefactos que son enviados desde la Tierra hacia el espacio exterior. Sobre la superficie de éstos y en su interior debe haber innumerables virus, parásitos, bacterias y toda clase de microorganismos que, si perduran luego del viaje espacial, pueden llegar a colonizar los lugares de destino. Busca información sobre los protocolos para la esterilización de tales artefactos.

3.- Actualmente algunos de los objetivos declarados para las misiones espaciales son al menos los siguientes:

- Cartografiar la superficie de los astros y del Universo visible.
- Búsqueda de la presencia agua o rastros de su existencia en los otros planetas.
- Monitoreo del impacto de las condiciones de ingravidez espacial en el cuerpo humano.

Analiza estos objetivos y explica algunas de las razones que pudieran motivarlos. Organicen un debate en la clase para discutir las implicaciones éticas de estas iniciativas, sus propósitos y finalidades.

4.- El pasado mes de agosto de 2012 se produjo el aterrizaje de Curiosity, un vehículo explorador de la superficie de Marte. En un periódico local apareció la siguiente información: “Este vehículo enviará en tiempo real las imágenes que irá obteniendo en sus 16 cámaras fotográficas.”

Analiza esta información y la veracidad de ella. ¿Es posible que las fotos lleguen en tiempo real?

5. - Nuestro país, como República independiente y soberana, ha formulado una política aeroespacial. Como parte de esta política tenemos acciones como:

- a) la seguridad y defensa del espacio ultraterrestre suprayacente, ubicado sobre el territorio continental, insular y espacios acuáticos;
- b) el desarrollo de convenios de transferencia tecnológica para la construcción y puesta en funcionamiento de satélites como el Simón Bolívar y el Francisco de Miranda.

Reflexiona sobre estos hechos y sobre la importancia de esta política para la población venezolana.



El 11 de marzo de 2011 se produjo un intenso terremoto en el Pacífico Oeste, cuya magnitud se registró en Rusia, China, Taiwán y Corea del Sur, entre otros lugares a cientos de kilómetros de su epicentro. Este sismo, el mayor del que se tenga registro en el territorio insular de Japón, tuvo un severo impacto en número de víctimas y daños materiales. No fue un evento aislado. Dos días antes había ocurrido un temblor importante en la misma zona, lo antecedieron otros tres en la misma fecha y, luego del evento sísmico principal, se produjeron más de cien réplicas asociadas.

Producto de la inmensa liberación de energía, el terremoto fue seguido por un tsunami que afectó de forma inclemente todo el litoral oeste de Japón y se extendió a los países de la cuenca del Pacífico. El fuerte oleaje se propagó hasta ellos, conforme a los pronósticos de tiempo de arribo.

Con el terremoto y el posterior tsunami, se desencadenaron repercusiones previsible para este tipo de eventos: afectaciones a la red de servicios como electricidad, gas, agua potable y telecomunicaciones; intensos incendios; daños severos a las edificaciones; grietas y descensos del terreno de hasta 1,2 metros, entre otras secuelas.

Pero se produjo una afectación que hasta el momento no se asociaba directamente a este tipo de eventos: graves daños en tres reactores de la central nuclear de Fukushima I, que derivaron en una serie de fallos hasta la fusión de núcleo (derretimiento del combustible nuclear) y la liberación y vertido al mar de grandes cantidades de radiactividad.

Los trabajadores de la central nuclear y los habitantes de 30 km alrededor de ésta fueron afectados por exposición a la radiactividad por encima de los límites aceptables; días después se detectaban altos niveles de radiactividad en el agua potable de Tokio y en la leche y vegetales cultivados en Japón. En la costa oriental del Pacífico se registraban altos niveles de radioactividad en el agua y en peces. Ante este desastre la comunidad científica alerta sobre nuevos riesgos asociados a los terremotos y tsunamis: las centrales nucleares deben ser diseñadas, construidas y manejadas bajo normas sismorresistentes nuevas y más estrictas.

Con esta serie de acontecimientos encadenados queremos mostrarte la interconexión e interdependencia entre los fenómenos terrestres y sus repercusiones. En esta lectura develaremos algunos hilos que conectan imperceptiblemente las interacciones del planeta, para tener una comprensión más global de su compleja dinámica, su delicado equilibrio y su persistencia al responder ante perturbaciones.

## Replantarse la visión del planeta

Los viajes espaciales no sólo permitieron tener una idea de cómo luce la Tierra en su conjunto, sus azules océanos, la inquieta atmósfera y sus continentes. También ocasionaron una sacudida en la percepción fragmentaria de sus habitantes que veían la Tierra a través de los espacios locales donde se desarrollaban habitualmente sus actividades. Se estaba dando un paso en la creación de una nueva conciencia planetaria.

Otra contribución importante la dieron las explicaciones asociadas a la tectónica de placas. De una Tierra inmutable y estática, pronto se acumularon evidencias para configurar la visión de un planeta activo, cuyas masas continentales, plataformas y fondos oceánicos manifestaban una movilidad inusitada, causante de la creación y destrucción de nuevos relieves por procesos externos e internos.

La búsqueda de explicaciones para ciertos eventos ya venía confrontando, desde muchas décadas atrás, a partidarios de los enfoques fijistas –que apreciaban al planeta como un objeto estático sometido a procesos regulares y eventuales catástrofes– y a los defensores de los enfoques movelistas, más activos, que prefiguraban un planeta dinámico y vivo en permanente evolución.

La Tierra ha cambiado producto de su dinamismo permanente y de sus transformaciones sucesivas, esto ha obligado a cambiar también la forma en que nos disponemos a estudiarla. Para ello no sólo debemos esperar por los avances de la ciencia, también podemos nutrirnos de la forma como las comunidades originarias de nuestra América percibían a la naturaleza y a la Madre Tierra.



**Figura 3.1.** Desde tiempos remotos los conocimientos ancestrales de las comunidades de Abya Yala (nombre originario de América Latina) refieren formas de servirse de la Tierra, respetando su dinámica.

Las Ciencias de la Tierra marchan en dirección hacia la unificación de posiciones. Se ha comprendido que la Tierra se comporta bajo estados de equilibrio en los que parece no estar ocurriendo nada, pero el desarrollo científico y tecnológico –y su arsenal de nuevas técnicas e instrumentos– ha permitido llevarle el pulso, más de cerca, a los procesos de acumulación de energía que más tarde conducen a respuestas que provocan su disipación. La Tierra puede parecer estable y tranquila, transmutar lentamente durante largos períodos de tiempo o cambiar abruptamente con consecuencias importantes para todos sus componentes, incluyendo los seres vivos.

Esta idea –aunque parece evidente y muy elemental– le llevó a la ciencia, y a la sociedad toda, mucho tiempo aceptarla. La revolución de las Ciencias de la Tierra vino acompañada de un nuevo enfoque, el **enfoque sistémico**, según el cual **la Tierra es un sistema complejo que evoluciona en el tiempo**. Vamos a examinar con detalle esta idea.

## ¿Por qué un sistema?

El término sistema se utiliza con frecuencia de manera ambigua o se aplica a objetos muy diferentes. Hablamos a menudo de sistemas políticos, económicos, tecnológicos, anatómicos, entre muchos otros. Sin embargo, debemos analizar el significado del término, para saber si es conveniente considerar al planeta como un verdadero sistema.

Un **sistema** es un conjunto de elementos o componentes que interactúan entre sí, lo cual significa que ejercen influencias unos sobre los otros como si fueran subsistemas integrantes de uno mayor. Además, tienen la particularidad de que dichos componentes están interconectados de tal forma que los cambios que se producen en alguno de ellos tendrán repercusiones en los otros.

En los sistemas que tienen cierta complejidad, podemos describir su **composición** (la enumeración y descripción de sus componentes) su **estructura** (la forma en que estos componentes se articulan e interactúan entre sí) y su **dinámica** (las transformaciones energéticas y los tipos de trabajo que realiza el sistema cuando está en funcionamiento). La gran mayoría de los sistemas intercambian con su entorno materia y energía.

Partiendo de esta aproximación al significado de sistema, comencemos nuestro análisis determinando la composición de la Tierra.

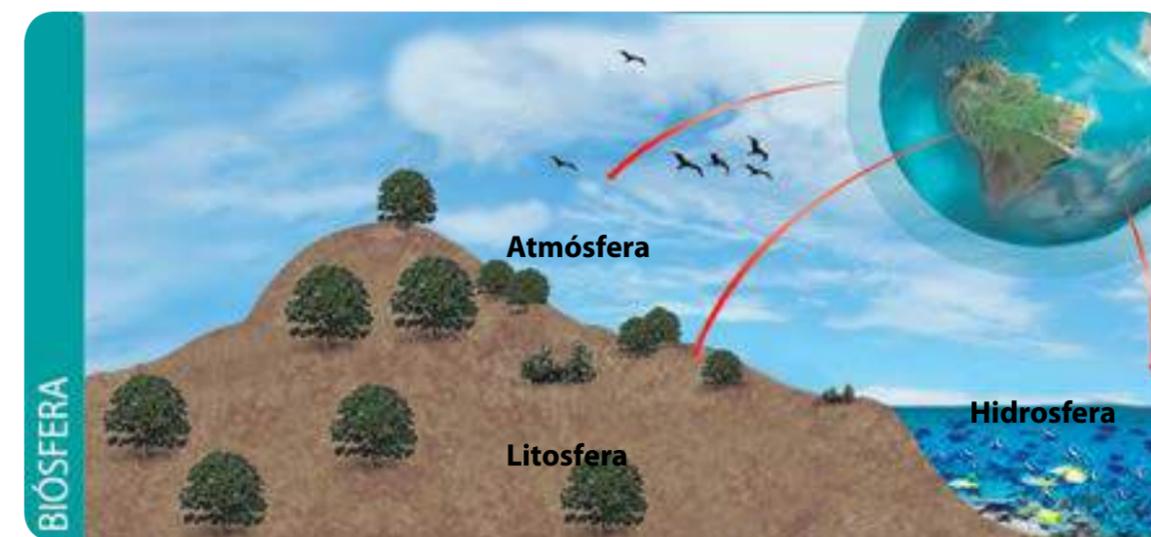
## Las geosferas terrestres

Nuestro planeta está compuesto de materia, la misma que forma el Universo. Esta materia puede estar en los diferentes estados de agregación, es decir, sólida, líquida o gaseosa. Ahora bien, esta materia parece tener formas características de presentarse; el aire, el agua, los minerales y las rocas, son los materiales que conforman el planeta. Esto lo diferencia de otros astros, por ejemplo, la Luna no posee aire, aunque posee rocas, minerales y se presume que pueda haber agua congelada en algunos cráteres de su cara oculta. Los planetas rocosos poseen rocas, minerales y una atmósfera enrarecida, pero hasta ahora no se ha encontrado presencia de agua en ellos, salvo en Marte que posee vestigios de canales que pudieron haber estado ocupados por agua. Los planetas gaseosos y fríos, como su nombre lo indica, parecen

estar formados sólo de grandes concentraciones de gases y compuestos congelados.

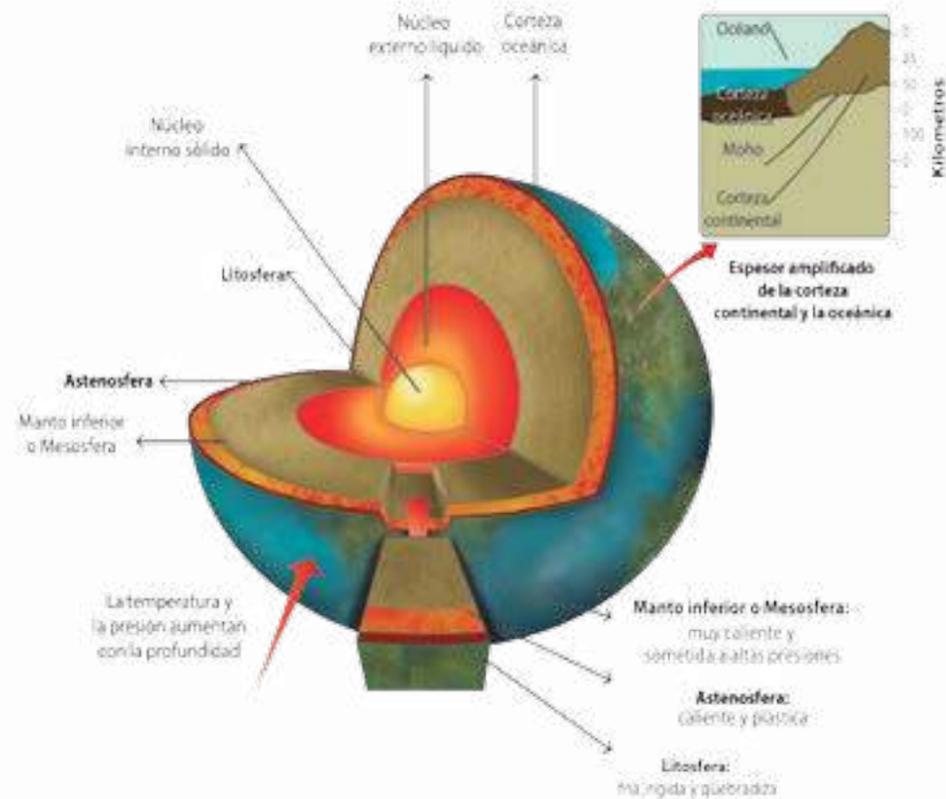
Los **materiales terrestres** son el aire, el agua (sólida, líquida y gaseosa) los minerales y las rocas, que suelen estar sólidos en la superficie mientras que en el interior de la Tierra se hallan fundidos formando el magma. De modo que la existencia de estos materiales es una característica de nuestro planeta. ¿Habrá en el Universo planetas con materiales semejantes?

Adicionalmente, los materiales terrestres no están dispuestos de cualquier manera, por el contrario, ocupan ciertas posiciones que son también peculiares. Si nos movemos desde el exterior de la Tierra hacia su interior, el aire ocupa la parte más externa formando una envoltura gaseosa, el agua se ubica cubriendo buena parte de la superficie rocosa y, por último, las rocas y los minerales, bien en estado sólido o fundidos a muy alta temperatura, forman parte del interior del planeta. Esta disposición está dada por la densidad de los materiales. Los más densos se encuentran en el interior de la Tierra y los menos densos en capas sucesivas. A estas capas las llamaremos **geosferas**, porque se asemejan a esferas que parecen disponerse en forma concéntrica en el planeta. En la figura 3.2 se muestra la disposición de estas geosferas a nivel superficial. Observa a la **hidrosfera** constituida por el agua, la **atmósfera** constituida por el aire y la **litosfera** por rocas y minerales. Además puedes ver que se ha colocado otra geosfera, la **biosfera** que viene a ser la esfera constituida por la vida, generada justamente por el contacto e interacción entre geosferas. La vida como la conocemos en la Tierra necesita el aporte de cada geosfera para su desarrollo y perpetuación.



*Figura 3.2. Las tres geosferas superficiales: atmósfera, hidrosfera, litosfera y la biosfera originada por la interacción de las tres primeras.*

Pero además de estas geosferas hay otras que no son accesibles directamente para nosotros, pero han sido detectadas por métodos directos como perforaciones, que tienen un alcance limitado; y métodos indirectos, como el análisis de las ondas sísmicas, el estudio de las erupciones volcánicas, estudios gravimétricos, simulaciones y otros modelos terrestres. Con base en estos estudios, se ha determinado que el interior de la Tierra está formado por una serie de capas diferenciadas desde el punto de vista geoquímico, que son: la corteza superior e inferior, el núcleo externo y el núcleo interno. Desde el punto de vista mecánico las capas que se distinguen son: la litosfera, la astenosfera, la mesosfera y el núcleo. En la figura 3.3 se ilustra la estructura interna del planeta.



**Figura 3.3.** Geosfera integrada por la corteza, el manto superior e inferior, el núcleo externo e interno. Desde el punto de vista mecánico se identifican en: la litosfera, la astenosfera, la mesosfera y la endosfera.

Como puedes apreciar en la imagen, estas capas se disponen también en forma concéntrica y se diferencian unas de otras por su composición, densidad, temperaturas y presiones, en relación directa con la profundidad. Mientras la profundidad aumenta también lo hacen estas variables físicas. Más adelante, en la lectura sobre la dinámica terrestre, conocerás que adicionalmente estas capas poseen comportamientos geofísicos y mecánicos diferenciados.

**Para saber más...**

La proto-Tierra era una masa indiferenciada de roca, sometida a choques de meteoritos y a compresión por la acreción del material originario. Estos procesos provocaron la fusión del protoplaneta y la migración del hierro hacia el centro, mientras los elementos más livianos lo hicieron en sentido contrario. La Tierra era un océano de magma a más de 2.000 °C. Este episodio se conoce como la catástrofe del hierro, responsable de la estructura interna de la Tierra de hoy.

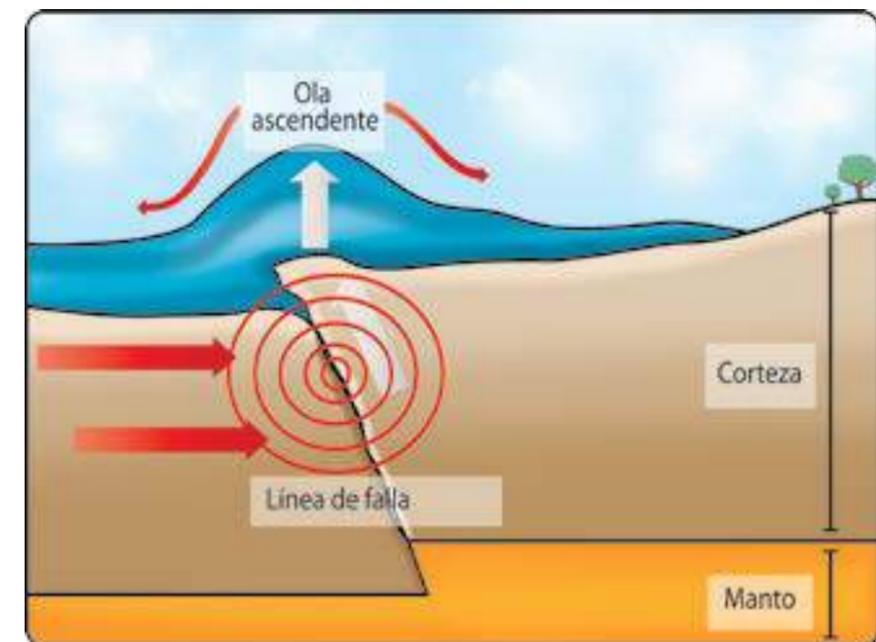
Sobre las características de cada geosfera volveremos a hablar más adelante. También veremos que se han definido otras geosferas, además de las ya mencionadas: la **pedosfera** que es la geosfera integrada por la capa de suelos; la **criosfera** integrada por las aguas congeladas en glaciares, nieves y permafrost, e incluso una integrada por lo construido por la humanidad que se llama la **tecnosfera** (también recibe los nombres de antroposfera o sociosfera) por representar el hábitat de la especie humana. Pero en este punto, lo que nos interesa es analizar si a partir de esta estructura en geosferas podemos afirmar que se trata de componentes como lo señala la definición de sistema que estamos analizando.

**Relaciones entre geosferas**

Desde esta visión sistémica, un componente es un elemento constitutivo de un todo, que lo hace ser lo que es y, sin el cual, dejaría de serlo. Entonces preguntémosnos, ¿dejaría de ser la Tierra lo que es, si faltara alguna de sus geosferas? ¿Funcionaría de la misma manera sin atmósfera o sin hidrosfera? ¿Es la tecnosfera un componente exclusivo de la Tierra? Al responder estas interrogantes o cualquier otra que te plantees, seguramente comprenderás que la Tierra es este planeta tan especial precisamente por la forma como sus elementos constitutivos están integrados, por las proporciones en los que se encuentran y por la manera como están dispuestas sus geosferas. **La Tierra es un todo integrado por componentes.**

Ahora examinemos el segundo de los atributos de un sistema: la interacción e interdependencia de sus componentes, al punto que pueden considerarse como subsistemas del sistema mayor. Veamos si los componentes previamente definidos son capaces de interactuar e influenciarse. ¿Se te ocurre algún ejemplo?

Pensemos por un momento en el ejemplo con el que iniciamos esta lectura, el terremoto de Japón de 2011. Un sismo o terremoto es una serie de sacudidas o movimientos bruscos de la litosfera como consecuencia de la liberación de la energía interna de la Tierra. Pero a partir de la producción del sismo, la hidrosfera representada por las aguas del océano Pacífico recibió la energía liberada provocando el posterior tsunami con un enorme poder destructivo. En este ejemplo la litosfera influencia a la hidrosfera (ver figura 3.4). Pero todavía más, sabemos que un sismo como éste de gran magnitud puede ocasionar graves perturbaciones en la biosfera y en particular en la tecnosfera, esa capa producida por la mano humana: ciudades enteras, edificaciones, servicios, puentes y carreteras, en fin se produce un colapso frente al cual son necesarias acciones de restauración para la recuperación posterior al evento adverso.



**Figura 3.4.** Sismo y tsunami. Ejemplo de interacción entre geosferas.

Pudiéramos pensar en otros ejemplos de fenómenos violentos, pero antes pensemos en un fenómeno menos notorio. La hidrosfera y la atmósfera se mueven, con tanta frecuencia que estamos habituados a esos movimientos. Incluso, puede resultarnos hasta extraño ver el mar sin olas o a la atmósfera sin vientos y brisa. ¿Pero cuáles son las causas de estos movimientos? ¿Será una única causa? ¿Cómo afectarán estos fenómenos tan recurrentes a otras geosferas?

Observemos en la figura 3.5 una escala Beaufort usada frecuentemente por los navegantes, para determinar en forma cualitativa la velocidad del viento.

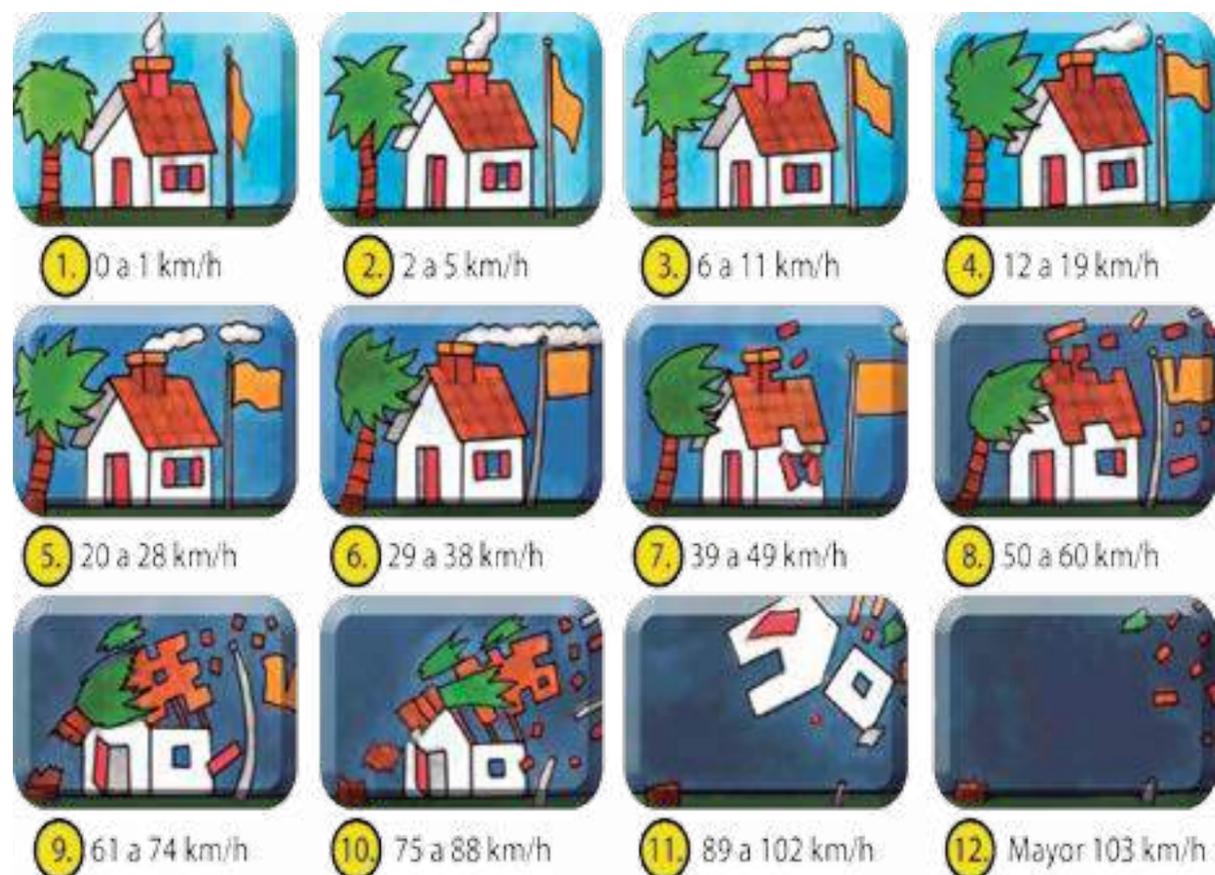


Figura 3.5. Escala Beaufort ilustrada con indicación de los rangos de velocidad del viento en km/h, y sus manifestaciones cualitativas

La escala Beaufort que mostramos es una adaptación en la que se ilustran los efectos del viento sobre las plantas y las construcciones. La de uso habitual describe además la altura probable del oleaje y sus efectos sobre la visibilidad. Este ejemplo nos podría servir como argumento para sustentar la idea de interacción o influencia mutua entre geosferas. En los primeros cinco grados de la escala se describen vientos que pasan desapercibidos. Sin embargo, vistos de esta manera, es indudable la interacción silenciosa que allí ocurre y la capacidad de cada geosfera para comportarse como un subsistema integrante del sistema mayor, al generar respuestas ante las perturbaciones. Veamos en la tabla 3.1 algunos casos donde los fenómenos son una expresión de la interdependencia de los componentes o subsistemas del planeta.

Geosferas en interacción	Relaciones de interdependencia
<b>Biosfera-Atmósfera</b>	Los organismos, mediante la fotosíntesis y la respiración, emiten e intercambian gases con la atmósfera. Por estos procesos se sostiene la vida y la atmósfera tiene la composición actual, las condiciones de temperatura que la caracterizan y la propiedad de filtrar cierto tipo de radiación solar que, de no hacerlo, imposibilitaría la existencia de la biosfera. La biosfera depende de la atmósfera y viceversa.
<b>Hidrosfera-Litosfera</b>	La hidrosfera ejerce un importante papel como agente geológico externo sobre la corteza, originando formas del relieve, disolviendo los materiales y generando nuevos compuestos. El oleaje del mar y el trabajo erosivo de los ríos y glaciares modelan las superficies sobre las que actúan. Las formas del relieve de la litosfera facilitan la escorrentía del agua. La naturaleza del material de la superficie puede favorecer la infiltración y almacenamiento del agua subterránea.
<b>Litosfera-Atmósfera</b>	Materiales y gases de la litosfera son expulsados en las erupciones volcánicas a la atmósfera. Sin esta desgasificación, no habría atmósfera, pues así se formó la atmósfera primitiva. Los gases de la atmósfera se mantienen atraídos por la fuerza de gravedad terrestre cuyo campo gravitacional se genera en el interior de la Tierra.
<b>Biosfera-Litosfera-Hidrosfera-Atmósfera</b>	La litosfera sostiene la vida y le da sustrato. Las plantas absorben del suelo el agua y las sales minerales, que junto al CO <sub>2</sub> de la atmósfera y la energía solar, producen materia orgánica que enriquece los suelos al descomponerse, vapor de agua que transpiran hacia la atmósfera y nutrientes que son aprovechados por los consumidores.
<b>Hidrosfera-Atmósfera-Biosfera-Litosfera</b>	En el ciclo hidrológico, el agua circula y es trasvasada continuamente entre las geosferas. Es probablemente el ejemplo más emblemático de la interdependencia entre las geosferas. Sus procesos de evaporación, transpiración, sublimación, condensación, congelación, precipitación, escorrentía, infiltración y surgencia, así lo denotan.

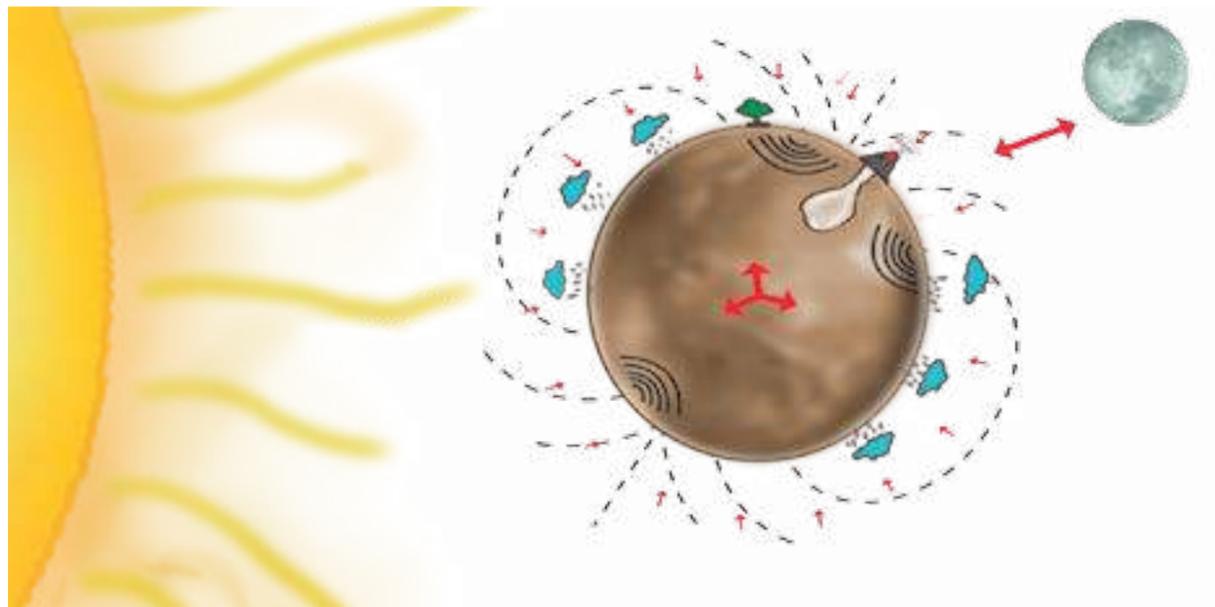
Tabla 3.1. Ejemplos de interacciones e interdependencia entre geosferas.

## Intercambio de energía

Para que los sistemas funcionen requieren de energía. La energía es inherente a éstos y se manifiesta en las transformaciones y en la dinámica de los sistemas. Los procesos terrestres no podrían producirse sin la ganancia y la liberación de energía. ¿Cuáles son las fuentes de energía del planeta? En la Tierra coexisten diversas fuentes de energía, algunas de ellas son:

- Gravitacional
- Magnética
- Térmica
- Química
- Mecánica

Es así como se producen los procesos y fenómenos terrestres. En la figura 3.6 puedes observar las interacciones y campos generados con la transferencia de energía en la Tierra.



**Figura 3.6.** Transferencia de energía en la Tierra: geotérmica, magnética, gravitatoria y mecánica, estas últimas se expresan principalmente en la litosfera.

Estas diversas manifestaciones de energía son responsables de los procesos terrestres porque en ellos se transfiere la energía de una geosfera a otra y desde el exterior del planeta hacia éste y viceversa, para que se produzca la actividad incesante de la Tierra.

En la tabla 3.2 se han organizado diferentes manifestaciones de energía actuantes en la Tierra, algunas propiedades que éstas le otorgan al planeta y los procesos o fenómenos resultantes.

Fuentes de energía		Manifestaciones	Ejemplos y fenómenos
Campo magnético terrestre		Magnetismo	Magnetización de rocas.
Gravitacional	Terrestre	Forma de geoide	Movimientos de masas y deslizamientos en superficie. Isostasia o equilibrio del relieve.
	Lunar y solar	Movimientos de rotación, traslación y precesión	Mareas. Sucesión de días y noches. Estaciones. Efecto coriolis, equinoccios y solsticios.
Solar		Zonas climáticas	Vientos, temperaturas y presiones atmosféricas. Meteorización física.
Química		Composición de los materiales terrestres	Meteorización química.
Interna	Geotérmica	Gradiente y flujo geotérmico	Magmatismos y metamorfismo. Aguas termales y géiseres.
	Mecánica	Tectónica	Sismicidad y deformación de rocas.

**Tabla 3.2.** Manifestaciones de energía en la Tierra y sus consecuencias.

Aparte de todas estas manifestaciones de energía, la Tierra presenta la peculiaridad de la vida, en forma de vegetales cuyas hojas verdes captan una pequeña cantidad de radiación solar y la almacenan químicamente por el mecanismo de fotosíntesis. Esta energía almacenada llamada **biomasa**, puede liberarse por oxidación (combustión) a un ritmo aproximadamente igual al de su almacenamiento. Una fracción ha sido almacenada a lo largo de millones de años, al quedar enterrada en condiciones de oxidación y desintegración, formando los **combustibles fósiles**: carbón, petróleo, gas, pizarras bituminosas y arenas asfálticas. Es importante tener conciencia de lo efímero de esta fuente energética. Si la mayor parte de la energía que está siendo usada por la humanidad se extrae de los combustibles fósiles, mientras que las restantes formas de energía no están a nuestro alcance aún, ¿qué energía abastecerá a los habitantes de la Tierra, al ritmo del consumo actual, en un futuro próximo?

Ahora bien, a lo largo de tus estudios vienes aprendiendo que la energía se transfiere, y se transforma de una forma a otra, siempre cumpliendo algunos principios básicos:

- El **principio de conservación de la energía**, según el cual, la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma de unas formas de energía a otras.
- El **principio de la degradación de la energía** que establece que en las transformaciones de unas formas en otras, la energía se degrada desde formas útiles hacia formas menos útiles o no recuperables. El calor es un proceso en el cual se degrada la energía que no puede transformarse íntegramente en otro tipo de energía útil.

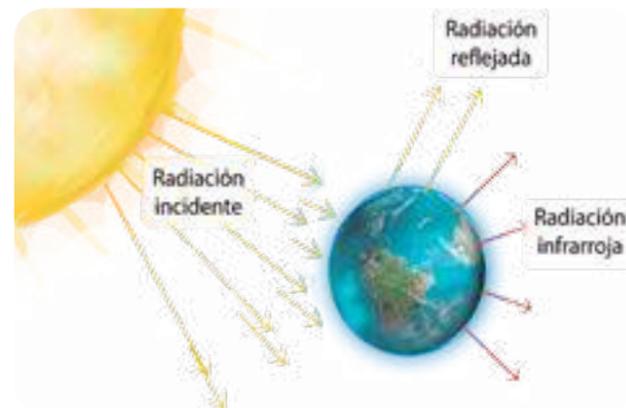
Tomando en cuenta estos principios, examinemos las transformaciones de la energía que tienen lugar sólo en la superficie terrestre o muy próxima a ella. En la figura 3.7 se analizan la energía solar y la gravitacional, con sus transformaciones y algunos fenómenos que se producen. Observa que buena parte de la energía radiante del Sol (color rojo) se convierte en calor que como ya dijimos es una forma degradada de energía.



**Figura 3.7.** Diagrama de transformaciones de energía que tienen lugar en la superficie de la Tierra y sus fenómenos asociados. En color rojo entrada de energía solar, algunas de sus transformaciones y salida en otras formas. En verde, energía gravitacional entrante y su transformación en mareas. La línea horizontal representa la superficie terrestre.

También puedes observar la energía gravitacional (flecha de color verde) del sistema Sol-Luna-Tierra y su manifestación superficial que consiste en la formación de mareas o variación del nivel de las aguas y la superficie terrestre, por la atracción ejercida por estos astros sobre la masa terrestre. Observa también que en el gráfico se indica la formación de combustibles fósiles como otra forma de transformación y almacenamiento de la energía solar entrante.

Aunque más adelante vamos a ver en detalle el balance energético del planeta, en la figura 3.8 puedes observar que la energía proveniente del Sol entra en la Tierra y sale nuevamente transformada. ¿Cómo ocurre esto? La Tierra, como todo sistema, debe mantenerse estable energéticamente para cumplir con su funcionamiento. Si tomamos en cuenta que las temperaturas del planeta dependen fundamentalmente de la energía que proviene del Sol, para mantenerse térmicamente estable a lo largo del tiempo, nuestro planeta debe ser capaz de evacuar toda la energía recibida en forma de radiación. Si así no fuera el sistema se calentaría ilimitadamente hasta producir su fusión. Afortunadamente, existen unos mecanismos reguladores que efectúan dicha tarea de diferentes maneras.



**Figura 3.8.** Radiación solar incidente y salida de ella por reflexión e irradiación infrarroja.

De la energía solar que entra a la Tierra, en forma de radiación de onda corta, casi la mitad es reflejada de nuevo al espacio por las nubes, la superficie de continentes y del agua. La otra que logra alcanzar la superficie es transmitida y transformada en energía térmica. Por irradiación la energía se transfiere a la atmósfera emitiendo radiación infrarroja o de onda larga (ver figura 3.8). Sin embargo, ciertos gases como el vapor de agua y el CO<sub>2</sub> irradian parte de ésta de nuevo a la superficie. Los vientos, el oleaje y las corrientes oceánicas son algunos de los fenómenos terrestres que se generan por la energía solar transferida directa o indirectamente.

La Tierra, desde el punto de vista energético, se comporta como un sistema porque emplea energía para su funcionamiento y es capaz de producir transformaciones de esta energía para mantenerse estable. Asimismo, podemos considerar a la Tierra como un **sistema abierto** porque la energía utilizada para su funcionamiento no sólo proviene de su interior sino que intercambia energía con el medio circundante. De esta manera la Tierra se relaciona con su ámbito y es capaz de transferir la energía recibida en diversos procesos. Ahora conviene preguntarnos ¿La Tierra intercambiará materia como lo hacen otros sistemas abiertos?

## Circulación de la materia

Otra forma como podemos examinar a la Tierra para determinar su comportamiento sistémico, consiste en interrogarnos sobre la posibilidad de que la energía del sistema sea capaz de producir desplazamiento de la materia. Esta es la forma clásica de concebir el trabajo y por ella comenzaremos nuestro análisis. Entre las diferentes geosferas de la Tierra existe un permanente intercambio de materia. En la tabla que te presentamos a continuación se colocan algunos ejemplos de este flujo de materia.

	Atmósfera	Hidrosfera	Biosfera	Pedosfera	Antroposfera
Atmósfera	---	Agua, sal y gases	Polen, esporas, CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub>	Partículas y gases	N <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub> ; otros gases
Hidrosfera	Agua, y gases (O <sub>2</sub> ; CO <sub>2</sub> )	---	Agua y minerales disueltos	Sedimentos y minerales solubles	Agua, sales, H <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub>
Biosfera	Polen, esporas, CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub>	Nutrientes	---	Materia orgánica	Alimentos
Pedosfera	Partículas de polvo, gases y cenizas	Iones solubles y coloides	Nutrientes minerales	---	Combustibles y minerales
Antroposfera	Desechos	Desechos	Fertilizantes y agroquímicos	Desechos	---

**Tabla 3.3.** Intercambio de materia entre geosferas.

En la tabla 3.3, hemos colocado sólo las geosferas más superficiales que están en permanente contacto y en evidente intercambio de materia. Por tal razón se ha incluido la pedosfera (esfera de los suelos) ya que en ella tienen lugar una importante gama de procesos de interacción. Igualmente hemos considerado conveniente incluir a la antroposfera, en tanto hábitat de la especie humana, para dejar planteada la idea de cómo intervienen y participan las actividades antrópicas en este intercambio de materia. Sin embargo, esto no quiere decir que no haya intercambio de materia con otras geosferas. Las erupciones volcánicas son un ejemplo de esto.

Como puedes observar, todas las geosferas actúan como reservorios transitorios de la materia que se mantiene en ellos durante un período que puede ser breve o muy extenso. Con excepción de las actividades antrópicas, es condición para que se produzca el paso de la materia de un reservorio a otro, que ocurran procesos biológicos, químicos o geológicos, en presencia de la energía requerida para que el transporte del elemento o compuesto químico se efectúe. A ese desplazamiento o circulación de la materia es lo que se conoce como **ciclo biogeoquímico**.

Los ciclos biogeoquímicos constituyen uno de los mejores ejemplos de las interacciones que se producen entre la biosfera, hidrosfera, atmósfera, litosfera y pedosfera. La figura 3.9 representa algunos de esos ciclos que ocurren en la fase superficial de la Tierra. Por lo general, la materia circula desde los seres vivos hacia el medio físico o abiótico y viceversa. Esa circulación de la materia como el agua, el carbono, el oxígeno, el nitrógeno, el fósforo, el azufre y otros elementos, es permanente entre los componentes bióticos y abióticos de la Tierra. La materia casi siempre se reutiliza y a menudo circula varias veces, tanto dentro como fuera de los ecosistemas.

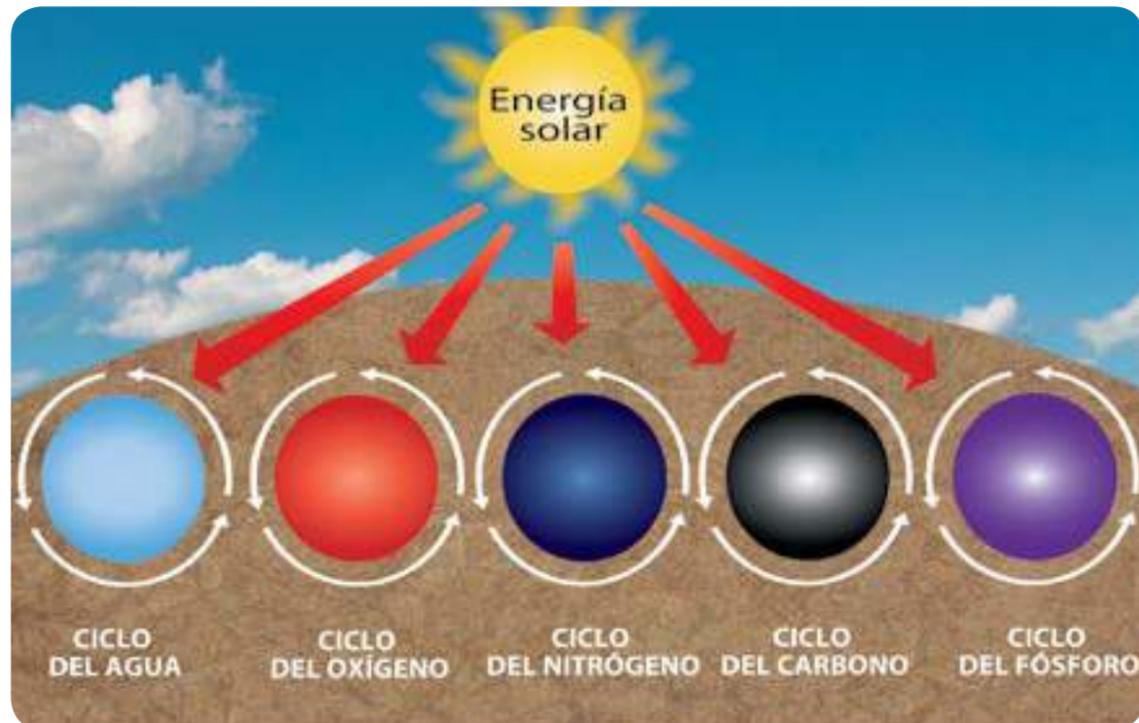


Figura 3.9. Los ciclos biogeoquímicos.

El planeta Tierra actúa como un sistema donde la cantidad de materia existente permanece constante, pero experimenta frecuentes cambios en su estado químico dando lugar a la producción de compuestos simples y complejos. Es por eso que los ciclos de los elementos químicos gobiernan la vida sobre la Tierra, partiendo de un estado elemental para formar compuestos inorgánicos, luego orgánicos y regresar a su estado elemental.

Generalmente, el ciclo biogeoquímico contempla la actividad biológica que ocurre en la biosfera que, al interactuar con las otras capas del sistema Tierra, produce una biomasa que se va acumulando en una mezcla compuesta por seres vegetales y animales, macro y microscópicos, vivos y muertos. De esta manera, un ciclo biogeoquímico está constituido por:

- 1) una zona abiótica que suele contener grandes cantidades de elementos biogeoquímicos, pero el flujo de los mismos es lento y tienen largos tiempos de residencia,
- 2) una zona biótica donde el flujo de materia es rápido y hay poca cantidad de sustancias formando parte de los seres vivos.

En síntesis, el ciclo se desarrolla en diversos ambientes ya sea sobre el suelo o dentro del mismo, en los cuerpos de agua continentales o en las cuencas sedimentarias marinas.

Con base en lo planteado podríamos preguntarnos, ¿cómo funciona el ciclo biogeoquímico? Una forma de visualizarlos se relaciona con el recorrido que realizan los elementos químicos más importantes en la naturaleza que forman parte de la materia viva. Éstos van pasando por los diferentes subsistemas, desde el medio abiótico (atmósfera, pedosfera, hidrosfera, litosfera) a los seres vivos (biosfera), regresando nuevamente al medio inicial. Por lo tanto, la **circulación de la materia es cíclica o cerrada**.

Un buen ejemplo de los ciclos señalados anteriormente lo constituye el llamado **ciclo del carbono**, que es de gran importancia para los seres humanos en la actualidad, debido a que los compuestos del carbono son unos de los gases atmosféricos, junto con el ozono y el vapor de agua, que regulan el clima terrestre (efecto invernadero) y ha adquirido en los últimos tiempos gran relevancia por su influencia sobre el llamado Calentamiento Global.

El ciclo del carbono puede ser definido como las transformaciones químicas de compuestos orgánicos que contienen carbono en las interacciones que se producen entre la biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera. De este ciclo depende la producción de materia orgánica que es el elemento fundamental de todo ser vivo.

Como este ciclo biogeoquímico regula la transferencia de carbono entre los distintos subsistemas terrestres, que al final también regulan el desarrollo de la vida sobre el planeta, esta es otra prueba del funcionamiento de la Tierra como un sistema, basado esencialmente en el funcionamiento de subsistemas más pequeños que a la vez son parte de un todo.

En la figura 3.10 se observa de forma general los distintos caminos que recorre el carbono en forma de  $\text{CO}_2$  y su interacción con los otros subsistemas de la Tierra.

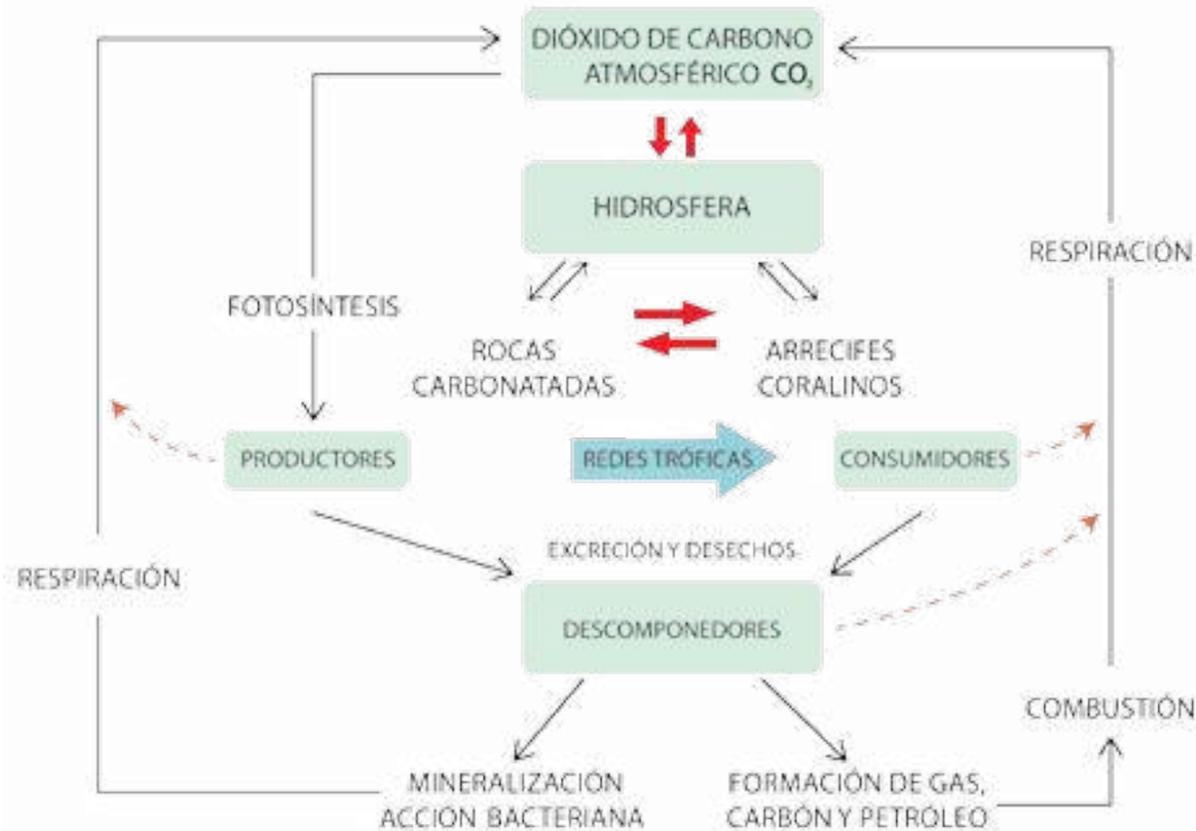


Figura 3.10. Diagrama que representa el ciclo del carbono.

Una vez comprendida la idea de que en la Tierra la materia circula entre las diferentes geosferas como parte de su funcionamiento sistémico, cabe preguntarnos: ¿cuál es la importancia de estudiar los ciclos biogeoquímicos?

En esta visión del planeta como sistema, el análisis de los ciclos biogeoquímicos es importante porque ellos refieren un comportamiento bastante ordenado y predecible de la materia en la Tierra; nos indican sobre las transformaciones que ella experimenta y dónde puede encontrarse en mayor proporción, es decir, dónde se encuentran sus reservorios. Estos aspectos ratifican el dinamismo del planeta, las múltiples interacciones entre las geosferas o subsistemas terrestres y la interdependencia entre ellos. Esta interdependencia es especialmente notoria para la biosfera porque la circulación permanente de la materia es indispensable para su sostenimiento en el planeta.

#### Para saber más...

El ciclo del carbono así como los otros ciclos biogeoquímicos han venido desarrollándose en el planeta desde su formación. Pero en los últimos tiempos, están siendo influenciados por la tecnosfera y las actividades humanas. Esta geosfera, no natural, constituye todo aquel ambiente artificial que ha sido creado por la humanidad para satisfacer sus diversas necesidades, y cuya principal expresión son las ciudades, el parque automotor y las industrias.

¿Pero habrá intercambio de materia entre la Tierra y el exterior del sistema o su entorno? Junto a los procesos de transferencia de energía solar y gravitacional, también se produce intercambio de materia con el medio exterior (ver figura 3.11):

- Los cuerpos celestes que pasan próximos a la órbita terrestre, son atraídos por ésta y son pulverizados por fricción al intentar penetrar en la alta atmósfera. Algunas partículas o micrometeoritos logran ingresar.
- Recibe el viento solar o radiación corpuscular, que consiste en partículas en movimiento cargadas eléctricamente, emitidas continuamente por el Sol. En la alta atmósfera terrestre existe una capa llamada magnetósfera que es el límite superior del campo magnético terrestre. La magnetósfera atrae y capta partículas del viento solar que modifican las corrientes eléctricas de la ionosfera, otra capa de la atmósfera donde también hay partículas cargadas eléctricamente.
- Como parte del intercambio de materia, desde la alta atmósfera logran escapar moléculas ligeras de helio (He) y de hidrógeno (H<sub>2</sub>) hacia el espacio exterior.



Figura 3.11. Intercambio de materia en el límite superior de la atmósfera. En la imagen se aprecia una llamarada de viento solar expulsado desde la corona del Sol y con las flechas se indica la trayectoria del chorro de partículas emitidas al enfrentarse con la magnetósfera.

A pesar de que este intercambio de materia con el espacio exterior, podríamos considerarlo insignificante, ya que la masa de la Tierra ha permanecido constante desde su formación hasta el presente, es muy significativo para el análisis que nos hemos propuesto y, sobre todo, para ciertas propiedades de la Tierra que se consideran emergentes. Estas **propiedades emergentes** podrían considerarse como surgidas de las múltiples interacciones que se producen en el sistema, que no podrían explicarse o atribuirse a un componente exclusivamente sino a la interacción entre todos ellos. Ejemplos de propiedades emergentes de la Tierra son: la variabilidad del tiempo atmosférico, la actividad de las placas tectónicas, la variabilidad del campo magnético, entre otras que discutiremos más adelante. Todo esto confirma el dinamismo de la Tierra.

Este dinamismo es muy complejo debido a que, resulta impredecible, sus reglas de funcionamiento son complicadas, posee un número elevado de componentes todos muy activos, su estructura es también compleja, posee una alta conectividad entre sus componentes y por último, presenta mecanismos acumuladores de energía que puede ser liberada o disipada repentinamente para evitar que su equilibrio sea desplazado. En la medida que todos sus habitantes estemos conscientes de la naturaleza compleja del planeta, lo entenderemos más y podremos convivir con su exuberante dinamismo y diversidad.

## Si funciona como un sistema y se estructura como un sistema, es...

A manera de síntesis, creemos que es necesario puntualizar las ideas que hemos discutido a lo largo de esta lectura:

- La Tierra muestra un funcionamiento dinámico característico de los sistemas al estar estructurada por partes o subsistemas que interactúan entre sí.
- Cada una de las partes que constituyen el planeta posee características y atributos particulares en forma aislada, que al estar formando parte del todo, adquieren un funcionamiento altamente complejo; el mismo permite desarrollar propiedades nuevas que generan procesos ordenados y sostenidos en el tiempo.
- La influencia mutua que ejercen unos componentes sobre otros evidencia su interdependencia y en ocasiones dificulta predecir su comportamiento e, incluso, diferenciar causas de efectos.
- Los materiales que constituyen los componentes están en movimiento y cambian de lugar a través del tiempo.
- La Tierra cuenta con fuentes de energía tanto internas como externas, que garantizan el mantenimiento de los procesos de desplazamiento y transformación de la materia.
- Posee mecanismos especializados capaces de captar la energía y convertirla en energía útil para su funcionamiento.
- También posee mecanismos para acumular energía y disiparla a favor de garantizar su equilibrio energético.

Estas y otras ideas que continuaremos desarrollando a lo largo del libro, nutrirán nuestra visión del planeta para comprender la necesidad de percibirlo como un verdadero sistema complejo. Ahora te animamos a realizar las actividades propuestas.

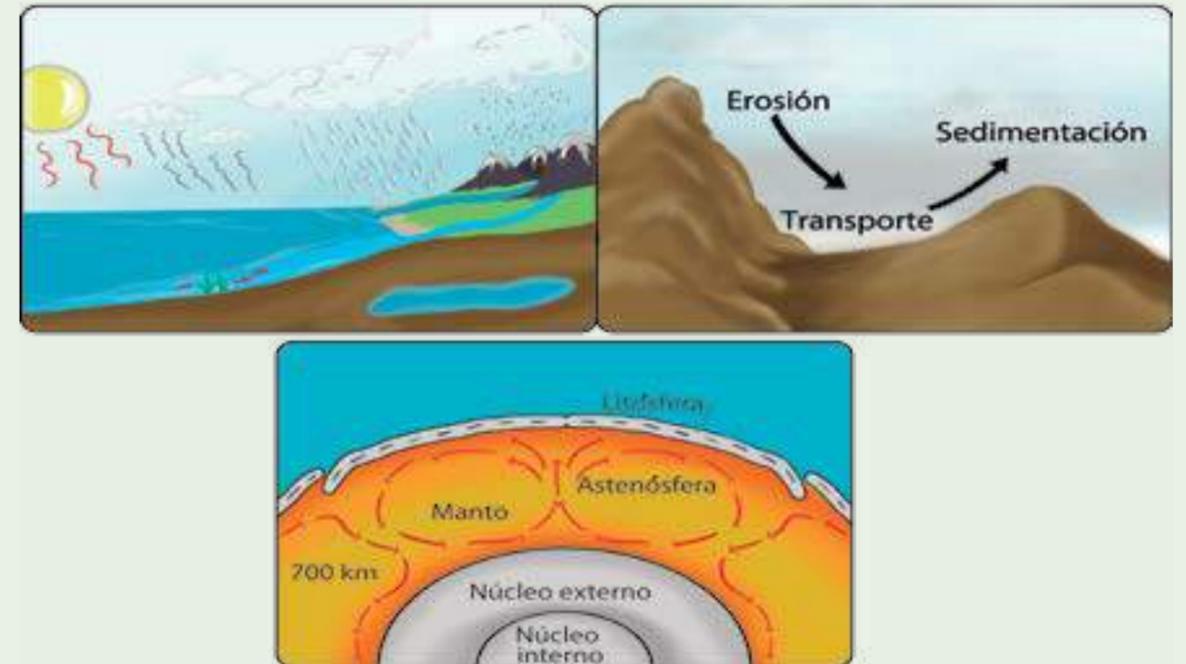


Figura 3.12. Procesos del sistema Tierra

Para analizar estos fenómenos en términos de las transformaciones energéticas que ocurren durante su actividad, copia en tu cuaderno la siguiente tabla y complétala.

Fenómeno estudiado	Energía aportada al sistema	Procesos que ocurren en el sistema ante el aporte de energía	Trabajo realizado por el sistema	Consecuencias del trabajo realizado
Ciclo hidrológico				
Procesos erosivos y de sedimentación				
Convección en el manto				

2. Seleccionen un ciclo biogeoquímico de su preferencia y analícenlo desde el punto de vista energético y del movimiento de la materia. Establezcan los principales productos, sus reservorios, y eventuales perturbaciones que las actividades humanas pueden producir. Inferan las posibles respuestas del sistema a tales perturbaciones.



### La Tierra sistema

Vamos a aplicar lo aprendido sobre sistemas a situaciones y fenómenos particulares de la Tierra.

#### ¿Qué harán?

1. La figura 3.12 muestra ejemplos de procesos complejos terrestres como el ciclo hidrológico; los movimientos de erosión, transporte y sedimentación; y el flujo convectivo del manto, todos ellos relacionados con la dinámica terrestre. Indica qué tipo de energía alimenta al sistema en cada caso e identifica con flechas este aporte de energía.

## La Tierra en clave de sistema

Hemos ido avanzando en nuestra comprensión del planeta y en la necesidad de conocerlo a través de su naturaleza dinámica y compleja. Para ello, hemos iniciado un acercamiento al conocimiento de nuestro planeta desde la visión de totalidad, que nos proporciona la Teoría General de Sistemas.

Como ya vimos, bajo esta óptica debemos tomar en cuenta que sus características y propiedades forman parte de una realidad exclusiva del objeto que es la Tierra, a la que no sólo le atribuimos el nombre de "sistema Tierra", sino que es y se comporta como un verdadero sistema.

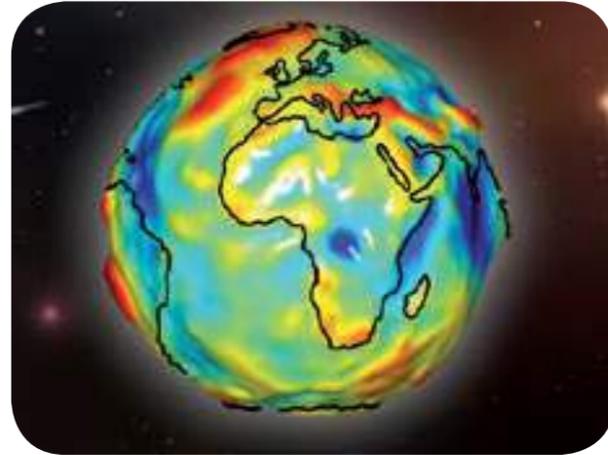


Figura 3.13. Geoide: modelo físico que busca representar la verdadera forma de la Tierra.

Tomando en cuenta esta precisión vamos a comenzar a estudiar la Tierra desde sus manifestaciones más sencillas hasta otras un poco más complejas, entendiendo además que nos va a faltar mucho por conocer, porque la extensión de este libro es limitada y, además, porque aún el conocimiento sobre nuestro planeta tiene muchos vacíos, interrogantes sin respuesta y explicaciones insatisfactorias o tentativas.

## Forma de la Tierra

En la figura 3.13 podemos apreciar un modelo de la forma de la Tierra. No es una esfera, tampoco un esferoide. A esta forma particular, propia de la Tierra, se le denomina **geoide**. Cuando piensas en el planeta, ¿te lo imaginas con la forma que aparece en la figura?

Ya desde unos 200 años antes de nuestra era, los filósofos griegos se inclinaban por la esfericidad de la Tierra, incluso uno de ellos, de nombre Eratóstenes de Cyrene, había estimado la circunferencia de la Tierra con extraordinaria precisión y un bajísimo error, tomando en cuenta los métodos de que disponía. Buena parte de estos cálculos y estimaciones se fueron perdiendo, hasta que con la revolución científica, el desarrollo del telescopio y otros instrumentos como el teodolito, permitieron nuevos datos más precisos, que facilitaron concluir que la forma de la Tierra no era exactamente esférica como se pensaba. Más adelante, se determinó que más bien se asemejaba a un esferoide de revolución. El avance científico permitió establecer que la forma de nuestro planeta es más compleja: ligeramente achatada en los polos y abultada en el ecuador; con el hemisferio sur un poco más voluminoso que el norte; y con la rugosidad que le dan las ondulaciones del relieve terrestre. El geoide es consecuencia del campo gravitatorio terrestre y la atracción ejercida por las grandes masas de rocas de las cordilleras montañosas (no distribuidas homogéneamente sobre la superficie) que modifican el nivel medio del mar, lo que genera que tengamos que hacer correcciones sobre los datos de altura de los puntos ubicados sobre el planeta y la distancia que separa dichos puntos.

## Las dimensiones de la Tierra

La geociencia que se encarga de realizar las mediciones y estudiar lo relacionado con las dimensiones y forma del planeta es la **Geodesia**, que ha tenido un salto significativo con la incorporación de instrumentos ubicados en plataformas espaciales.

En la figura 3.14 se representan algunas dimensiones del planeta. Observa las longitudes del radio polar y el ecuatorial, así como la longitud de la circunferencia ecuatorial y la meridional. Con estos datos puedes calcular las diferencias entre éstos y evidenciar el abultamiento ecuatorial y achatamiento polar que contribuyen a confirmar la forma del geoide.

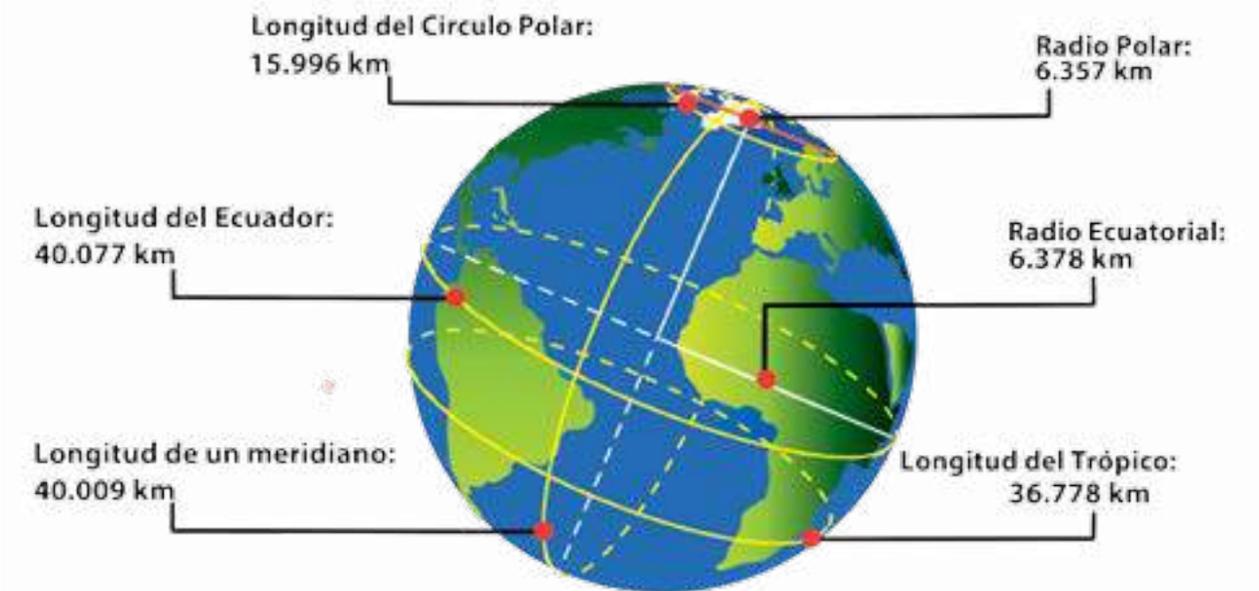


Figura 3.14. Algunas dimensiones del planeta. Se utiliza una representación en forma esférica con el propósito de facilitar la ilustración de círculos, diámetros y radios. Datos redondeados al entero próximo.

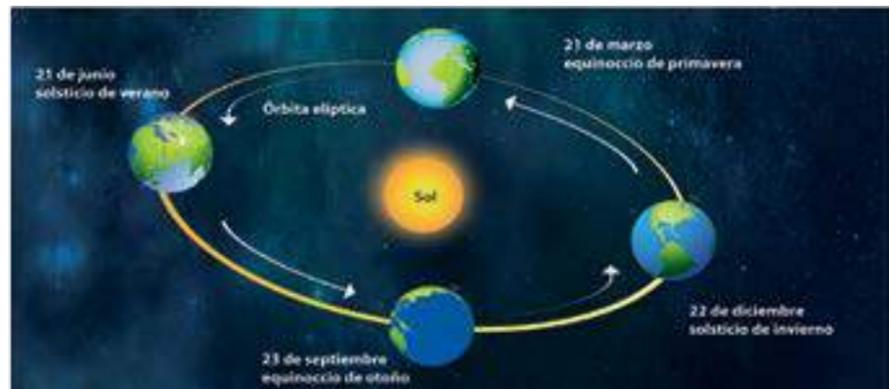
En la tabla 3.4 se colocan algunos datos relacionados con otras dimensiones físicas de la Tierra, que utilizarás en las actividades prácticas. Estos datos están actualizados al 17 de noviembre de 2010. Aunque te parezca que esta fecha es irrelevante, no lo es. Algunos datos cambian con el tiempo, porque permanentemente se están obteniendo resultados cada vez más precisos.

Características	
Masa	$5,9736 \times 10^{24} \text{ km}^2$
Volumen	$108,235 \times 10^{10} \text{ km}^3$
Densidad media	$5,515 \text{ g/cm}^3$
Área	$510.072.000 \text{ km}^2$
Gravedad superficial	$9,978 \text{ m/s}^2$
Edad	$\sim 4.600 \text{ M.a}$

Tabla 3.4. Características físicas de la Tierra.

## Movimientos del planeta

Para continuar caracterizando al planeta, debemos recordar sus movimientos porque no se encuentra inmóvil sino que gira, se traslada en torno al Sol y, adicionalmente, cada cierto tiempo su eje de rotación oscila y cambia de inclinación. Por tratarse de temas más familiares para ti, sólo vamos a tratarlos mediante imágenes en las que se colocan detalles y algunos datos para que te sirvan de referencia en las actividades prácticas planteadas.

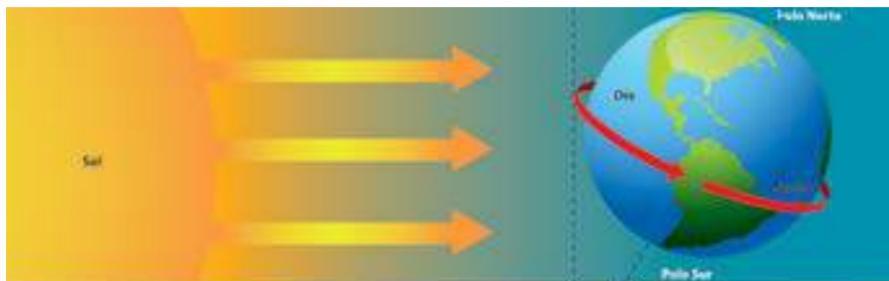


### Traslación

**DEFINICIÓN:**  
Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

**CONSECUENCIAS:**  
Sucesión de las estaciones del año

**DURACIÓN:**  
Año sideral 365 días 6 horas

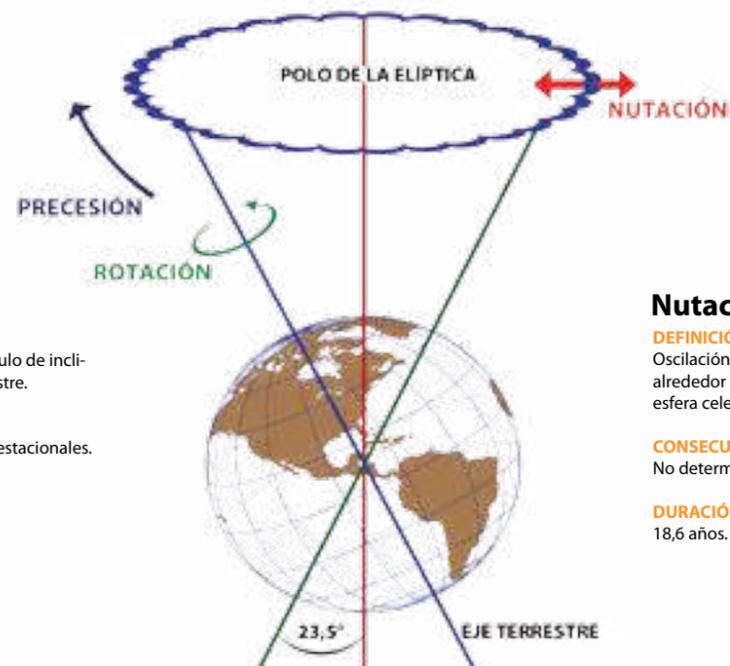


### Rotación

**DEFINICIÓN:**  
Movimiento de la Tierra sobre sí misma.

**CONSECUENCIAS:**  
Sucesión de los días y las noches.

**DURACIÓN:**  
Día sidéreo 23 horas 56 minutos 4 segundos



### Precesión

**DEFINICIÓN:**  
Cambio lento y gradual del ángulo de inclinación del eje de rotación terrestre.

**CONSECUENCIAS:**  
Cambio en el clima y periodos estacionales.

**DURACIÓN:**  
25.700 a 25.900 años

### Nutación

**DEFINICIÓN:**  
Oscilación periódica del polo de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste.

**CONSECUENCIAS:**  
No determinadas.

**DURACIÓN:**  
18,6 años.

Figura 3.15. Movimientos de la Tierra: rotación, traslación, precesión y nutación; con indicación de sus consecuencias y duración relativa del período.

De estos movimientos y de sus particularidades vamos a extraer, para el análisis sistémico de la Tierra, dos hechos que van a tener una incidencia muy importante para la energía necesaria en su funcionamiento. Se trata de la inclinación del eje terrestre, de 23,5 grados, con respecto al plano (eclíptica) de la órbita del planeta alrededor del Sol y la forma de la Tierra. Esta inclinación –que se mantiene a lo largo del período orbital terrestre– provoca que puntos localizados en diferentes posiciones sobre el planeta reciban diferente cantidad de radiación en virtud de que los rayos solares inciden en forma diferencial por la curvatura terrestre.

## La energía de los procesos superficiales

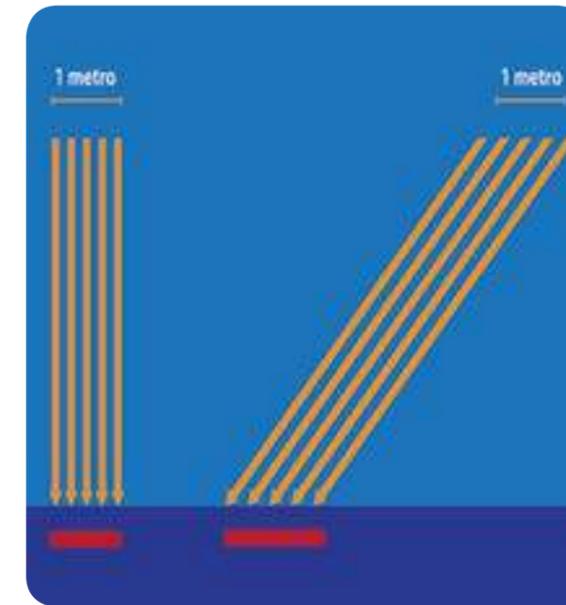


Figura 3.16. Inclinación de los rayos solares y superficie de calentamiento.

Ya hemos visto que la principal fuente de energía para sostener la dinámica superficial del sistema Tierra proviene del Sol. La **insolación** es el número de horas y fracciones de éstas durante las cuales el Sol brilla en un lugar. Esto significa que la insolación va a estar relacionada con la duración del día (horas de claridad y oscuridad), de la estación del año, y de la latitud del lugar, porque –como acabamos de señalar– los rayos solares no llegan con el mismo ángulo de incidencia. En la figura 3.16 se presenta un diagrama con dos ejemplos sobre la incidencia de los rayos solares sobre una superficie. En ella puedes observar rayos solares equivalentes que se diferencian en el ángulo de incidencia. Los de la izquierda inciden perpendicularmente a la superficie y los de la derecha con una inclinación de 45° aproximadamente.

Observa en la figura 3.16 que cuando los rayos solares inciden inclinados, la superficie sobre la cual se distribuyen es mayor, en comparación con la superficie que recibe los rayos solares perpendiculares. Esto hace que el aprovechamiento de la radiación que es absorbida por la superficie, sea mayor cuando los rayos caen perpendicularmente que si lo hacen con alguna inclinación. Otro factor que habría que considerar también es el espesor de la atmósfera: cuando los rayos cruzan la atmósfera en forma perpendicular recorren una menor distancia (equivalente al espesor vertical de la atmósfera), que si lo hacen en forma oblicua, porque la masa de aire que tienen que atravesar tendrá mayor espesor.

El interés que tenemos de que reflexiones sobre estos factores, es para que recuerdes que la Tierra se calienta sólo luego de que la radiación solar es absorbida por la superficie de océanos y continentes. Durante esta absorción, la superficie eleva su temperatura y transfiere esta energía por conducción y convección hacia la atmósfera que está en contacto con ella. Así la energía se transfiere desde la superficie hacia atmósfera y a este proceso se le llama **irradiación**.

Entonces, si tomamos en cuenta que el aprovechamiento de la radiación solar es diferente sobre el planeta como consecuencia de todos estos factores que hemos debatido, estaríamos en condiciones de comprender por qué distintos lugares en el planeta tienen diferentes temperaturas. Esta característica de la Tierra obedece a múltiples causas entre las cuales hemos planteado las siguientes: inclinación del eje terrestre; forma y curvatura de la Tierra; movimientos de rotación y traslación; ángulo de incidencia de los rayos solares; espesor y estado de la atmósfera; características de la superficie expuesta a la radiación, entre otras. Veamos el resultado que se obtiene de la conjunción de todos estos factores en la figura 3.17 en la insolación media global. Recuerda que entendemos por insolación el número de horas de exposición solar de un lugar determinado, lo que va a repercutir en sus temperaturas.

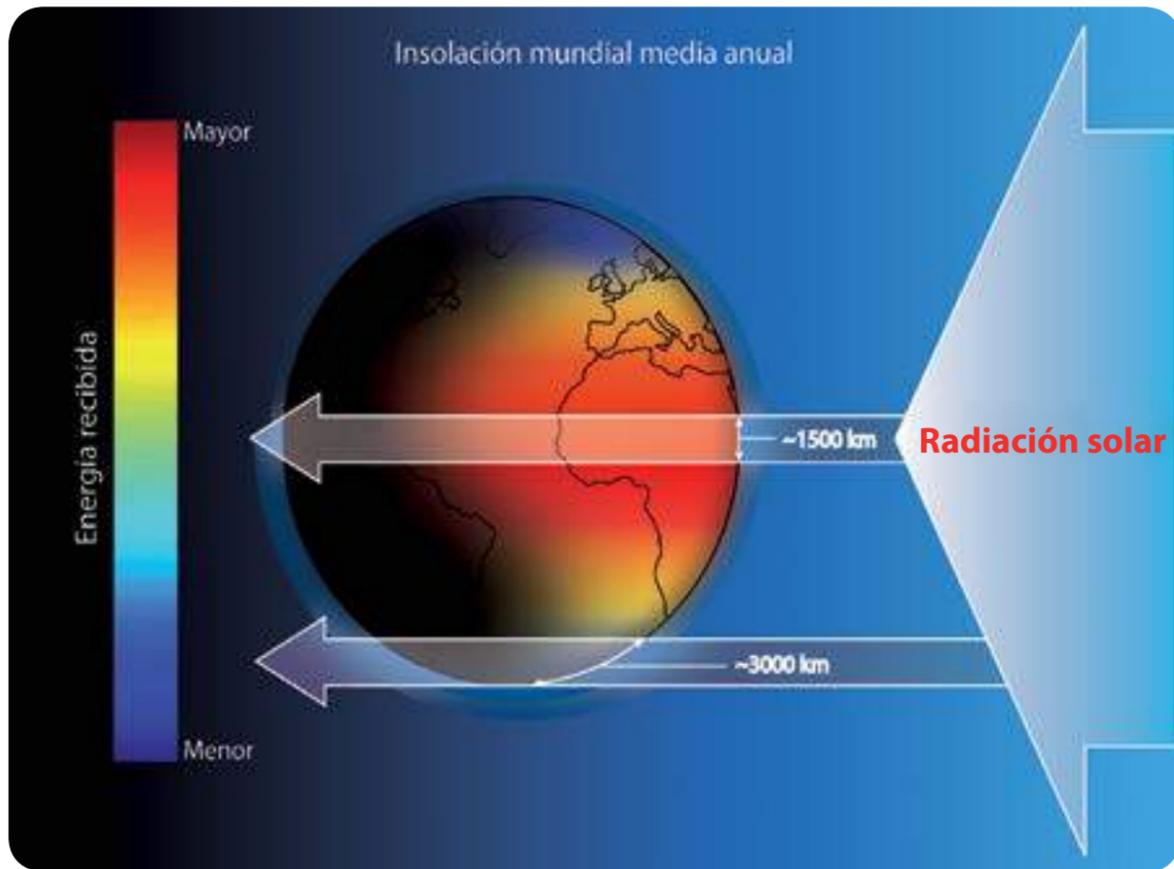


Figura 3.17. Energía recibida, insolación y ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el planeta.

Aunque esencialmente la cantidad de radiación que emite el Sol es constante, cada región de la superficie terrestre recibe una cantidad distinta de luz solar por unidad de superficie. Es así como se producen excesos y déficits regionales en la distribución de la energía que causan variación en las temperaturas en distintos lugares del mundo. Como la Tierra es un sistema dinámico, tiene sus mecanismos internos que le permiten distribuir la energía de la región ecuatorial (que en la imagen puedes ver de color rojo) y mezclar este aire cálido con el aire frío de las latitudes más altas. Este mecanismo de transporte y mezcla de masas de aire a diferentes temperaturas contribuye a mantener el balance energético global.

## Balance energético

No toda la radiación solar alcanza la superficie de continentes y océanos, ni es devuelta después de la misma forma. Ocurren múltiples procesos y puede seguir "distintos caminos". En algunos de ellos la radiación no sufre transformaciones y mantiene sus mismas características o longitud de onda. Por ejemplo, la luz solar reflejada por las nubes, es devuelta al espacio exterior sin transformarse. En otros, la radiación es transformada a otras formas de energía degradadas, menos útiles con frecuencias y longitudes de onda mayores. Te sugerimos revisar nuevamente las características del espectro electromagnético en la lectura 2, figura 2.7, página 35.

El clima y prácticamente la mayor parte de la dinámica superficial están determinados no sólo por la energía proveniente del Sol (insolación) también están condicionados por la radiación neta, es decir, el resultado entre la radiación entrante y saliente del planeta. El balance energético es una propiedad emergente del sistema Tierra. De acuerdo con este balance: la energía entrante (radiación solar de onda corta) es equivalente a la energía saliente (irradiación terrestre).

**El balance energético** es la relación existente entre la energía solar que llega a la atmósfera y la energía que es devuelta hacia el espacio. En condiciones estables las entradas son equivalentes a las salidas. Esta estabilidad es de carácter global, aunque a escala local se puedan observar pequeñas diferencias que se resuelven globalmente porque hay unos mecanismos que transfieren la energía desde unos lugares a otros a través de la circulación atmosférica (vientos) y la circulación oceánica (corrientes marinas y oleaje). Por otra parte, siempre se producirán leves variaciones en los porcentajes del balance energético, según el período en que se calcule y la fuente de los datos utilizada en su determinación. Las mediciones satelitales son las principales fuentes de datos para los balances de radiación global.

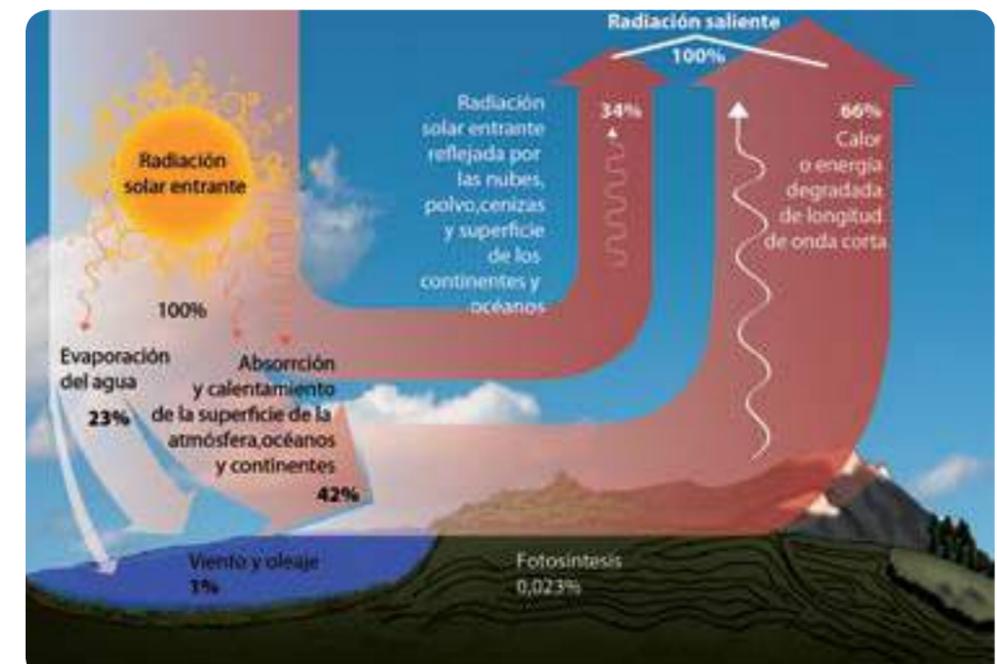


Figura 3.18. Balance energético de la Tierra. En ella se indican los porcentajes de radiación entrante, saliente y los principales procesos de transferencia de energía.

## Intercambio de materia

El movimiento de la materia que vimos en los ciclos biogeoquímicos y en particular el movimiento de los fluidos como los gases y el agua en las geosferas superficiales del sistema Tierra, están gobernados por esta especie de "gran mecanismo" que transforma la energía radiante en energía que es capaz de mover la materia de lugar, cambiar su estado físico, participar en sus transformaciones e impulsar procesos geológicos, biológicos y químicos de diverso orden.

En la figura 3.19 queremos presentarte el modelo del sistema climático propuesto por la NOAA que es una agencia federal de los Estados Unidos, encargada de los asuntos atmosféricos y oceanográficos. Lo interesante de su propuesta es que en forma gráfica han logrado sintetizar la enorme cantidad de interacciones que se producen como parte del comportamiento complejo y dinámico del planeta. Observa la figura 3.19 y analízala con detenimiento.

## Modelo climático

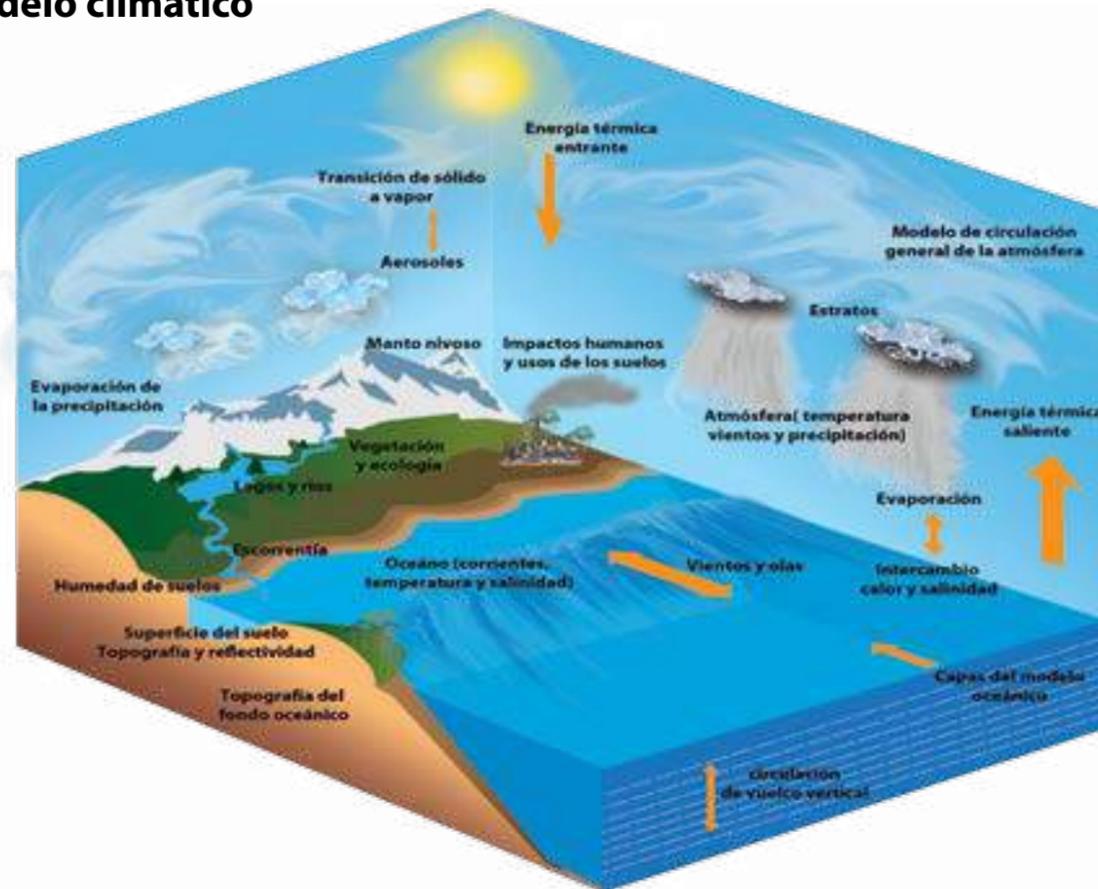


Figura 3.19. Modelo esquemático del sistema climático que incluye las interacciones y los procesos críticos de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la pedosfera. Se incluyen además criosfera y tecnosfera.

En las siguientes páginas de esta apretada revisión de las características de la Tierra como sistema complejo y dinámico, vamos a examinar las geosferas superficiales, es decir la atmósfera, la hidrosfera y la pedosfera desde la perspectiva de que se trata de subsistemas terrestres, poniendo particular énfasis en sus dinámicas, funciones e importancia para el desenvolvimiento global del sistema Tierra.

## La atmósfera en clave de sistema

La atmósfera es la envoltura gaseosa de la Tierra. Comenzó su formación desde el origen del planeta hace 4.600 M.a, pero la mayor parte de la atmósfera primitiva se perdió al escapar hacia el espacio y ser sustituida por gases emanados del interior de la Tierra.

La atmósfera temprana estaba compuesta por vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno por lo que era diferente a la atmósfera actual. Se cree que fue la actividad fotosintética de los seres vivos la responsable de la evolución de la atmósfera de una reductora o sin oxígeno, a una atmósfera oxidante, que adicionalmente provoca que el  $O_2$  reaccione para formar ozono  $O_3$ .

Es importante comprender que desde entonces, los seres vivos han proliferado y aumentado su desempeño en la producción de  $O_2$  y consumo de  $CO_2$  y además se ha incorporando en este aporte, la actividad humana que con sus industrias, vehículos, quema de bosques, tala y otras actividades, agrega  $CO_2$  consume  $O_2$  y otras emisiones de gases diversos.

## Composición relativa de la atmósfera actual

El aire es una mezcla de gases, partículas sólidas en suspensión y vapor de agua en proporciones variables. La composición de la atmósfera varía con la altura sobre el nivel del mar. La tabla 3.5 nos muestra la composición relativa del aire seco.

Compuestos del aire	Proporción
Nitrógeno ( $N_2$ )	78%
Oxígeno ( $O_2$ )	21%
Otros gases: Argón (Ar) Neón (Ne) Helio (He) Hidrógeno ( $H_2$ ) y Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	1%

Tabla 3.5. Composición relativa de la baja atmósfera. No incluye al vapor de agua cuya proporción es variable.

La mayoría de nosotros pensamos que el aire es sólo oxígeno. Al analizar esta tabla podrás darte cuenta de que el aire es una mezcla homogénea de gases en la que predomina el nitrógeno.

## Estructura y límites de la atmósfera

Desde el punto de vista de su composición, la atmósfera se estructura en dos capas o componentes: homosfera y heterosfera. La **homosfera** está compuesta por aire, una mezcla de gases bastante homogénea, mientras que la **heterosfera** tiene una composición de gases que se ordenan en capas de acuerdo con su densidad; los más densos abajo y los menos densos a mayor altitud. Por su ubicación, los menos densos como el H<sub>2</sub> y el He son propensos a escapar hacia el espacio exterior.

Si se toma en cuenta sus propiedades físicas (temperatura, densidad, movimientos) se estructura en 5 capas: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera (también llamada termosfera) y exosfera.

Los límites de la atmósfera son difusos. Su límite superior se ubica a unos 10.000 km, pero a partir de los 100 km de altura, progresivamente va haciéndose más tenue, diluyéndose en el espacio exterior. En su interior, los límites entre capas son imprecisos. A esas zonas de interfaz o contacto, se les llama "pausa": la tropopausa, la estratopausa y la mesopausa. El límite inferior de contacto con las otras geosferas es también difuso, porque hay gases de la atmósfera en la hidrosfera, la biosfera y la litosfera.

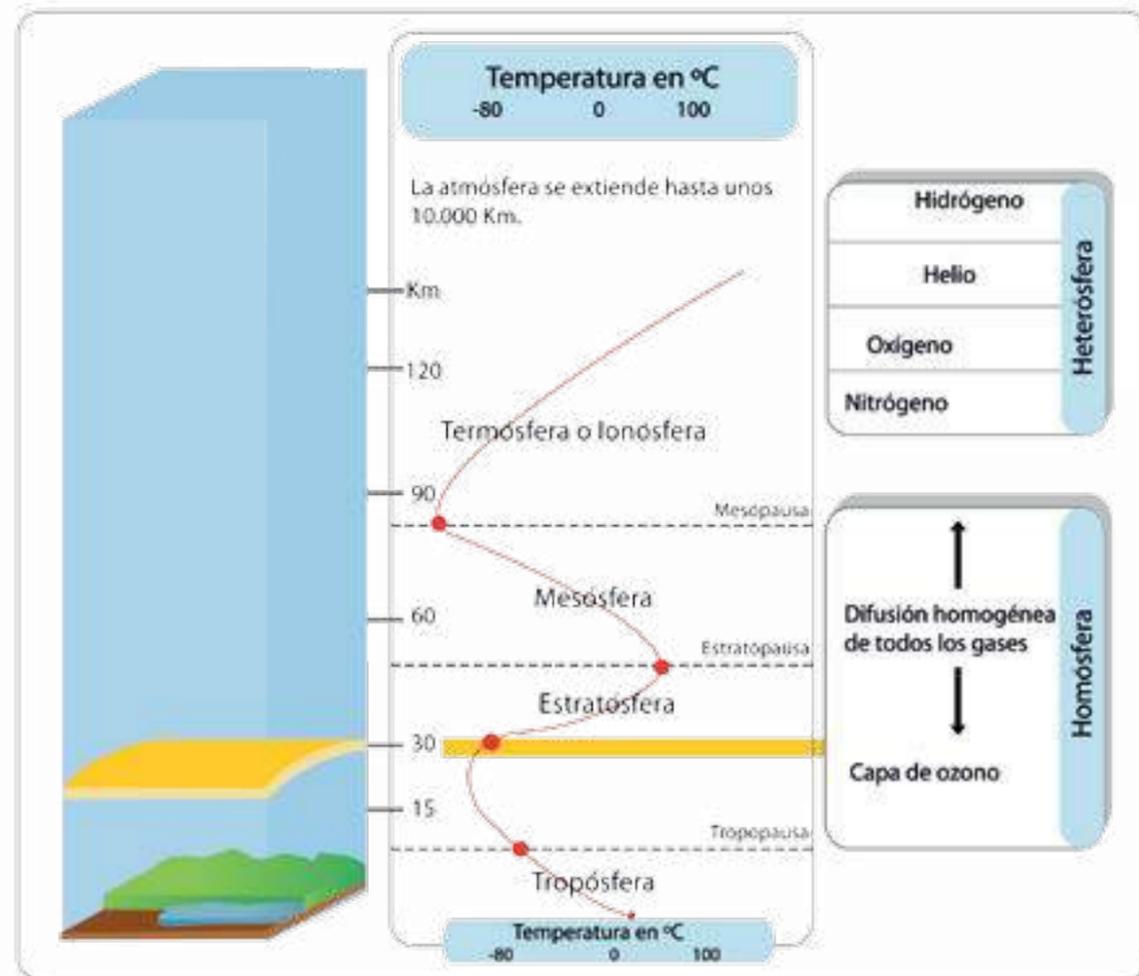


Figura 3.20. Estructura de la atmósfera. La composición varía con la altura sobre el nivel del mar.

## Intercambio de materia y energía en la atmósfera

En el interior de la atmósfera, principalmente en la troposfera y estratopausa se producen fenómenos en los que la materia fluye, entre ellos:

- La materia aire circula a causa de sus variaciones de: temperatura, densidad y presión, a través de los vientos de diferente magnitud, velocidad y dirección.
- La materia agua fluye a través de los procesos de la fase atmosférica del ciclo hidrológico: evaporación, transpiración, sublimación, condensación y precipitación. El agua circula en sus diferentes estados de agregación (sólido, líquido y gaseoso).
- Circula la materia en forma de moléculas que reaccionan químicamente en presencia de la luz solar. Por ejemplo, las reacciones fotolíticas para la formación del ozono, entre otras.
- Los ciclos biogeoquímicos llamados "atmosféricos", porque la mayor parte de los procesos de intercambio de materia tienen lugar en esta capa gaseosa.

En la figura 3.21 se colocan algunas imágenes de la circulación de masas de aire que ocurren en la atmósfera.

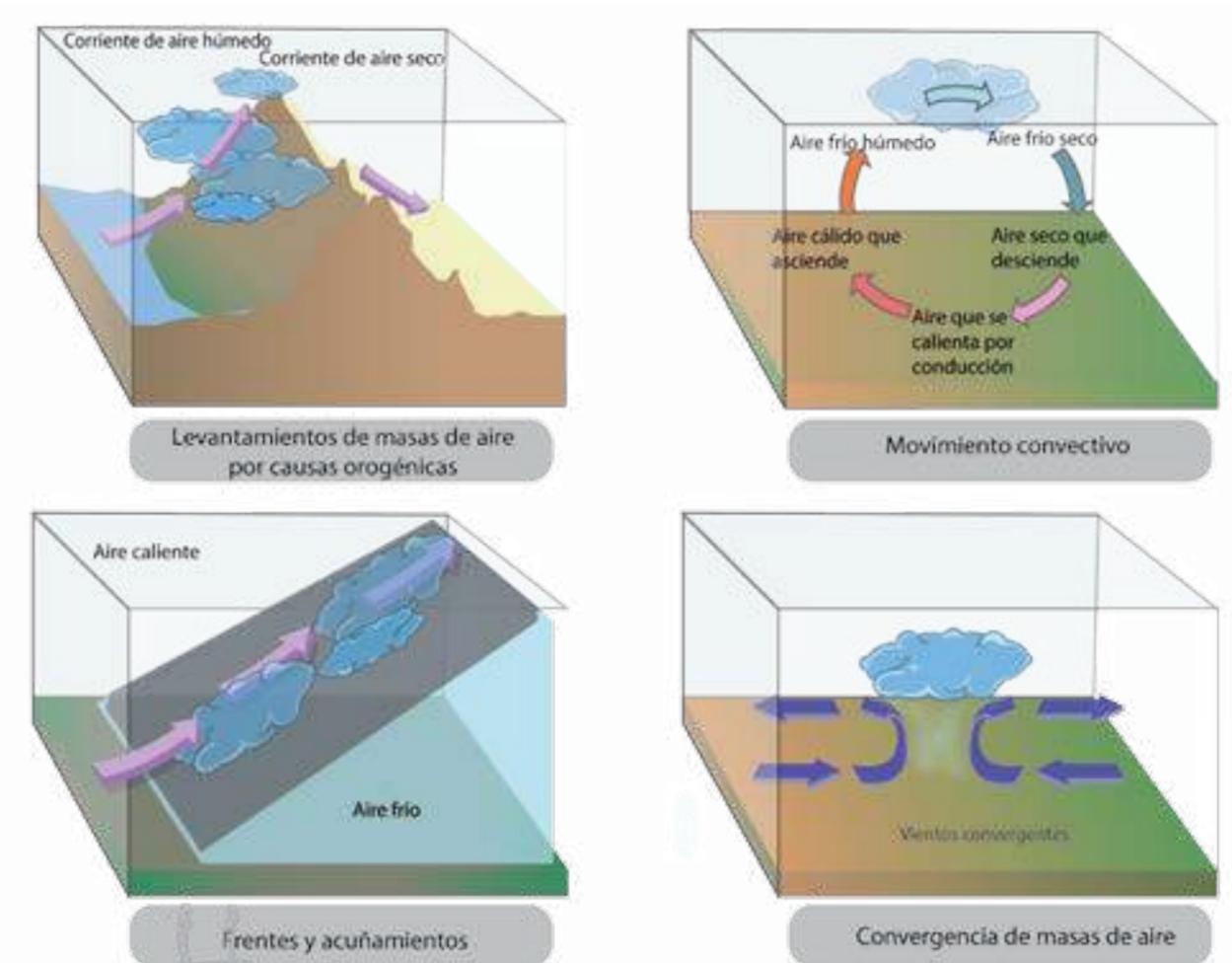


Figura 3.21. Flujo de la materia y transferencia de energía en la atmósfera.

En cada una de las cuatro imágenes se puede apreciar al aire en movimiento para formar corrientes y vientos. Es la materia fluyendo, y una de las muchas formas en que la energía se transfiere a nivel de la atmósfera terrestre. Recuerda que estos movimientos están vinculados a las temperaturas de las masas de aire porque el aire caliente es menos denso que el aire frío, por lo tanto, el aire cálido tiende a ascender mientras que el frío tiende a descender. Otro factor que impulsa el movimiento de las masas de aire es la presión, siendo el sentido del movimiento desde zonas de alta presión hacia zonas de baja presión.

## Dinámica de la atmósfera

Es poco evidente el flujo de materia y la transferencia de energía en la atmósfera, a pesar de nuestra experiencia diaria. Es conveniente recordar que el aire es un fluido que está sujeto a una serie de movimientos y de procesos que generan esa movilidad, especialmente en la troposfera y esta es una característica resaltante de la activa atmósfera.

Todos los movimientos del aire desempeñan un papel importante en el tiempo meteorológico, en la distribución de la humedad, el transporte de la nubosidad, las precipitaciones, la dispersión de polvo, impurezas, aerosoles y otras sustancias nocivas. Además, en su movimiento, el viento es capaz de remover, acarrear y erosionar el suelo, las rocas de la superficie terrestre y grandes cantidades de fragmentos pequeños que potencian su capacidad modeladora. ¿Y de dónde obtiene el aire la energía para moverse de este modo incesante?

Ya discutimos que la insolación varía por la localización del lugar que la recibe y de otros factores como la nubosidad, el color y la textura de las superficies expuestas a ella, el calor específico y latente de los materiales, entre otros factores. Son esas diferencias en los parámetros físicos del aire los que van a impulsar la dinámica atmosférica planetaria.

Los cambios de presión producidos por la diferencia del calentamiento y enfriamiento del aire producen movimientos para equilibrar la diferencia creada. Por tanto, debemos ver a la circulación general de las masas de aire como un mecanismo que busca el equilibrio ante eventuales perturbaciones.

En la figura 3.22 se presenta la circulación general del aire. Observa que así como se delimitan zonas geoastronómicas producto de la energía recibida, vamos a tener celdas que establecen la circulación del aire vinculadas a los paralelos notables: Ecuador, Trópico de Cáncer, Trópico de Capricornio, Círculo Polar Ártico y Círculo Polar Antártico.

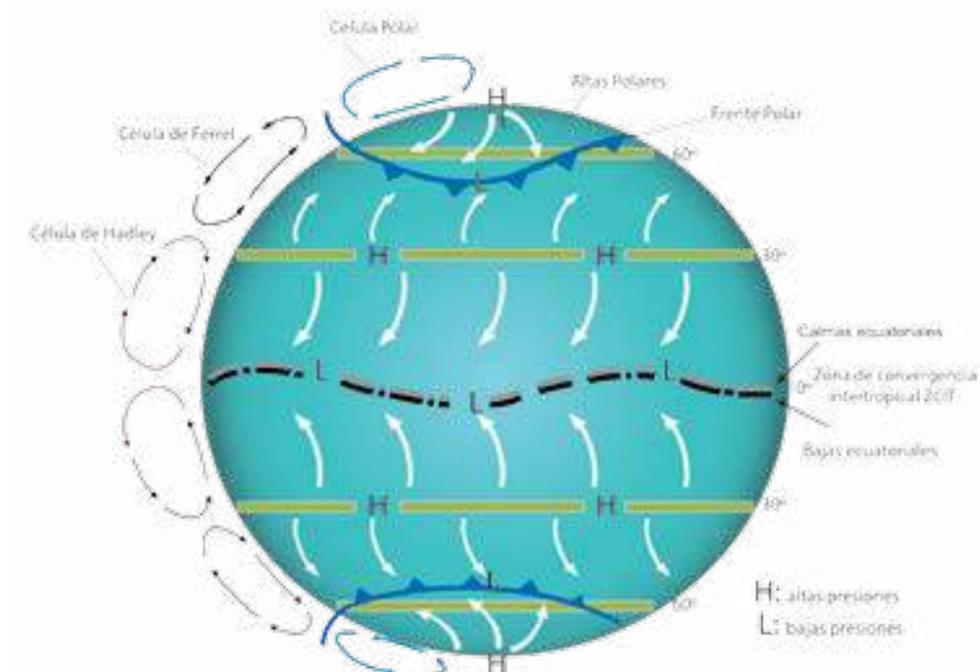


Figura 3.22. Diagrama de circulación general de las masas de aire.

En el diagrama de la figura 3.22 puedes identificar las fuerzas que actúan en los movimientos del aire y los vientos resultantes. Dichas fuerzas son:

- La fuerza del gradiente de presión: según la cual los vientos se mueven desde zonas de alta presión hacia las de baja presión.
- La fuerza de gravedad junto a la presión atmosférica: estas fuerzas actúan en forma conjunta para los movimientos verticales de las masas de aire. La atracción gravitacional terrestre contrarresta las diferencias de presiones que empujan al aire a moverse, pero las diferencias de calentamiento pueden hacer que el equilibrio se rompa y el movimiento ascendente se produzcan en contra de la gravedad.
- Fuerza de Coriolis: se aprecia porque la trayectoria de los vientos se desvían a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur, como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra.

## Propiedades emergentes de la atmósfera

La atmósfera cumple una serie de funciones esenciales para la vida en la Tierra, veamos algunas:

1. Provee oxígeno y dióxido de carbono en las concentraciones adecuadas para el intercambio gaseoso de los organismos (respiración).
2. Genera el llamado efecto invernadero, según el cual, gases que componen la atmósfera, como el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua actúan como pantalla que atrapa y retiene parte de la radiación de onda larga que irradia la superficie. Así se evita que la energía degradada sea devuelta toda al espacio exterior, y se mantengan reguladas las temperaturas medias del planeta durante el día y la noche.

3. Desintegra por fricción los cuerpos sólidos como meteoritos, que ingresan a ella.
4. Ejerce la presión adecuada para el correcto funcionamiento de los organismos.
5. Participa en los ciclos biogeoquímicos, se destaca su participación en el ciclo hidrológico, indispensable para el desarrollo de la vida.
6. Provee la sustentabilidad adecuada para el vuelo de las aeronaves.
7. Actúa como un difusor de la luz, por lo que podemos ver mejor el mundo que nos rodea, incluso en aquellos lugares en los cuales la luz no incide directamente.
8. Filtra la dañina radiación ultra violeta (UV) gracias a la capa de ozono estratosférico.
9. Filtra los rayos cósmicos provenientes del espacio exterior.
10. Permite la formación de tormentas y fenómenos meteorológicos, lo cual brinda agua fresca y redistribuye la energía por todo el planeta.
11. La ionosfera brinda un medio adecuado, con sus partículas cargadas eléctricamente para la difusión de las telecomunicaciones planetarias, tales como ondas de radio, televisión, telefónicas y de Internet.

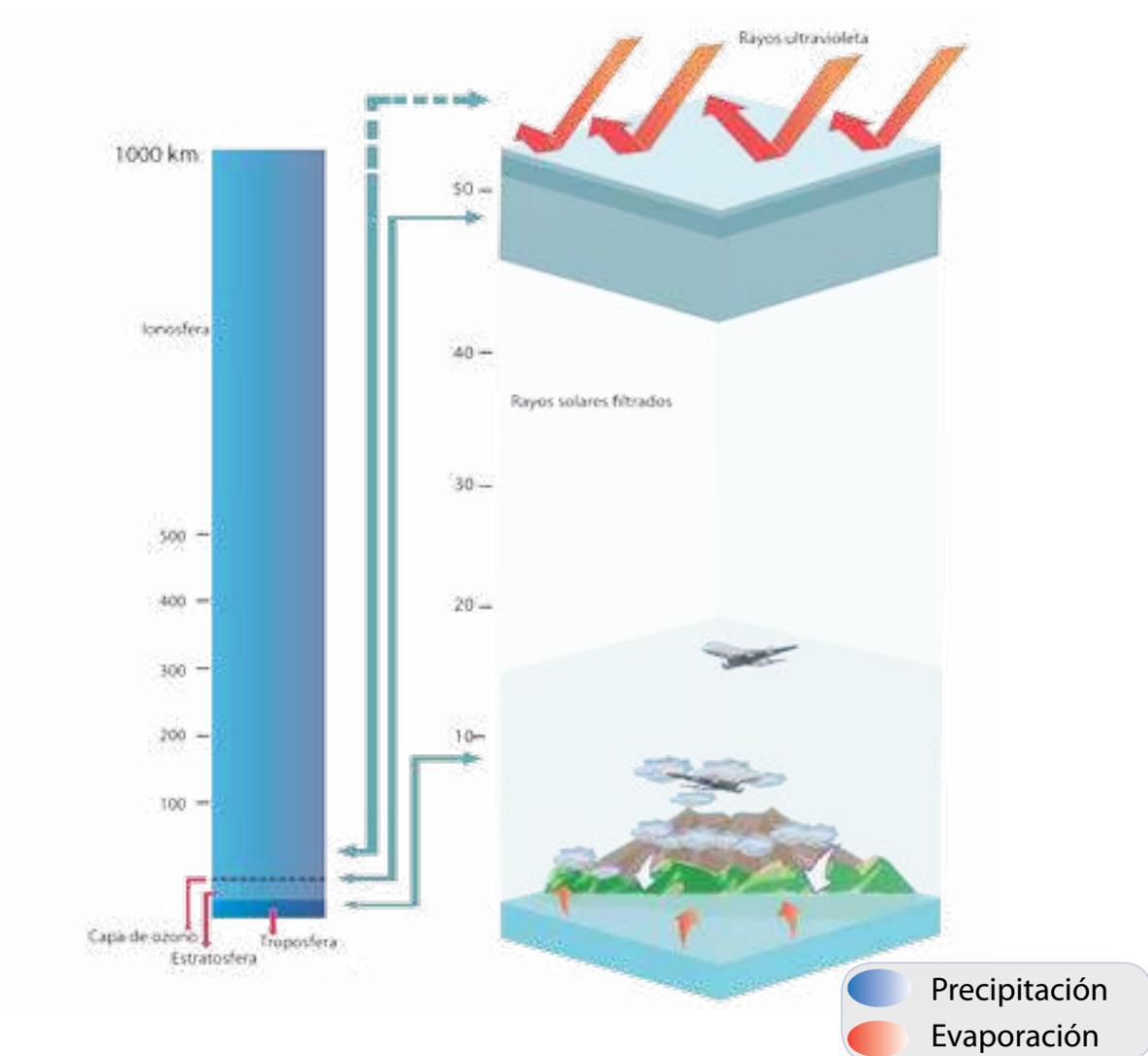


Figura 3. 23. Propiedades emergentes de la atmósfera.

## La hidrosfera en clave de sistema

A nuestro planeta muchas veces se le ha denominado el planeta azul. La razón de esto es que el agua, más que cualquier otra cosa, hace que la Tierra sea un planeta único, porque es un componente importante y esencial para todos los seres vivos. En general, la hidrosfera es una geosfera discontinua, una masa dinámica que está en movimiento permanente, evaporándose de los océanos a la atmósfera, precipitándose sobre la superficie y volviendo de nuevo al océano por medio de los ríos, es decir, realizando lo que conocemos como ciclo hidrológico, que además de mostrarnos el recorrido del agua sobre la superficie terrestre, también es un buen ejemplo de las interacciones de la hidrosfera con la litosfera, pedosfera, atmósfera y biosfera.



Figura 3.24. Distribución global del agua en el planeta.

## Distribución global de la hidrosfera

La mayor parte de la hidrosfera está constituida por el agua de los océanos (figura 3.24). Del total del agua que recubre la superficie terrestre, 1.386.000 km<sup>3</sup>, alrededor del 97%, es agua salada y el otro 3% corresponde al agua dulce.

Esa pequeña cantidad de agua dulce no es insignificante a pesar de su escaso porcentaje ya que es vital para la vida, y se encuentra distribuida entre el agua subterránea, ríos, glaciares, lagos, lagunas, pantanos y capas de hielo glaciar como se observa en la figura 3.24. Esta agua ha sido la responsable de esculpir y modelar muchos de los paisajes que se observan hoy en día en nuestro planeta. La tabla 3.6 muestra de forma detallada la distribución global del agua del planeta.

Fuente del agua	Volumen de agua en kilómetros cúbicos	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos, mares y bahías	1.338.000.000	--	96,5
Capas de hielo, glaciares y nieves perpetuas	24.064.000	68,7	1,74
<b>Total agua subterránea</b>	<b>23.400.000</b>	<b>--</b>	<b>1,7</b>
Agua subterránea dulce	10.530.000	30,1	0,76
Agua subterránea salada	12.870.000	--	0,94
Humedad del suelo	16.500	0,05	0,001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300.000	0,86	0,022
<b>Total lagos</b>	<b>176.400</b>	<b>--</b>	<b>0,013</b>
Lagos de agua dulce	91.000	0,26	0,007
Lagos de agua salada	85.400	--	0,006
Agua atmosférica	12.900	0,04	0,001
Agua de pantanos	11.470	0,03	0,0008
Ríos	2.120	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	0,003	0,0001
<b>Total</b>	<b>1.386.000.000</b>	<b>--</b>	<b>100</b>

Tabla 3.6 Estimación de la distribución global del agua. Fuente: Adaptado de Gleick, P. H. (1996).

## El agua dulce y su importancia

Es necesario destacar que del 3% que corresponde al agua dulce en el planeta es de donde proviene el agua potable para el consumo humano a nivel mundial. De ahí su importancia fundamental y no en vano algunos investigadores han señalado que de llegar a producirse una nueva guerra mundial, la causa principal de esta sería el acceso al agua. En ese sentido, te has preguntado alguna vez, ¿dónde se encuentran los principales reservorios de agua dulce en el mundo? La respuesta a esta pregunta es: en las regiones húmedas tropicales. ¿Y qué países forman parte de esas regiones? Los países mal llamados subdesarrollados o del tercer mundo, como es el caso de Venezuela.

En la tabla siguiente tabla 3.7, se presenta una lista de los principales ríos y países de la región tropical, donde se encuentran los mayores reservorios de agua a nivel mundial.

Ríos	Países	Descarga media anual (m <sup>3</sup> /seg)	Área de drenaje (km <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup> )
Amazonas	Brasil	209.000	6.000
Congo	Zaire	40.900	3.700
Orinoco	Venezuela	35.000	950
Madeira	Brasil	32.000	1.360
Negro	Brasil	28.400	696
Brahmaputra	Bangladesh	20.000	610
Japura	Brasil	18.600	248
Paraná	Argentina	18.000	2.600
Mekong	Vietnam	14.900	810
Irrawady	Myanmar	13.600	410
Tapajos	Brasil	13.500	490
Ganges	India	11.600	980
Tocantins	Brasil	11.800	757
Kasai	Zaire	11.500	861,8
Purus	Brasil	11.000	370
Marañón	Perú	10.876	407
Oubangui	Congo	9.900	550,7
Xingu	Brasil	9.700	504
Ucayalli	Perú	9.544	406
Salween	Myanmar	9.510	325
Madre de Dios / Beni	Brasil/Bolivia	8.920	282,5
Ica	Brasil	8.800	143,7
Jurua	Brasil	8.440	185
Mamore	Brasil/Bolivia	8.225	589,5
Guaviare	Colombia	8.200	114,2
Magdalena	Colombia	7.200	257
Zambezi	Mozambique	6.980	1.400
Araguaia	Brasil	6.100	377
Caroní	Venezuela	5.000	93,5
Fly	Nueva Guinea	4.760	64,4
Uruguay	Argentina/ Uruguay	4.660	365
Meta	Venezuela	4.600	105,4
Napo	Perú	4.595	122
Caura	Venezuela	4.000	47,3

Tabla 3.7. Principales ríos y países donde se encuentran las mayores reservas de agua dulce a escala mundial.

Como se puede observar de manera general en esta tabla, la mayoría de los ríos más importantes del mundo se encuentran en el continente sudamericano, de hecho la cuenca más grande la integran todos los ríos que forman parte del río Amazonas, con una cuenca de drenaje de 6 millones de km<sup>2</sup> y una descarga media anual de 209.000 m<sup>3</sup>/seg. Es de destacar, para el caso de Venezuela que en la mencionada tabla se encuentran presentes entre otros el río Orinoco y algunos de sus afluentes principales como el Caroní, Caura, Guaviare y el Meta. El río Orinoco es el tercer río más grande del mundo cuya cuenca cubre un área de 950.000 km<sup>2</sup> y una descarga media anual de 35.000 m<sup>3</sup>/seg.

Venezuela no sólo es un país con importantes reservas de petróleo, gas y otros recursos minerales, sino también de agua pues posee una de las mayores concentraciones y diversidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos, riqueza equiparable sólo con pocos países localizados en las zonas de latitudes bajas y medias de América y Sureste de Asia. El volumen de agua por escorrentía y drenaje es de aproximadamente 1.248.402 x 10<sup>2</sup> metros al año. De ese total, el 85% proviene de la cuenca del río Orinoco y el 15% restante de la vertiente del Caribe.

En cuanto a las aguas subterráneas, éstas constituyen una parte esencial del ciclo hidrológico. La explotación de estos acuíferos permite la extracción de volúmenes de agua en un tiempo concreto y a veces corto; por lo tanto, permiten la solución a demandas de agua en tiempos de emergencia, tal como sucede en las épocas de sequía, cuando ocurren averías considerables en tuberías y acueductos, o en regiones de clima árido o semiárido, como es el caso de algunas áreas de Venezuela, por ejemplo, la Península de Paraguaná, la Península de la Guajira o en áreas costeras venezolanas. En muchas regiones como éstas, las aguas subterráneas son la única alternativa y/o complemento para el abastecimiento, particularmente en aquellos casos donde la disponibilidad de las aguas superficiales es deficitaria en determinadas épocas del año.

Finalmente, habría que señalar que el agua además de ser un elemento esencial para la vida, también tiene otros usos entre los que podemos mencionar el agropecuario, industrial, hidroeléctrico, pecuario, minero, navegación, cultivo de especies dulceacuícolas, turismo y de recreación. Según datos del 2004, publicados por Instituto Nacional de Estadística (INE), el consumo de agua en Venezuela se reparte en tres grandes sectores: 46% agropecuario, 43% uso doméstico y el 11% restante es de uso industrial.

### El agua de mares y océanos

Cómo ya pudiste observar, el 97% de la hidrosfera está constituida por el agua salada de mares y océanos que son sus mayores reservorios. De hecho, esa apariencia de abundancia de agua que desprevenidamente suelen tener las personas, viene dada por la extensión de las áreas cubiertas por los océanos. En la tabla 3.8 puedes apreciar la superficie abarcada por los océanos terrestres.

Océano	Superficie en Km <sup>2</sup>
Pacífico	179.700.000
Atlántico	106.100.000
Índico	74.900.000
Glacial Ártico	14.060.000
Glacial Antártico	8.000.000

Tabla 3.8. Superficie cubierta por océanos.

Estos datos te van a servir para trabajar algunas de las actividades prácticas, por ahora nos interesa que analices las grandes extensiones que tienen los océanos Pacífico y Atlántico. En años anteriores has trabajado con este tema y seguramente recuerdas que aunque se trata de volúmenes muy grandes de agua salada, cuando se compara con el volumen del planeta realmente equivale a una pequeña película de agua sobre su superficie. El agua realmente es un recurso escaso y finito.

El agua de mares y océanos es una disolución que contiene principalmente sales equivalentes al 3,5% en peso, cuyos iones se encuentran en las proporciones indicadas en la tabla 3.9.

Iones	Concentración (%)
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	55
Sodio (Na <sup>+</sup> )	30,6
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	7,7
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	3,7
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	1,2
Potasio (K <sup>++</sup> )	1,1
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,4
Otros	0,3

Tabla 3.9. Concentración media en peso de los principales iones disueltos en el agua de mar.

Como puedes observar los iones más abundantes corresponden al cloro y el sodio, por tal motivo se extrae sal común (NaCl) en salinas.

Además, el agua de mar contiene gases disueltos que provienen de la atmósfera y esto hace que los mares y océanos sean un reservorio que participa en los ciclos biogeoquímicos del CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y desde luego, del agua. Con esto, puedes darte cuenta de cómo ocurre el desplazamiento de materia en la hidrosfera, de lo cual hemos tratado en esta lectura.

Sin embargo, la salinidad es variable y va a depender de una serie de factores como la tasa de evaporación, el aporte de agua dulce de ríos entre otros factores. En la figura 3.25 puedes observar una imagen con información de la salinidad de los océanos del planeta.

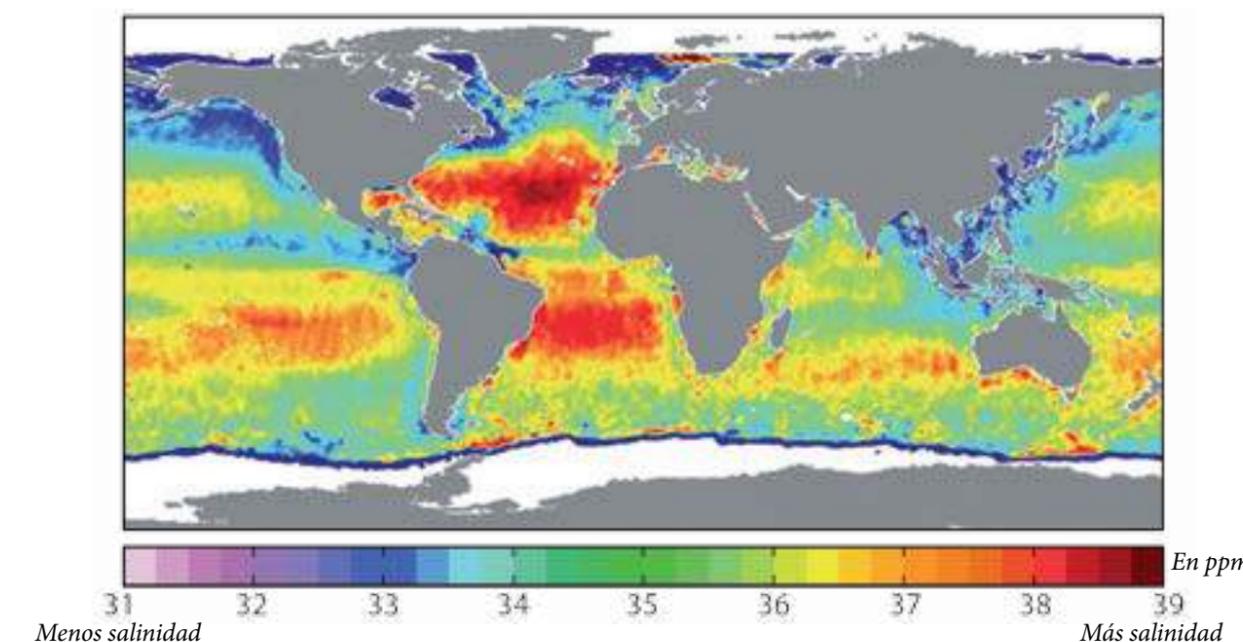
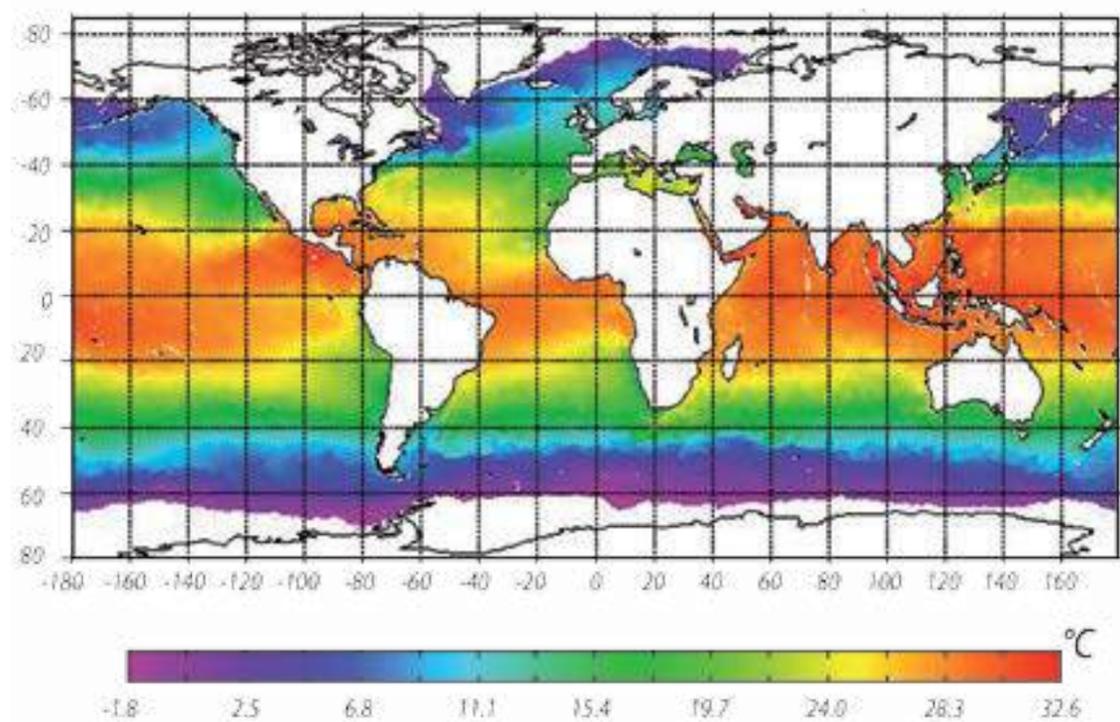


Figura 3.25. Salinidad global de océanos, medida por el satélite SMOS de la Agencia Europea Espacial ESA.

Las temperaturas superficiales del agua de los océanos están relacionadas con la insola- ción, su profundidad, la visibilidad y diafanidad de las aguas, y por supuesto con los movimien- tos como las corrientes y el oleaje. Tal como discutimos cuando tratamos el balance radiativo del planeta, la superficie del agua de océanos y mares recibe la radiación solar de onda corta que llega a su superficie y una parte de esta es transferida para los procesos de calentamiento y evaporación. Es bueno recordar que el agua se caracteriza por poseer alto calor específico, lo que significa que requiere mayor cantidad de energía para elevar su temperatura en compa- ración con la superficie continental. Es así como los procesos de transferencia de energía en el agua son:

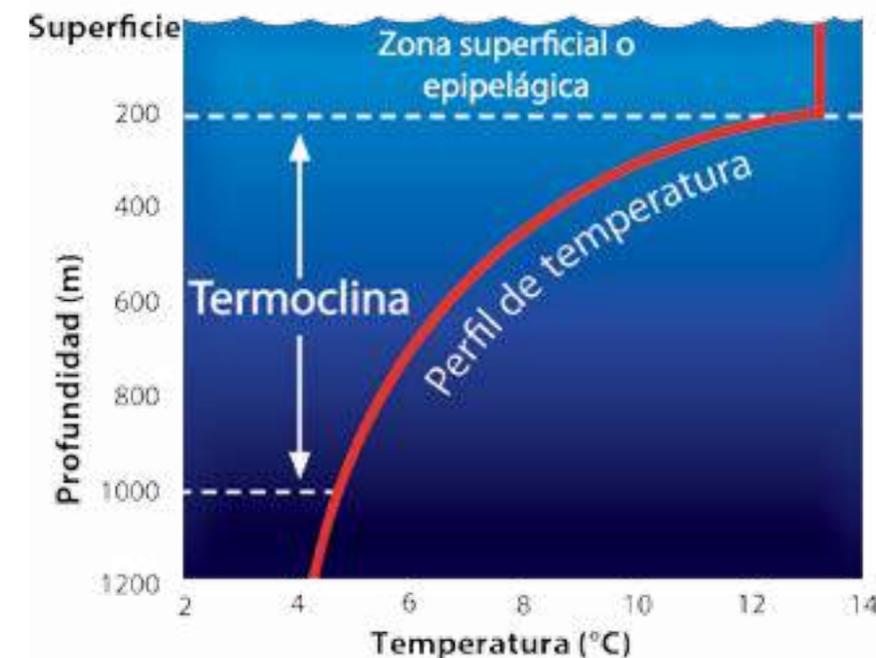
- **Ganancia de energía:** el agua deja pasar los rayos solares de modo que éstos pueden penetrar a través de considerables volúmenes de agua.
- **Calentamiento:** la temperatura se eleva muy moderadamente y los movimientos del agua propician que el agua cálida, ceda energía a las masas de agua frías por conduc- ción y convección. Por otra parte, la energía recibida es también invertida en la evapo- ración.
- **Irradiación:** el agua cede moderadamente la energía degradada de onda larga hacia la atmósfera, con lo cual mantiene por más tiempo su temperatura estable y su enfriamien- to es lento.

La imagen de la figura 3.26 es una composición con las temperaturas superficiales del agua de los océanos, elaborada por la Agencia NOAA. Al observar esta imagen ¿Encuentras algu- na semejanza con la distribución de la insolación y las temperaturas atmosféricas que examina- mos anteriormente?



**Figura 3.26.** Temperatura del agua de los océanos en grados centígrados. Fuente NOAA. Fechas: 26/05/2009 al 30/05/2009.

Finalmente, conviene examinar también el comportamiento de las temperaturas con la profundidad como lo hicimos con la atmósfera. En la figura 3.27 se presenta la gráfica típica de la relación de estas dos variables en un océano.



**Figura 3.27.** Variación de las temperaturas en función de la profundidad del agua de un océano típico.

Como puedes observar en la gráfica, en la zona llamada epipelágica las temperaturas se mantienen constantes. Esta es la zona que recibe los rayos solares, se calienta durante el día moderadamente y cede su energía en los procesos de irradiación y evaporación. La termoclina se corresponde con la zona o capa donde las temperaturas disminuyen abruptamente hasta estabilizarse, por lo tanto es una zona de transición térmica de los océanos en sentido vertical. Esta termoclina puede presentar oscilaciones o cambios periódicos en su ubicación que son estudiados para interpretar algunos fenómenos meteorológicos periódicos. Los fenómenos de la Niña y el Niño guardan relación con el comportamiento oscilante de la ubicación en profundidad de la termoclina de las aguas del Pacífico ecuatorial.

### Dinámica de la hidrosfera

Con lo que hemos visto y lo que has venido estudiando acerca del agua en los años ante- riores, resulta indudable que la dinámica es una condición inherente a la hidrosfera.

Las propiedades únicas y esenciales del agua como sustancia dipolar, la convierte en el agente disolvente universal capaz de transportar disueltos gran cantidad de materiales y que por adhesión y cohesión tiene la posibilidad de conducirse por tubos finos, espacios pequeñísimos y poros de los tejidos de los seres vivos y el suelo. De manera que sus propiedades excepcionales hacen de la hidrosfera un subsistema cuya dinámica es incesante

La hidrosfera es un subsistema terrestre que está estrechamente ligado con los otros subsistemas entre otras razones, porque en su dinámica regula el clima, participa en la formación y evolución de los suelos, actúa en el modelado del relieve y sostiene la vida.

Como muchos aspectos de su dinámica continental han sido trabajados en años anteriores, vamos a revisar ahora la dinámica oceánica, recordando que hay también una dinámica fluvial, una dinámica glaciaria, una atmosférica e incluso una dinámica hidrogeológica donde el agua ocupa un papel muy importante en los procesos magmáticos y de alteración metamórfica.

El carácter salino del agua de mares y de océanos, la variación de la salinidad y de temperaturas; junto a la intervención de los vientos generan una dinámica superficial y vertical de las aguas de los mares y océanos.

Por su parte, el viento provoca el oleaje, movimiento ondulatorio que se propaga hasta la línea de costa, donde transmite su energía al relieve y lo modela gradualmente.

Tomando en cuenta las variables de temperatura y salinidad se produce una circulación en las aguas de los océanos que está influenciada por el movimiento de rotación terrestre. Son las corrientes que, en forma semejante a la circulación del aire, se ven afectadas por la fuerza Coriolis en su desplazamiento. En la figura 3.28 se presentan de manera simplificada las principales corrientes del planeta.



Figura 3.28. Corrientes marinas.

Prácticamente por acción de las corrientes, el agua oceánica del planeta se mueve y trasvasa como si se tratara de una "cinta transportadora", para conformar un océano global en el que circula el agua de un lugar a otro, moderando el clima al transportar aguas cálidas hacia zonas frías y viceversa, acarreando nutrientes de un lugar a otro, lo que sin duda habla de su enorme dinamismo.

## Propiedades emergentes de la hidrosfera

- La coexistencia del agua en los tres estados de la materia durante miles de millones de años ha permitido el desarrollo de la vida, lo que le otorga al sistema Tierra un carácter único en el Sistema Solar.
- La combinación de propiedades físicas y químicas del agua es esencial y definitiva para la dinámica general del resto de los subsistemas terrestres. Estas propiedades incluyen la manera como el agua absorbe y cede energía, refleja la luz, se expande al congelarse y disuelve materiales.
- El agua juega un papel estelar en procesos geológicos en el interior de la Tierra. Sin ella la fusión de rocas y existencia del magma que surge en las erupciones volcánicas no sería posible; facilita el metamorfismo de los materiales. El agua ocupa un rol crucial en la tectónica de placas. Por otra parte, el hielo es esencial como agente poderoso de la meteorización, erosión y modelado.
- El ciclo hidrológico se revela como la conjunción de las propiedades emergentes de la hidrosfera.

## La pedosfera en clave de sistema

El suelo representa una superficie esférica discontinua denominada pedosfera, que se caracteriza por ser de escaso espesor (0 a 0,01 km), por lo que se concibe como un delgado manto o "epidermis" del planeta que está restringido esencialmente a las áreas continentales emergidas no cubiertas por el hielo, o donde éste está ausente.

En general, se considera al suelo como un cuerpo natural trifásico es decir formado por tres componentes: sólidos (partículas minerales y orgánicas), líquido (agua) y gases como se representa en la figura 3.29.

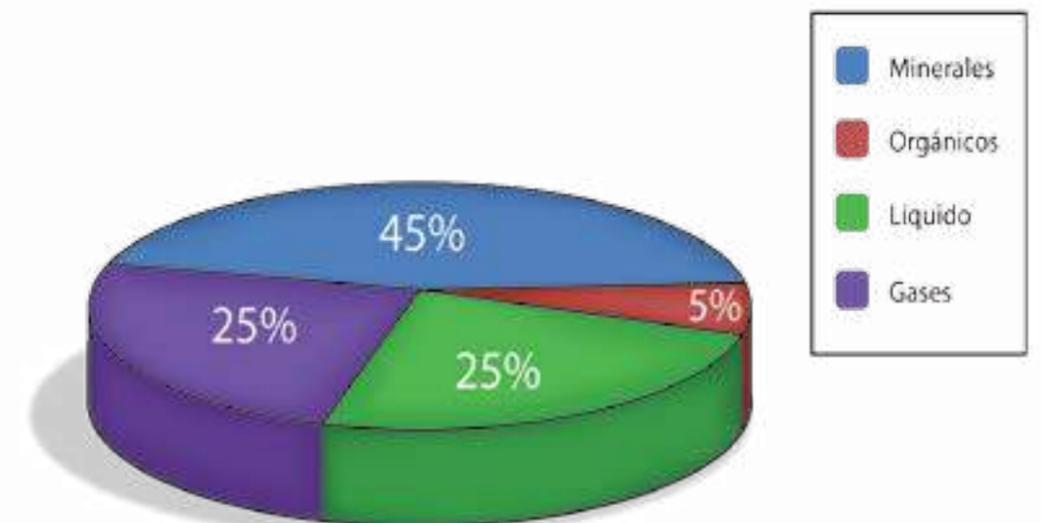


Figura 3.29. Componentes trifásicos del suelo.

Existen otras visiones respecto a lo que es el suelo, por ejemplo, para los agrónomos el suelo es el sitio donde viven y crecen las plantas y animales, los cuales son muy importantes en el mantenimiento de la vida humana. Para un ingeniero civil, el suelo será el sitio sobre el cual habrán de construirse edificios, carreteras, casas, autopistas o cualquier otro tipo de obras de infraestructura. Para un ingeniero de minas, el suelo será el material que recubre las rocas y minerales que desea extraer y procesar. El edafólogo estudia al suelo desde el punto de vista de su uso como medio para el crecimiento de las plantas, asociado a la actividad agrícola. Finalmente, el pedólogo estudia el suelo como un producto de origen natural, que proviene de la desintegración de las rocas por la acción que ejerce, la biosfera y la atmósfera, sobre las mismas.

### Ciclo geológico y el suelo

El ciclo geológico se compone de dos fases, una superficial y otra profunda (figura 3.30).

Este ciclo permite ver al suelo como uno de los cuerpos resultantes de la evolución de la Tierra y evidencia su participación activa en dicha evolución. En tal sentido, el suelo constituye un buen ejemplo de las interacciones que se producen entre los diferentes componentes del sistema Tierra. En el ciclo geológico, estas interacciones se resumen en lo que se ha denominado **la secuencia pedogenética**, que puedes observar en la figura 3.31.

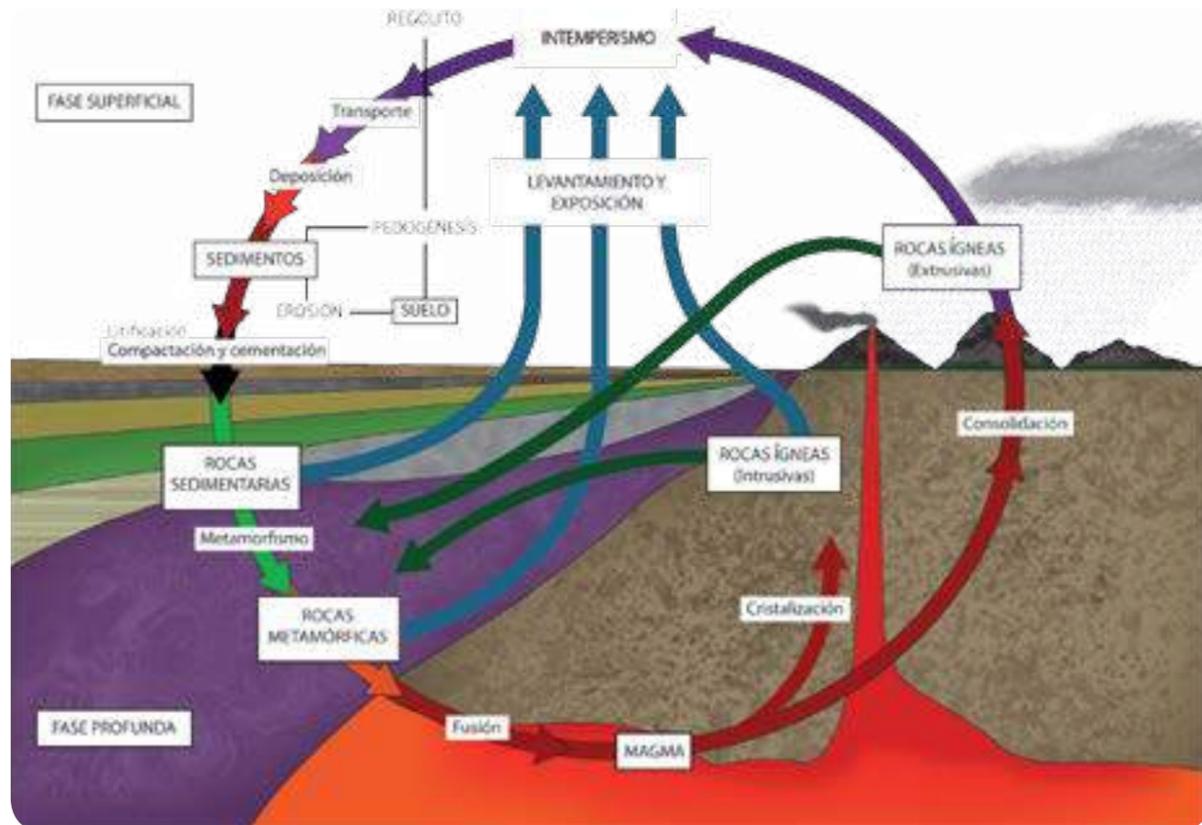


Figura 3.30. Ciclo geológico que incluye la formación del suelo y la pedogénesis.

En general, se observa en esta figura que tanto el sedimento como el regolito son sometidos a la **pedogénesis** con la participación de los procesos de meteorización, la biomasa y la actividad biológica, lo que da lugar a la formación del suelo.

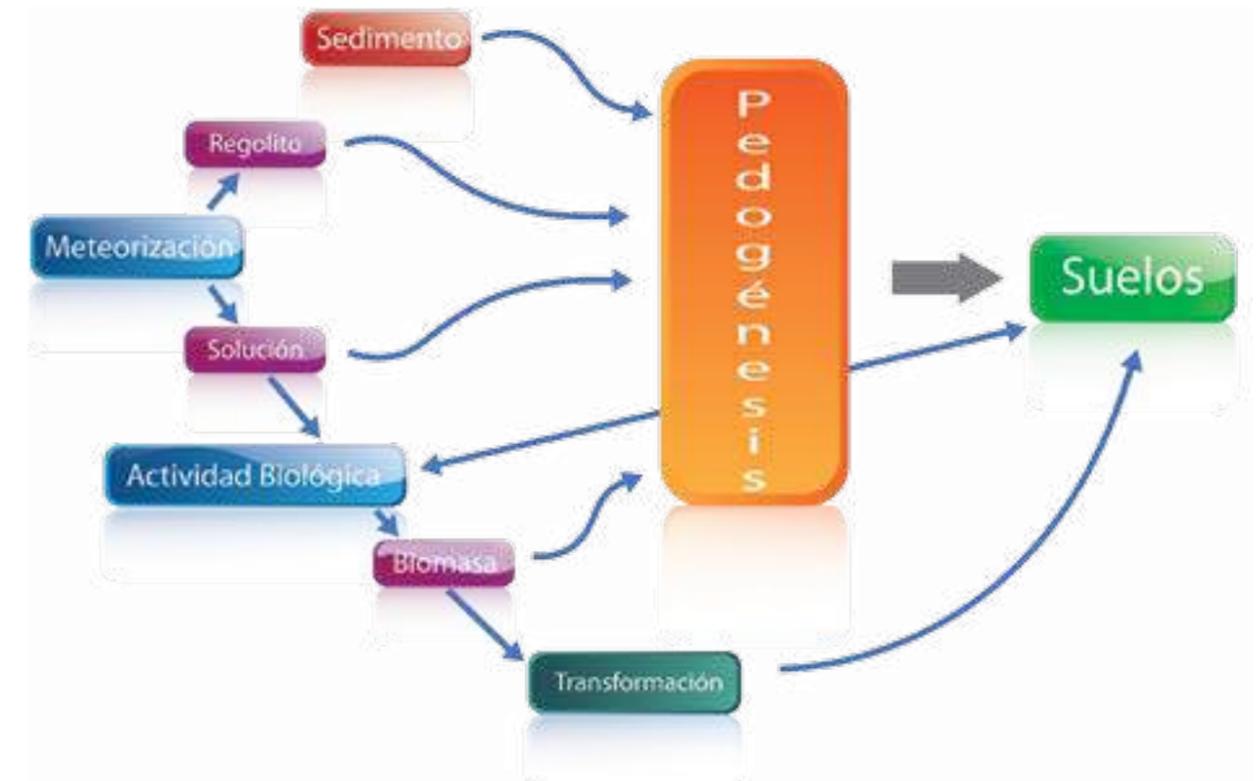


Figura 3.31. Secuencia pedogenética.

### El perfil del suelo

El perfil del suelo es un corte o sección vertical donde se pueden apreciar las capas que constituyen a un determinado suelo y que se desarrollan a distintas profundidades por debajo de la superficie. Estas capas horizontales, que pasan de una a otra de forma más o menos gradual, abrupta o difusa, se conocen como los horizontes del suelo y se identifican mediante una nomenclatura constituida por las letras mayúsculas A, B, C y D. Estos horizontes son conocidos también como horizontes maestros del suelo. La figura 3.32, muestra un perfil idealizado de suelo con los horizontes previamente señalados.

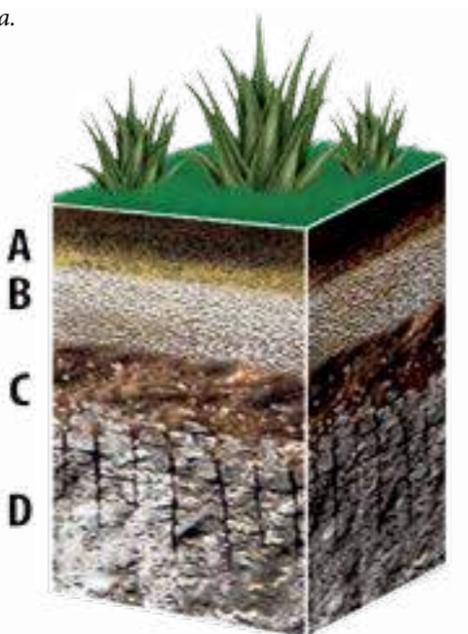


Figura 3.32. Perfil idealizado de suelo

No obstante, en la realidad no todos los perfiles de suelo van a presentar esa misma cantidad de horizontes y eso va a depender del grado de desarrollo del suelo, asociado a los procesos y factores formadores del mismo como se ilustra en la figura 3.33.

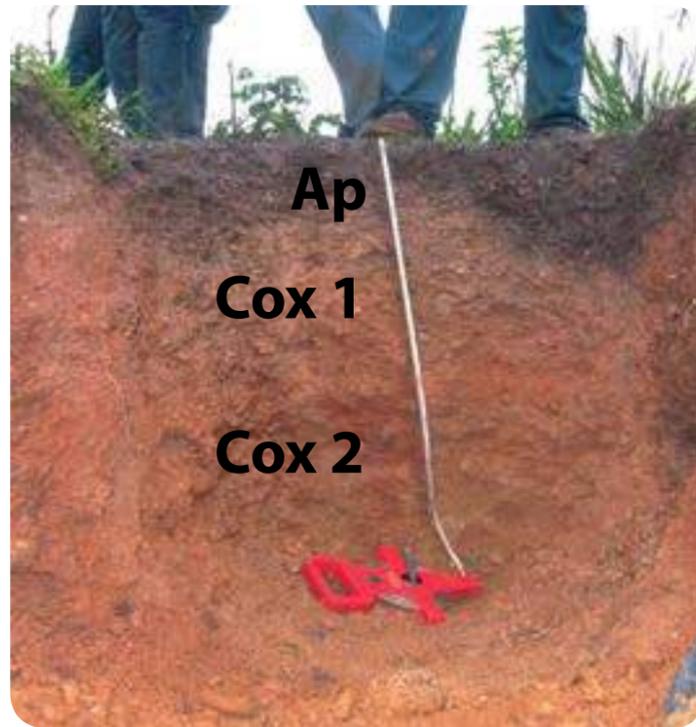


Figura 3.33. Perfil de suelo terraza fluvial del sector Las Marías, margen izquierda del río Portuguesa, estado Portuguesa.

### Formación del suelo (pedogénesis)

Ahora, cabe preguntarse, ¿cómo se forma un suelo?, ¿qué factores y procesos actúan en su formación? Está claro que las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) y los productos resultantes de su alteración (regolitos, saprolitos y sedimentos), representan el primer factor importante en la formación del suelo, ¿pero qué otros factores influyen?

El suelo se forma a partir de una roca, pero, además, de restos vegetales y animales, por tanto la **materia orgánica** constituye un factor importante. Igualmente, si se comparan suelos, por ejemplo, de regiones húmedas con suelos desarrollados en regiones áridas, es evidente el importante papel que juega el **clima** en la formación del suelo. Por otro lado, si se analiza la distribución de los suelos en áreas montañosas observaremos que los suelos se presentan de forma escalonada en el paisaje, en este sentido el **relieve** viene a ser otro factor. Es evidente también que para que se desarrolle la pedogénesis y se produzcan los cambios en el material parental, es necesario que transcurra un determinado período de **tiempo**. Un último factor que interviene en la formación del suelo son los **seres humanos**, ya que cambian su condición natural cuando intervienen al suelo a partir de la actividad agrícola. En la figura 3.34, se muestra la interrelación que existe entre estos factores y la formación del suelo.



Figura 3.34. Factores formadores del suelo.

En la figura 3.35 se sintetiza la activación de los cinco factores formadores del suelo ya descritos brevemente y en ella desde el punto de vista didáctico se pueden distinguir dos etapas: la inicial que representa la diferenciación de los constituyentes del suelo, donde se produce la fragmentación de las rocas originales y también los restos de organismos que colonizan poco a poco al material parental. Esta disgregación facilitará la circulación del aire y el agua y favorecerá también la actividad biológica, todo lo cual conducirá a la alteración química y física del material parental y con este proceso comenzará la formación del suelo.

Los restos de vegetales y animales se transformarán en un nuevo material orgánico que evolucionará para dar origen al humus del suelo, que entre otras cosas es el que le da el color oscuro al horizonte A.

La segunda fase, ilustrada en la figura 3.35, nos revela cómo todos los constituyentes generados en la etapa inicial (minerales, soluciones, agua y gases) experimentan una serie de procesos que conducen, a la formación del suelo y a la producción de sedimentos.

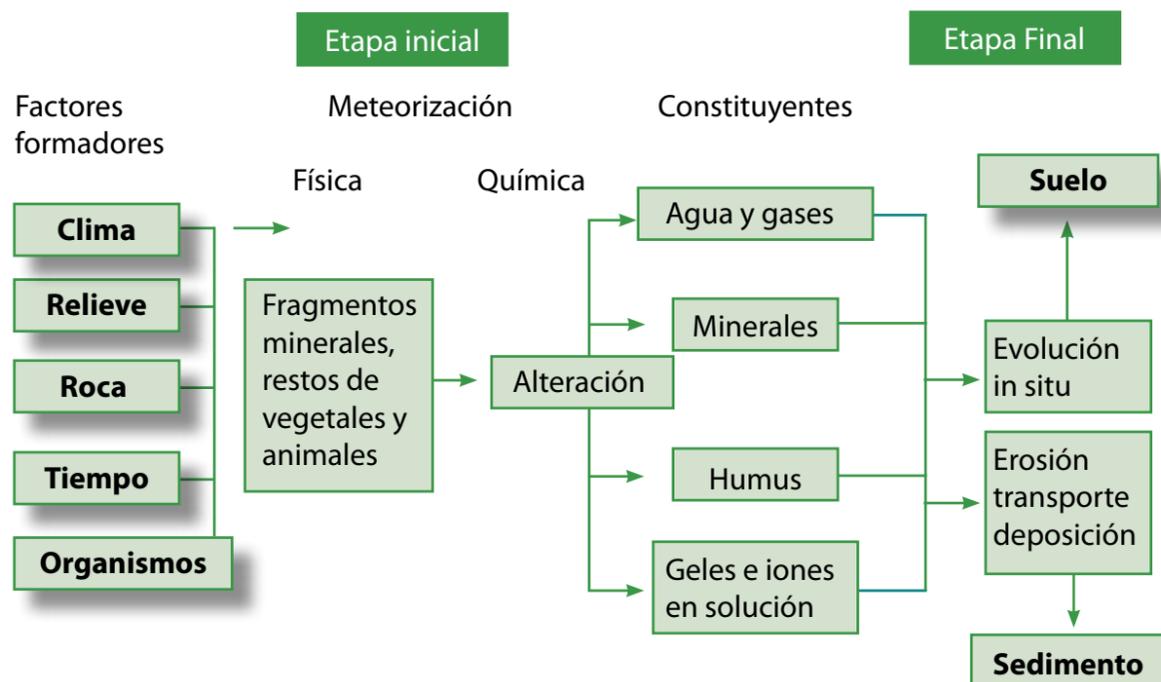


Figura 3.35. Esquema general que sintetiza la formación del suelo.

Paralelamente, a los factores anteriormente discutidos se producen una serie de procesos muy heterogéneos y complejos que finalmente conducen a la formación del suelo. De éstos sólo se van a discutir brevemente algunos de los procesos básicos que intervienen durante la pedogénesis. Estos procesos son meteorización física, meteorización química y translocación o transferencia de sustancias, dentro del perfil del suelo.

La **meteorización física** permite la disgregación del material original, y la presencia de fragmentos de rocas y minerales diseminados dentro del perfil de suelo. Por su parte, la **meteorización química** se produce por el contacto de las rocas y minerales con el aire y sobre todo el agua, que los descompone y disuelve para dar lugar a la formación de nuevos compuestos en el suelo.

Igualmente, los organismos atacan los minerales para extraer sus nutrientes como el K, Ca, Na y Mg, entre otros, transformando los minerales primarios originales. Finalmente, la **translocación** de sustancias es un proceso importantísimo en la formación del suelo, ya que por un lado mezcla y agrega materiales en el suelo y por otro lado, los separa y concentra. Un buen ejemplo son las acciones realizadas por los organismos del suelo que excavan túneles, galerías o madrigueras (hormigas, gusanos, lombrices), o por el efecto mecánico que ejercen las raíces de las plantas sobre el mismo. Estos procesos y otros contribuyen a la diferenciación del suelo en horizontes, es decir, a su morfología. El agua frecuentemente ejerce efectos muy importantes en el suelo al sustraer o eliminar sustancias que pueden ser transportadas o acumuladas a una determinada profundidad en el suelo, en conclusión los factores y los procesos formadores del suelo constituyen lo que algunos científicos del suelo denominan edafización o pedogénesis.



## Geosferas en clave de sistema

Con base en los contenidos desarrollados en esta lectura realizarán las actividades de investigación, creación e innovación.

### ¿Cómo lo harán?

Junto a tu profesor o profesora presiarán el diseño de cada una de las actividades sugeridas, establecerán el tiempo que tienen para realizarlas y los materiales necesarios, también, determinarán formas llamativas de comunicar lo realizado.

### ¿Qué harán?

1. Realizarán procedimientos para comparar las dimensiones del planeta con las dimensiones de los subsistemas atmósfera, hidrosfera y pedosfera. Para ello necesitan hacer uso de los datos suministrados en esta lectura y otros que deben buscar en diferentes fuentes de información.
2. Elaborarán gráficos con los datos que se extraen de las imágenes satelitales, tablas e ilustraciones que forman parte de esta lectura, por ejemplo: relación insolación y latitud; composición química de la atmósfera; composición relativa del agua salada; relación entre la temperatura y la altitud en la atmósfera; salinidad del agua de mar; temperatura del agua superficial de océanos; relación entre la temperatura del agua de mar y la profundidad; entre muchas otras. Seleccionarán el tipo de gráfico más conveniente y la escala apropiada para representar los datos. Posteriormente analizarán los gráficos obtenidos para encontrar evidencias de la dinámica terrestre y las relaciones causales que determinan el comportamiento de las variables representadas en las gráficas.
3. Realizarán una investigación documental sobre fenómenos luminosos, eléctricos y acústicos de la atmósfera.
4. Realizar investigación documental sobre el tiempo meteorológico y el clima como síntesis de las interacciones de los subsistemas terrestres.
5. Modelo de corrientes oceánicas en una pecera: usando una pecera con agua solamente; agregarán agua coloreada a diferentes temperaturas para simular y demostrar la circulación. Pueden además usar diferentes fluidos para demostrar la influencia de la densidad en la formación de corrientes y movimientos verticales. Sería interesante incluir una demostración del fenómeno de los derrames de petróleo en el mar y las complejidades que plantea su recolección.
6. Crearán un modelo del ciclo geológico usando una vela. En esta actividad se va a usar el material de la vela para simular los distintos procesos del ciclo de forma creativa, por lo cual pueden plantearse un concurso para premiar las formas más innovadoras que se proponen para resolver el reto.
7. Analizarán muestras de suelos recolectados en las áreas cercanas. Se estudiarán la proporción de las diferentes fases que componen el suelo; su textura; presencia de materia orgánica y propiedades como permeabilidad, capilaridad y porosidad.



La geodinámica terrestre se relaciona directamente con los procesos geológicos que actúan tanto en la superficie del planeta, como en su interior. Estos procesos geológicos se relacionan a su vez con fuerzas que son opuestas, es decir, con las fuerzas internas y las fuerzas externas. Las internas construyen y transforman constantemente la corteza terrestre, elevando y hundiendo el terreno y alterando los materiales física y químicamente. Las fuerzas externas que destruyen la corteza, actúan por medio de las manifestaciones que tienen su origen en la radiación solar (vientos, olas marinas, mareas, glaciares, aguas continentales) las cuales conducen a los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación de los materiales.

Ambas fuerzas (internas y externas) tienden a neutralizarse mutuamente. Así, cuando se manifiesta la energía de la corteza terrestre, como por ejemplo en las erupciones volcánicas y movimientos horizontales que culminan con la formación de las montañas, las fuerzas externas, conducen a la reducción de esas elevaciones, disminuyendo el volumen de las mismas y cubriendo o rellenando las depresiones. Todos estos fenómenos de construcción y destrucción se mantienen continuamente activos y así ha sido siempre a lo largo de los 4.600 millones de años de la evolución de la Tierra, y así se mantendrán mientras el Sol sea la principal fuente de energía del planeta. Ahora vamos a discutir algunos ejemplos relacionados con ambas dinámicas.

## Geodinámica externa

La geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos: viento, aguas continentales, mares, océanos, glaciares y gravedad, sobre la superficie de la litosfera; fenómenos estos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso o el relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez acumulados, forman depósitos sedimentarios, suelos y rocas sedimentarias.

Un buen ejemplo de esta dinámica lo constituyen tanto la formación de las rocas sedimentarias como la formación y evolución de los suelos.

Dado que las rocas se forman de minerales, vamos a repasar brevemente algunos conceptos fundamentales que se relacionan con la materia, el átomo, los minerales y las rocas. En ese sentido, debemos recordar que la materia es todo lo que constituye al Universo. ¿Y recuerdas cómo está formada la materia? La respuesta es sencilla, por átomos y el átomo a su vez está constituido por partículas subatómicas más pequeñas (figura 4.1).

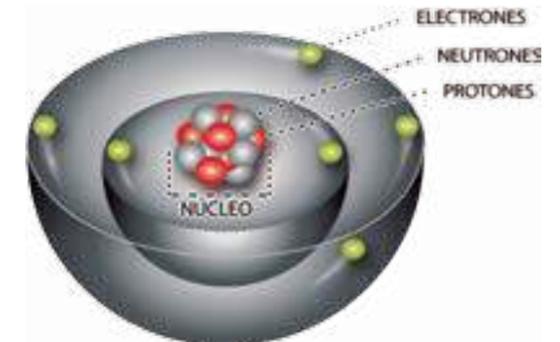


Figura 4.1. Estructura elemental del átomo.



Figura 4.2. Cristal de cuarzo compuesto esencialmente de silicio (Si) y oxígeno (O).

Los átomos conforman los 112 elementos químicos que están representados en la Tabla periódica. Quizás te estarás preguntando ¿Y qué tiene que ver esto con los minerales y rocas? Muy sencillo, los minerales son de origen inorgánico y resultan de la combinación de uno o varios elementos químicos, se caracterizan por tener una composición química definida, variable dentro de límites estrechos, y tienen un ordenamiento interno o estructura cristalina (figura 4.2).

De la combinación o agregación de varios de estos minerales se forman las rocas, aunque pueden existir algunas rocas mono-mineralógicas y también de origen orgánico, como veremos más adelante.

En general, existen alrededor de 4.000 especies de minerales que se agrupan en varias familias de acuerdo a cómo se combinan los elementos químicos en la naturaleza. Estas familias son: minerales nativos (metálicos y no metálicos), sulfuros, sulfatos, haluros, óxidos, hidróxidos, nitratos, carbonatos, boratos, fosfatos, arseniados, vanadatos y silicatos. Muchos de éstos dan origen a importantes yacimientos minerales, y de ellos los silicatos, son los más comunes de la corteza terrestre. Los silicatos resultan de la combinación del oxígeno y el silicio, con otros elementos químicos que se presentan en la tabla 4.1.

Elemento químico	Porcentaje en peso
Oxígeno	46,6
Silicio	27,7
Aluminio	8,1
Hierro	5,0
Calcio	3,6
Sodio	2,8
Potasio	2,6
Magnesio	2,1

Tabla 4.1. Elementos químicos más comunes de la corteza terrestre y su proporción.

Como se observa en esta tabla, el oxígeno y el silicio son los más abundantes y juntos representan el 73,3% de los elementos químicos de la corteza terrestre y el resto equivale al 26,7% de dicha composición. Esto trae como resultado que las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas), estén constituidas esencialmente por silicatos de allí que se conozcan como los minerales formadores de rocas. En la tabla 4.2, se presentan las subfamilias de silicatos y algunos ejemplos.

Subfamilias	Minerales
Nesosilicatos	Olivinos
Sorosilicatos	Hemimorfita
Inosilicatos de cadena sencilla	Grupo de los piroxenos (augita)
Inosilicatos de cadena doble	Grupo de los anfíboles (hornblenda)
Filosilicatos	Grupo de las micas (biotita, muscovita)
Tectosilicatos	Albita, anortita, ortosa, cuarzo

Tabla 4.2. Principales subfamilias y minerales de los silicatos.

## Origen de las rocas sedimentarias

Discutidos estos conocimientos básicos, ahora sí podemos desarrollar la formación de las rocas sedimentarias, como ejemplo de la dinámica externa de la Tierra y como evidencia de las fuerzas y procesos que actúan sobre la superficie terrestre. En la figura 4.3 se sintetizan los procesos y agentes geológicos que convergen para la formación de las rocas sedimentarias. Consulta la figura 3.30 sobre el ciclo geológico, que se incluye en la lectura tres de este libro, y analiza ambas figuras en forma simultánea para que puedas identificar los procesos fundamentales que integran el ciclo geológico.

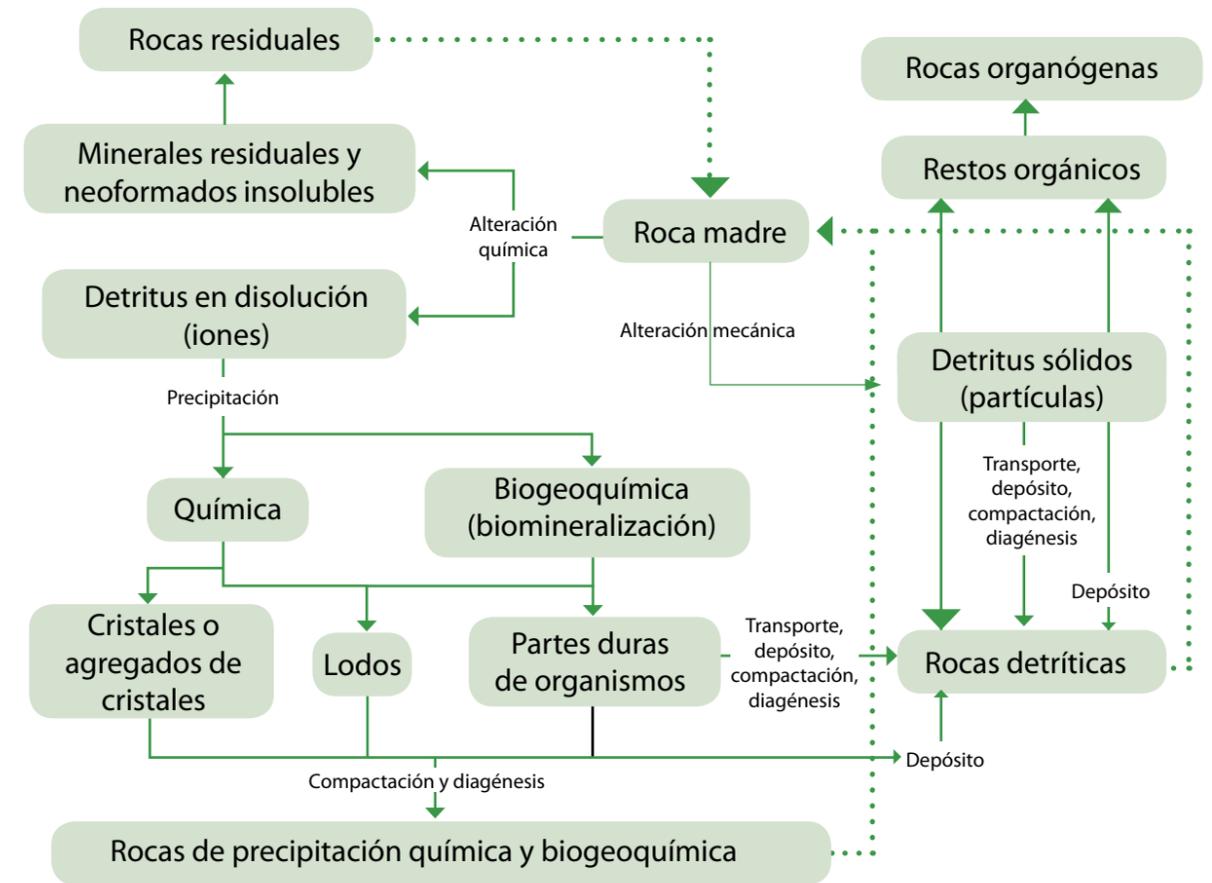


Figura 4.3. Procesos que actúan en el ciclo geológico superficial para la formación de las rocas sedimentarias.

En estas figuras, se observa que para que se formen las rocas sedimentarias se requiere de un material parental que provea los sedimentos a partir de los cuales se van a originar estas rocas. Este material es sometido a la acción de los agentes atmosféricos (principalmente agua, viento y gases) y de los organismos (microorganismos, helechos, raíces, musgos, líquenes) que se encargan de desintegrar y descomponer físico-químicamente a los materiales parentales, para dar origen a los sedimentos inorgánicos y precipitados químicos, que provienen de su alteración. Este primer proceso se conoce como la **meteorización** o el **intemperismo** (figura 4.4).

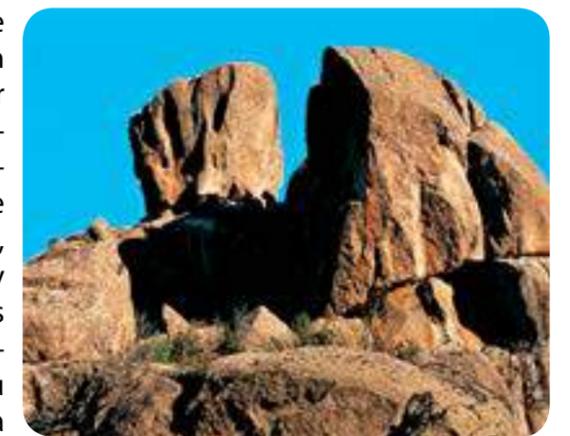


Figura 4.4. Ejemplo de meteorización física (fragmentación de la roca) y meteorización química (color de oxidación superficial de la roca).

Tradicionalmente, la meteorización se ha dividido en física (desintegración mecánica de las rocas) y química (descomposición química de las rocas y sus constituyentes minerales).

No obstante, algunos autores hablan también de meteorización biológica y otros simplemente la ubican como agente de meteorización, tanto en el intemperismo físico como el químico. En la tabla 4.3 se resumen los diferentes procesos que resultan de los tipos de meteorización.

Meteorización física	Meteorización química
Descompresión	Disolución
Fragmentación por el hielo (gelifracción)	Oxidación
Expansión y dilatación térmica	Carbonatación
Actividad biológica (raíces de árboles)	Hidrólisis

Tabla 4.3. Tipos de meteorización o intemperismo.

Luego de que los materiales rocosos han sido disgregados por los procesos de meteorización, los mismos pueden ser erosionados y desgastados físicamente a través de los agentes de transporte como el agua (ríos, corrientes y olas marinas), el viento, glaciares y la gravedad (figura 4.5).



Figura 4.5. Sector Las González material sedimentario (gravas y arena) transportado y sedimentado (centro de la foto) por el río Chama, estado Mérida.

Cuando el agente de transporte pierde su capacidad para trasladar el sedimento, lo acumula o sedimenta, en cuencas sedimentarias continentales (figura 4.5) o en su destino final que, por lo general, son las cuencas marinas. Finalmente, debido al relativo aumento de temperatura y presión en la cuenca sedimentaria, los sedimentos experimentan el proceso de **diagénesis**, término utilizado para todos los cambios químicos, físicos y biológicos que tienen lugar después de la deposición de los sedimentos, así como durante y después de la litificación.

La **litificación** se refiere al proceso que transforma los sedimentos no consolidados en rocas sedimentarias, incluye la compactación que reduce el espacio poroso entre las partículas, aproximándolas unas a otras. Junto a este proceso se produce la cementación, debido al precipitado de agentes químicos que unen las partículas de sedimentos.

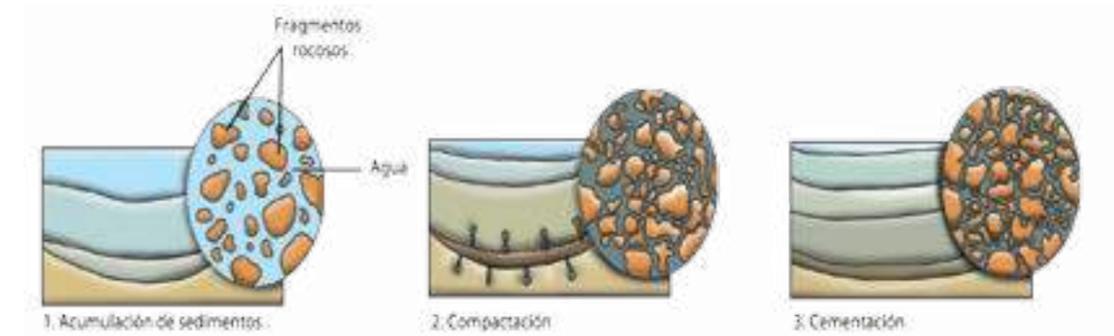


Figura 4.6. Procesos de acumulación, compactación y cementación de los sedimentos durante la litificación.

### Clasificación de las rocas sedimentarias

Como se observa en la figura 4.3 las rocas sedimentarias son de origen residual, orgánico, químico o bioquímico.

Esto nos sirve como punto de partida para clasificar a las rocas sedimentarias en dos grandes grupos: las de origen fragmentario o detrítico formadas por fragmentos de rocas y minerales, y las formadas por materiales de origen químico (precipitados químicos), orgánico y bioquímico.



Figura 4.7. Ejemplos de rocas sedimentarias noclásticas.

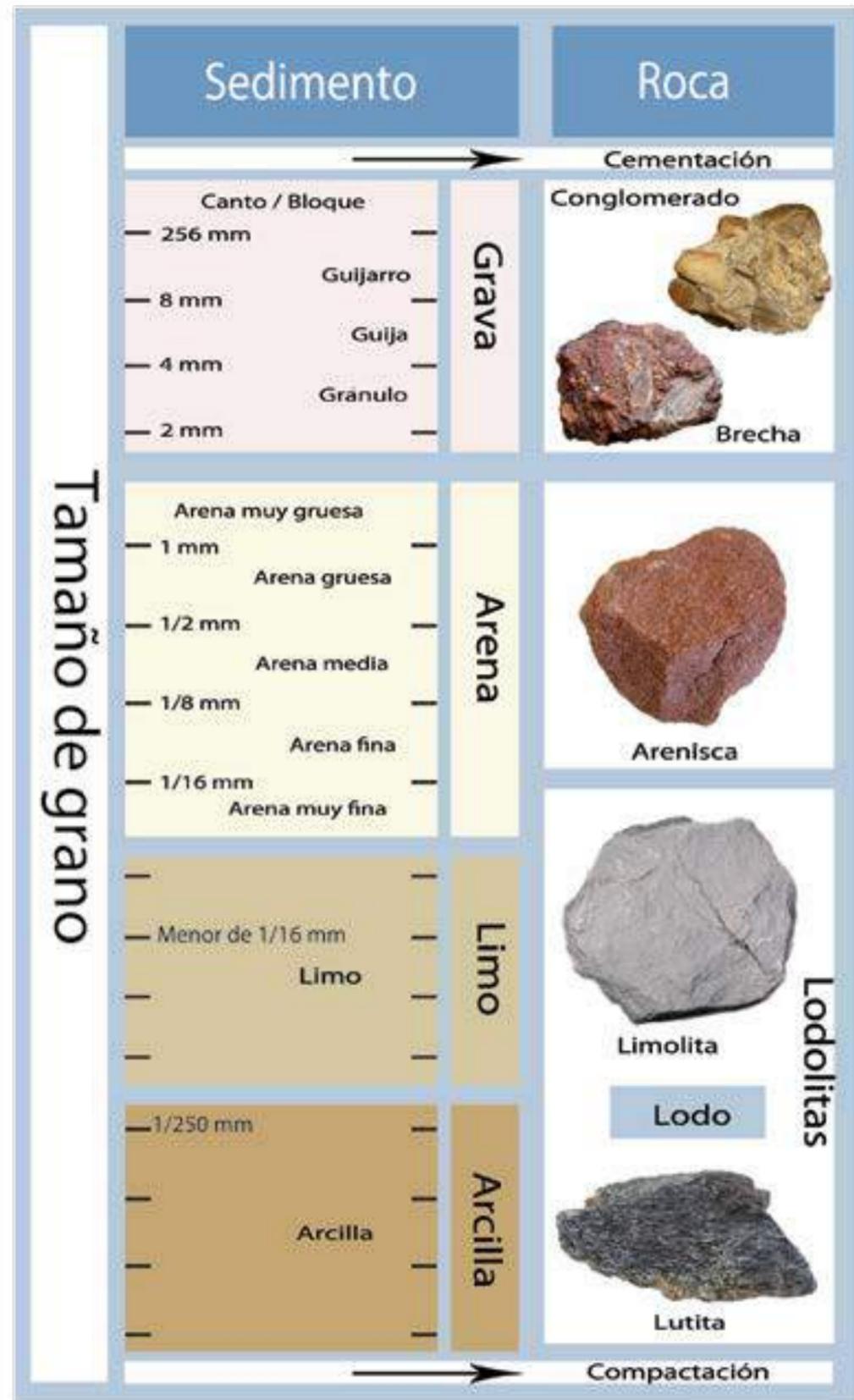


Tabla 4.4. Clasificación de las rocas sedimentarias de origen detrítico y de textura clástica.

De acuerdo a esta subdivisión, las rocas sedimentarias se clasifican en rocas de origen detríticas cuya textura es clástica, y a su vez se clasifican de acuerdo al tamaño del grano o clasto (tabla 4.4); mientras que las rocas de origen químico orgánico y bioquímico son de textura no-clástica (figura 4.7 y tabla 4.5).

Origen	Composición	Nombre de la roca
Químico	$\text{CaCO}_3$	Caliza
Químico	$\text{SiO}_2$	Pedernal o Ftanita
Químico	$\text{CaSO}_4$	Yeso
Bioquímico	Conchas marinas y $\text{CaCO}_3$	Caliza fosilífera
Orgánico	Conchas marinas	Coquina
Orgánico	Restos vegetales	Carbón

Tabla 4.5. Clasificación de las rocas sedimentarias de textura no-clástica.

### Ambientes sedimentarios

Las rocas sedimentarias son importantes para la interpretación de la historia de la Tierra. Asociados a este tipo de rocas, se encuentran importantes yacimientos minerales como el carbón y el petróleo. De la comprensión de las condiciones bajo las cuales se formaron estas rocas, los geólogos pueden deducir su historia de formación, obteniendo información sobre el origen de los sedimentos que las componen, el tipo de agente de transporte y la naturaleza del lugar donde se depositaron los sedimentos, es decir, el ambiente de sedimentación. En ese sentido, el **ambiente sedimentario** es el sitio o punto geográfico donde se acumulan los sedimentos.

Estos ambientes se clasifican en continentales, transicionales y marinos. En general, los ambientes continentales, están constituidos por ambientes fluviales, glaciales, lacustrinos y eólicos. Los transicionales, se encuentran en la línea de costa entre los continentes y océanos (lagunas costeras, cordones litorales, islas de barrera, deltas); mientras que los ambientes marinos se dividen en función de su profundidad e incluyen a la plataforma continental, talud continental, llanuras abisales y fondos marinos profundos (figura 4.8).



Figura 4.8. Ejemplos de algunos ambientes sedimentarios continentales, transicionales y marinos. Los sedimentos pueden ser depositados en los continentes, el mar y en las zonas de transición mar-tierra.

## Geodinámica interna

La geodinámica interna se relaciona fundamentalmente con las fuerzas endógenas (verticales y horizontales) que originan la deformación de la litosfera y el movimiento de los continentes y el fondo oceánico. Igualmente, se relaciona con los métodos especiales que se utilizan para determinar la estructura de las capas más profundas de la Tierra, es decir, los métodos geofísicos utilizados para la determinación de las mismas.

Antes de desarrollar el tema consideremos la estructura interna de la Tierra. Este tema fue discutido en la lectura anterior, y ahora profundizaremos en él.

## Estructura interna de la Tierra

¿Recuerdas cómo se estructura la parte sólida de la Tierra? Anteriormente habíamos discutido que nuestro planeta se divide internamente en **corteza** (continental y oceánica), **manto** (superior e inferior) y **núcleo** (externo e interno). Tal subdivisión se basa en la composición química de estas capas.

La composición de la parte superior de la corteza continental es de rocas graníticas y la parte inferior se acerca más a una composición de rocas basálticas cuya densidad promedio es de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . Por su parte, el manto está constituido por rocas tipo peridotita y tiene una densidad de  $3,3 \text{ g/cm}^3$ . Finalmente, el núcleo es una aleación de hierro y níquel con cantidades menores de oxígeno, silicio y azufre, y su densidad es de  $11 \text{ g/cm}^3$ .

Sin embargo, la Tierra presenta otras subcapas de acuerdo a sus propiedades físicas (figura 4.9). Estas capas de forma general son las siguientes:

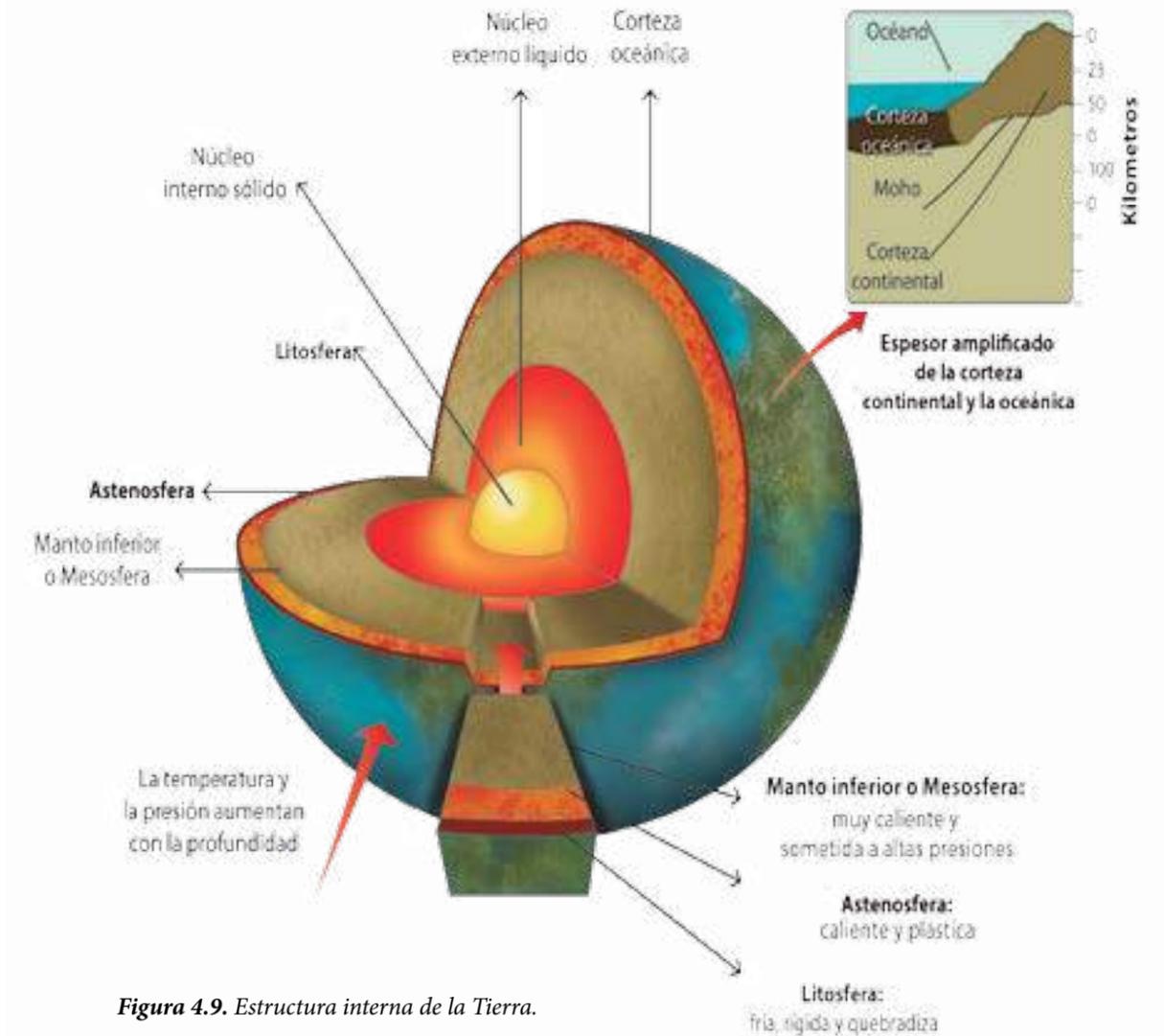


Figura 4.9. Estructura interna de la Tierra.

- 1) **La litosfera** formada por la corteza y parte del el manto superior, es un nivel relativamente rígido y frío. Ésta constituye las llamadas placas litosféricas.
- 2) **La astenosfera** es una capa blanda que se ubica por debajo de la litosfera y se comporta como un material plástico.
- 3) **La Mesosfera** o manto inferior se localiza por debajo de la astenosfera y está constituida por rocas muy calientes que son capaces de fluir de manera gradual.
- 4) Por último, el **núcleo** que está constituido por una aleación de hierro y níquel y se divide en dos regiones que muestran resistencias mecánicas distintas. El núcleo externo es una capa líquida, donde se producen corrientes convectivas del hierro metálico, que generan el **campo magnético terrestre**. En el núcleo interno la temperatura es más elevada, el material es más resistente y se comporta como un sólido.

En la tabla 4.6 se destacan otras características de las capas descritas anteriormente. Las mediciones indican espesores mínimos y máximos aproximados.

Capa	Subcapa	Composición	Espesor estimado
Corteza	1. Oceánica	Basaltos Granito, granodiorita, gabro	5 a 70 km
	2. Continental		
Litosfera	1. Corteza oceánica y continental	Basaltos, granodiorita, etc Basaltos, eclogita, peridotita	5 a 250 km
	2. Manto litosférico		
Manto	1. Manto superior Silicatos de Fe y Mg, principalmente Peridotita	a) Manto superior litosférico b) Astenosfera c) Mesosfera	670 km 2.240 km
	2. Manto inferior Silicatos de Fe y Mg (Peridotita)		
Núcleo	Núcleo externo	Líquido de hierro y algo Ni, O, S	2.270 km
	Núcleo interno	Sólido de hierro	1.216 km

Tabla 4.6. Capas que conforman la estructura interna de la Tierra.

Con esta descripción general tendríamos que preguntarnos, ¿cómo los geocientíficos determinaron la composición y estructura del interior de la Tierra? Estas determinaciones se han realizado a través de observaciones directas e indirectas. Las observaciones directas se han fundamentado en el análisis de la extracción y perforación de núcleos de rocas de la corteza terrestre y en el estudio de las rocas superficiales. Las observaciones indirectas, se han basado fundamentalmente en el comportamiento de las ondas sísmicas (ondas P y S) que atraviesan el cuerpo de la Tierra. Otros métodos utilizados son los gravimétricos, los cuales determinan la atracción que ejerce la gravedad terrestre sobre los materiales y la relación con la posible composición del interior de la Tierra.

Sobre la base de este breve conocimiento de la estructura interna de la Tierra, ahora vamos a pasar a discutir algunos de los ejemplos que ponen de manifiesto la acción de esas fuerzas internas y sus consecuencias geológicas globales.

## Deriva Continental

Uno de los modelos que pone en evidencia la geodinámica interna del planeta se relaciona con el origen de los continentes y océanos. En el pasado, se propusieron diferentes ideas para tratar de explicar por ejemplo el origen de los paisajes, ¿recuerdas algunas de esas ideas?, ¿has oído hablar del **catastrofismo**? Los creadores de este pensamiento (siglos XVII y XVIII), proponían que los paisajes de la Tierra se habían formado por grandes catástrofes, pero sin ninguna evidencia geológica concreta que sustentara esta hipótesis. Así como esta idea existían otras más, pero no fue sino hasta principios del siglo XX que surgió una hipótesis innovadora que trató de explicar con ciertas evidencias (geológicas, geofísicas, paleontológicas y paleoclimatológicas) observadas en distintos continentes, el origen de las montañas y los continentes.

Esta hipótesis se conoce como la deriva continental y fue desarrollada por Alfred Wegener a principios del siglo XX. Wegener sugirió que en el pasado había existido un supercontinente único denominado Pangea (pan = todo; gea = tierra), ésto fue propuesto por él con base a las evidencias anteriormente señaladas (figura 4.10).

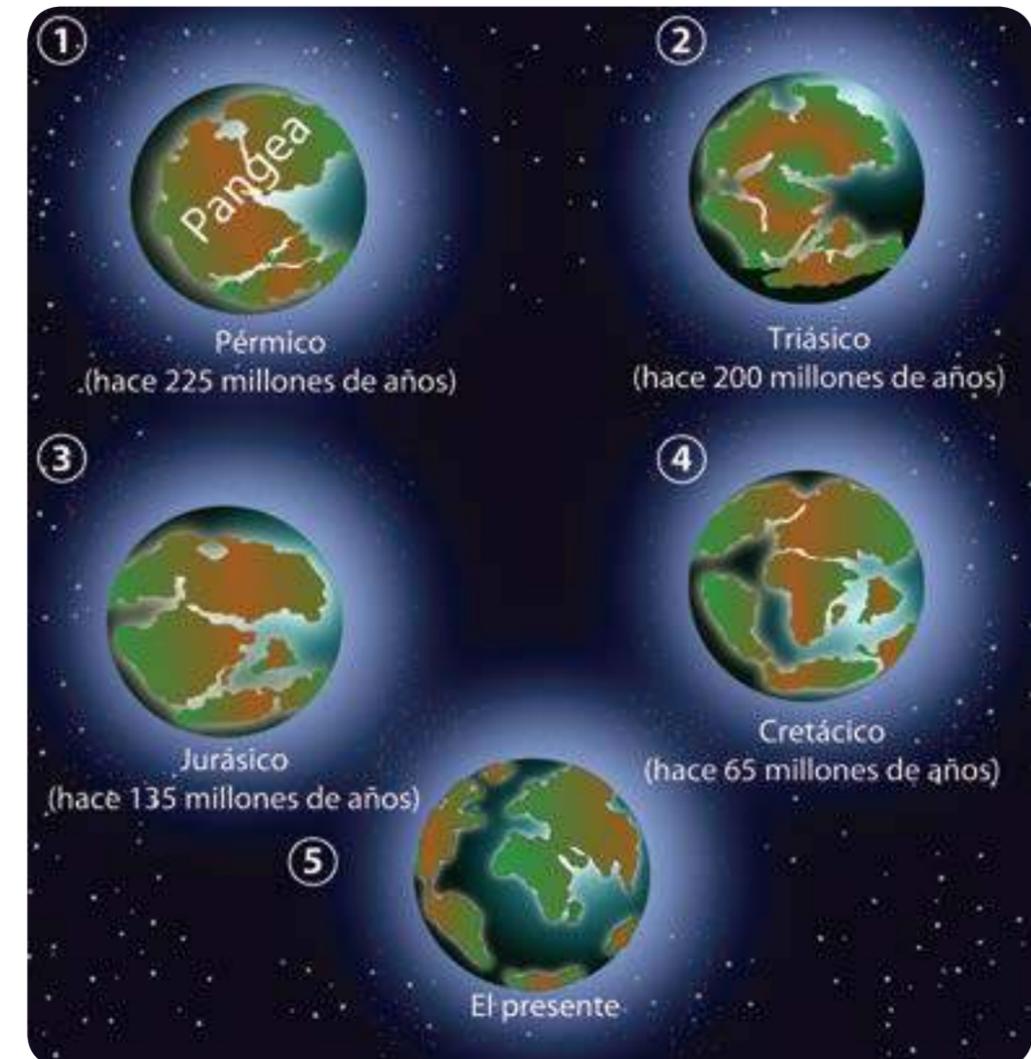


Figura 4.10. Modelo de la deriva continental.

En la figura se ilustra cómo planteó Wegener el desplazamiento de los continentes desde el período Pérmico hasta nuestros días. Postulaba que la deriva continental se había iniciado en el Mesozoico, cuando existía una sola masa continental y, a partir del Pérmico o el Carbonífero, ese continente comenzó a fragmentarse, dando origen a nuevos océanos, a las masas continentales y a los sistemas montañosos actuales.

Algunas de las pruebas en las que se basó el geofísico y meteorólogo alemán fueron las siguientes: la forma de los continentes, pues éstos parecen encajar especialmente África y Suramérica; la correlación de fósiles y de formaciones geológicas, ya que encontró rocas y fósiles idénticos en continentes que hoy están separados geográficamente por océanos y cientos de miles de kilómetros de distancia, lo que hace sospechar que estuvieron en localizaciones semejantes y bajo iguales condiciones para el momento en que se formaban las rocas y vivían los organismos convertidos después en fósiles. Sin embargo, como ha pasado con otras ideas similares a ésta, la hipótesis fue rechazada por los científicos de la época, debido a que Wegener no pudo explicar cuál era el mecanismo propulsor que movía a los continentes.

### La tectónica de placas explica la deriva continental

A pesar de que la teoría de Wegener no fue aceptada por la comunidad científica de su época, ésta representó la semilla para el surgimiento de un nuevo modelo que explica hasta la actualidad la geodinámica interna de la Tierra, es decir, la tectónica de placas, teoría compuesta por una gran variedad de ideas que explican el movimiento de la litosfera o capa más externa de la superficie terrestre, movimiento que a su vez genera los principales rasgos geológicos de la Tierra, entre ellos los continentes, las montañas y las cuencas marinas.

Según este modelo, la litosfera, constituida por la corteza terrestre y la capa superior del manto, se comporta como una capa fuerte y rígida que está dividida en grandes piezas denominadas **placas** que se mueven unas con respecto a las otras. La figura 4.11 permite visualizar cómo interaccionan estas placas y la propuesta de tres tipos de límites o bordes entre placas:

- 1) **Límites divergentes o constructivos:** en estos límites hay separación de placas, lo que produce el ascenso de material desde el manto para formar nueva corteza oceánica. En estos bordes se genera actividad sísmica y volcánica.
- 2) **Límites convergentes o destructivos:** ocurren donde dos placas se juntan o chocan, provocando el descenso (subducción) de corteza oceánica por debajo de una placa superpuesta, esta corteza es reabsorbida en el manto; el proceso genera la formación de montañas, actividad sísmica y volcánica, entre otros procesos geológicos.
- 3) **Límites o bordes de fallas transformantes:** son bordes en los que ni se genera ni se destruye corteza, por eso se les considera bordes pasivos. Se producen donde dos placas se desplazan lateralmente una respecto de la otra. En ellos son muy frecuentes los terremotos al liberarse la tensión acumulada en el esfuerzo por el desplazamiento lateral.

Es importante señalar que la dinámica interna (fuerzas endógenas) que dominan a la Tierra, no puede ser comprendida sin el conocimiento del modelo de las placas tectónicas, debido a que este modelo, hasta ahora, es el único que explica de forma coherente los principales movimientos y fenómenos terrestres, como la actividad volcánica o los terremotos que experimentamos en el planeta. De su conocimiento depende disminuir el riesgo que representan para la humanidad estos fenómenos geológicos.

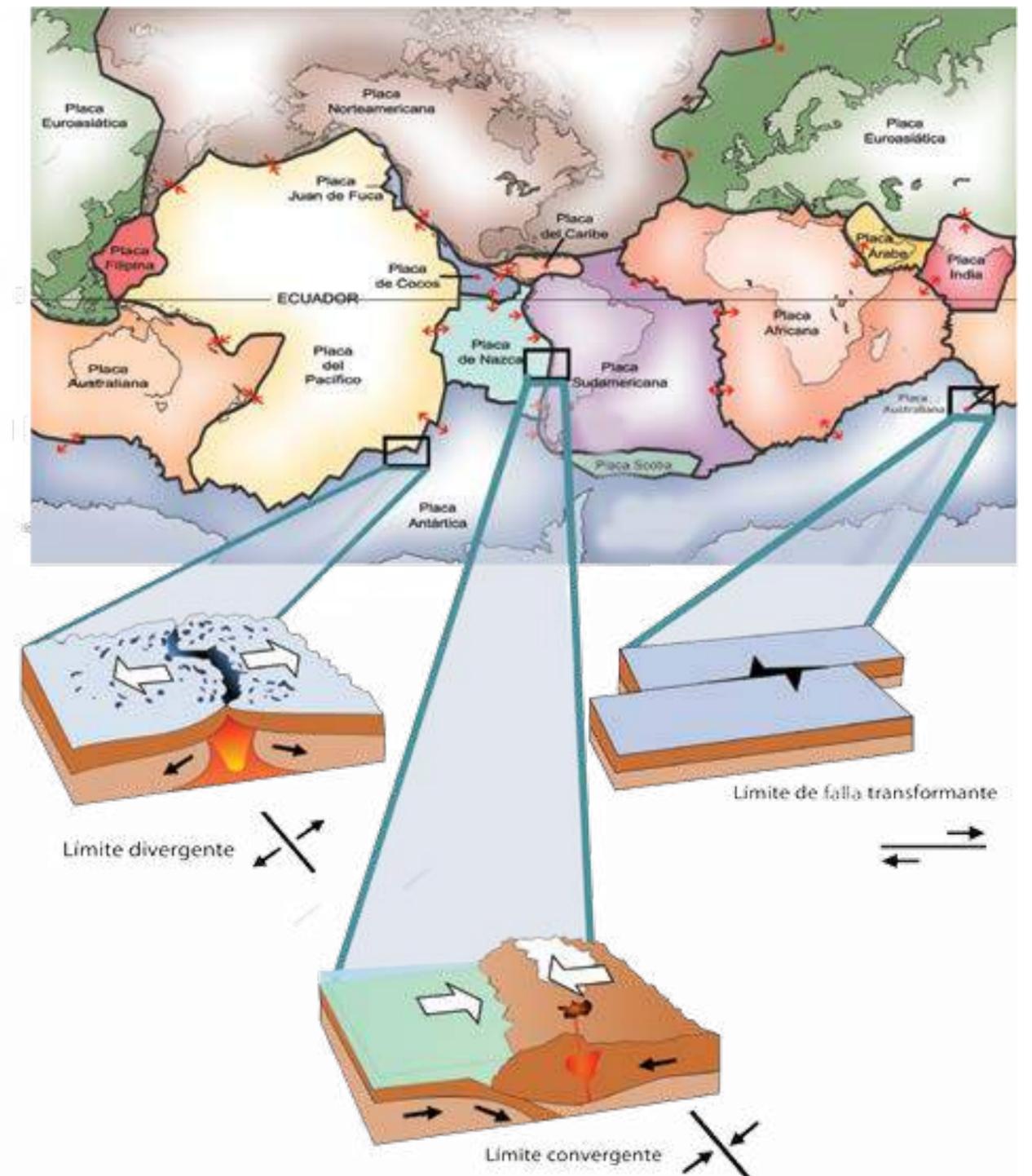


Figura 4.11. Modelo de las principales placas tectónicas y los diferentes tipos de límites entre placas.

## ¿Qué es lo que mueve las placas tectónicas?

Como hemos visto de manera resumida, el modelo de las placas tectónicas explica una gran cantidad de fenómenos geológicos, que anteriormente eran difíciles de entender y explicar, a partir de los distintos modelos propuestos por los científicos en el pasado. Ahora habría que preguntarse ¿Cuál es la fuerza o las fuerzas que mueven esas placas? Recuerda, que la hipótesis de la deriva continental fue desechada por la comunidad científica, porque Wegener no pudo proponer un mecanismo convincente que explicara el desplazamiento de esos inmensos continentes. Entonces, ¿de dónde procede esa fuerza?

Teóricamente, el origen del movimiento de las placas está determinado por un fenómeno asociado al flujo de materiales en el manto terrestre, llamado **corrientes de convección del manto**. Aunque este modelo fue propuesto por los geólogos Harry Hess y Robert Dietz, en la década de los años 60 del siglo XX, ya había sido sugerido por el geólogo inglés Arthur Holmes algunas décadas antes. Pero, ¿qué son esas corrientes convectivas?

En general, estas corrientes se producen por diferencias de temperatura y densidad, de manera que los materiales más calientes son menos densos y ascienden, mientras que los materiales más fríos son más densos, pesados y descienden, en la figura 4.12 se puede observar cómo el agua que está en el vaso de precipitado, al ser calentada con el mechero (fuente de energía) asciende al ser menos densa como lo sugieren las burbujas que se ven en esta figura; pero al enfriarse el agua en superficie, se hace más densa, por lo que se hunde hacia el fondo del vaso de precipitado, repitiéndose el proceso de manera continua.



Figura 4.12. Modelo teórico del proceso de convección que experimenta un fluido.

Otra pregunta sería, ¿por qué se producen estas corrientes en el manto? La respuesta teórica es que aunque el manto terrestre es sólido, se comporta como un material dúctil o plástico. En otras palabras, el manto se deforma y se estira sin romperse, debido a las altas temperaturas a las que se encuentra. En las profundidades del manto y bajo temperaturas muy altas, las grandes masas de rocas tienden a fundirse parcialmente haciéndose más ligeras, lo que produce unas corrientes ascendentes de materiales calientes (menos densos) llamadas plumas o penachos térmicos. Algunos de estos penachos pueden alcanzar la litosfera, contribuyendo con su fragmentación y el desplazamiento de los continentes (figura 4.13).

En otras áreas como en las fosas oceánicas, grandes fragmentos de litosfera oceánica fría que se formó a partir de esas corrientes convectivas ascendentes, se hunden en el manto, originando corrientes convectivas descendentes, que llegan hasta la base del manto (figura 4.13). Ambas corrientes del manto (ascendentes y descendentes) explicarían el movimiento de las placas, al actuar como un "rodillo o cinta transportadora" que las mueve.

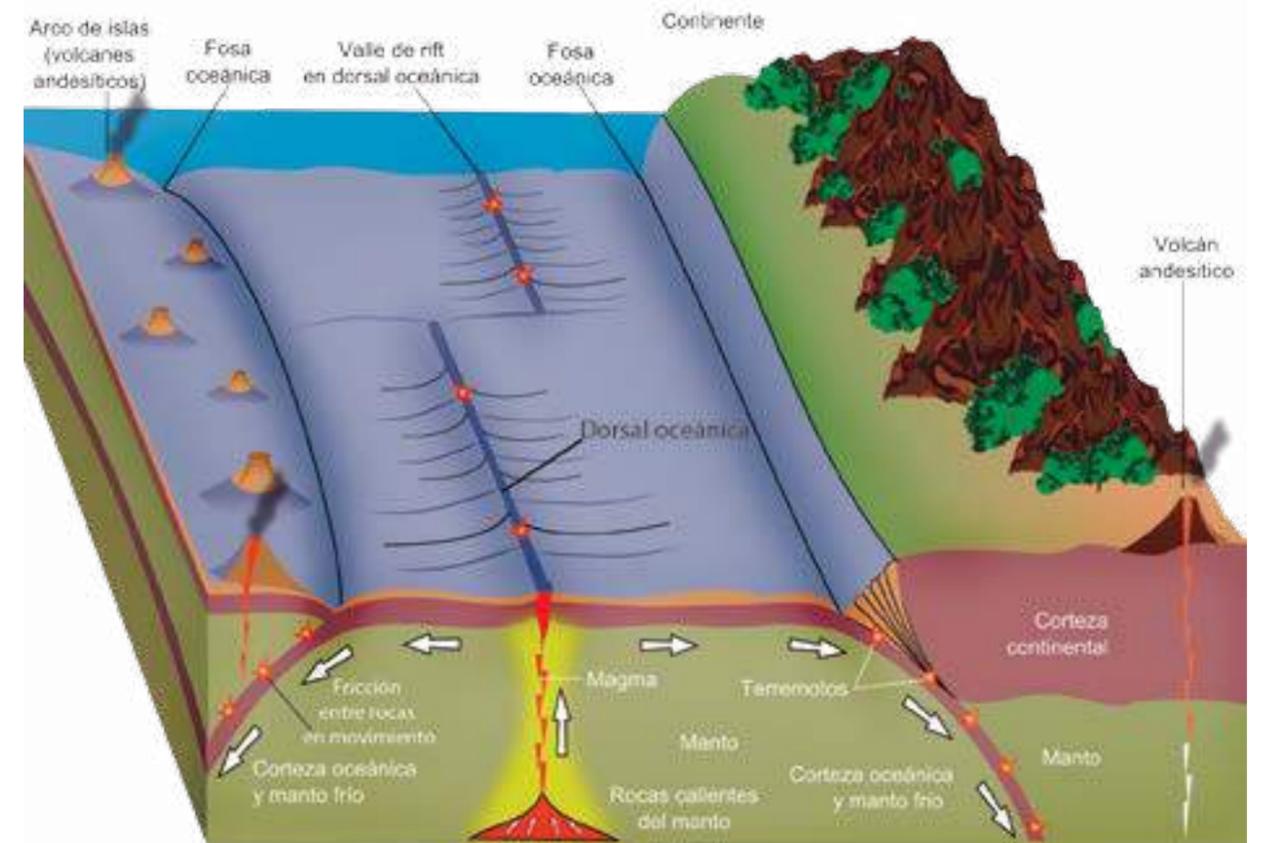


Figura 4.13. Modelo de la convección del manto.

La figura 4.13 ilustra el proceso comentado anteriormente, donde se puede observar el ascenso y descenso (flechas blancas) del material que proviene del límite del manto inferior (mesosfera) y el núcleo externo. Igualmente, se puede visualizar la relación que existe entre las corrientes convectivas del manto y los límites de placas divergentes y convergentes. En otras palabras, cuando las corrientes convectivas ascienden trasladan material magmático hacia la superficie, dando origen a las dorsales o cordilleras marinas, que a su vez expulsan magma a ambos lados de la dorsal para formar y expandir el fondo oceánico. Posteriormente, el fondo oceánico al expandirse puede hundirse por las fosas oceánicas (subducción) localizadas cerca de los bordes continentales y en ese proceso se desplazan los continentes.

Por otra parte, se debe señalar que además de las corrientes de convección del manto existen otras fuerzas que teóricamente contribuyen al desplazamiento de las placas tectónicas, entre ellas se encuentra la fuerza de gravedad que produce una especie de "tirón", cuando la placa subduce en el manto terrestre. Como conclusión, debemos señalar que la dinámica interna (fuerzas endógenas) que dominan a la Tierra, no puede ser comprendida sin el conocimiento del modelo de las placas tectónicas, debido a que este modelo, hasta ahora, es el único que explica de forma coherente los principales movimientos y fenómenos, como la actividad volcánica o los terremotos que experimentamos a lo largo del planeta. De su conocimiento depende disminuir el riesgo que representan para la humanidad estos fenómenos geológicos.

## Venezuela en el marco de la tectónica global



Figura 4.14. Contexto tectónico del territorio venezolano y su relación con las placas tectónicas del Caribe y Nazca.

El estudio del territorio venezolano es una de las áreas que ha dado un gran aporte al desarrollo de la teoría de la tectónica de placas. Sin exagerar, existen centenares de miles de trabajos a nivel divulgativo y sobre todo de avance científico del norte de Venezuela, que han contribuido al tópico en cuestión. No obstante, entrar en esos detalles está fuera del alcance del tema tratado en este texto. De tal manera, que nos vamos a concentrar en algunos aspectos generales relacionados con la dinámica tectónica de la región noroccidental, norcentral y nororiental de Venezuela, que es donde se encuentran las principales evidencias de dicha actividad tectónica.

Deberíamos comenzar por algunas preguntas como, por ejemplo: ¿por qué debemos interesarnos en este tema? O, ¿por qué la región norte del país y no en todo el territorio venezolano? ¿Alguna vez has oído decir a alguien que la mayor concentración de la población venezolana se encuentra ubicada en las regiones antes señaladas? La respuesta a todas esas interrogantes es que la principal actividad tectónica de Venezuela se localiza en esas áreas, y es allí, donde se encuentra ubicado aproximadamente el 80% de la población venezolana.

En la figura 4.14 y 4.15, se puede observar la interrelación entre el territorio de Venezuela y la placa del Caribe al norte, la cual está asociada a toda la actividad sísmica del país, en la región norcentral, occidental y oriental. Como resultado surgieron la cordillera de los Andes y las cordilleras de la Costa y el Interior.

La figura 4.15 destaca los principales rasgos geológicos asociados a la actividad sísmica de nuestro territorio, como son el sistema de fallas de Boconó que atraviesa toda la cordillera andina hasta la región de Morón, donde se une al sistema de fallas submarino de San Sebastián que va en dirección oeste-este en el litoral caribeño venezolano, para luego conectarse en el oriente de Venezuela con el sistema de fallas de El Pilar.



Figura 4.15. Principales fallas geológicas del territorio venezolano con alto potencial sísmológico.

Al oeste en la región de Falcón, está la falla Oca-Ancón que se conecta al sistema anterior en la región cercana a Morón. En conclusión, este ejemplo muestra la presencia de siete fallas geológicas en la zona norte de nuestro país, desde el occidente hasta el oriente, y el encuentro de dos placas tectónicas que corrobora una vez más cómo funciona la dinámica terrestre interna.

## Otras evidencias de la dinámica interna del planeta

A continuación, vamos a desarrollar brevemente dos aspectos fundamentales que son representativos de la dinámica interna de la Tierra y que se relacionan con la formación de las rocas ígneas y metamórficas.

## Origen de las rocas ígneas

El material parental que da origen a las rocas ígneas se denomina magma, proviene del interior de la corteza terrestre o del manto superior. Se define como una roca fundida situada en profundidad que incluye gases disueltos, volátiles, agua y minerales. En general, el magma principalmente está compuesto por iones de silicio y oxígeno que se combinan fácilmente y forman sílice ( $\text{SiO}_2$ ) así como cantidades menores de: aluminio, hierro, magnesio, potasio, sodio y calcio. En otras palabras, podríamos decir que el magma es una mezcla de silicatos fundidos, vapor de agua y otros minerales accesorios como: óxidos, sulfuros, sulfatos y otros más.

En general, se habla de dos tipos de magmas, los de composición granítica o félsica y los de composición basáltica o máfica. Los primeros son ricos en sílice (aproximadamente 70%) y contienen un 10% de silicatos oscuros. En su composición predominan minerales como el cuarzo y los feldespatos (figura 4.16). Los magmas basálticos están constituidos esencialmente por un elevado porcentaje de minerales oscuros o ferromagnesianos, como los olivinos, piroxenos y anfíboles. La clasificación de las rocas ígneas de acuerdo con su composición química se basa en el contenido de sílice (silicio + oxígeno). En la figura 4.16, se muestra como varía la composición química de una roca ígnea con base al contenido de sílice (ya sea hacia la derecha o hacia la izquierda), y en función de ese criterio se determina si la roca es de composición ácida (félsica), intermedia, básica (máfica) o ultrabásica (ultramáfica).

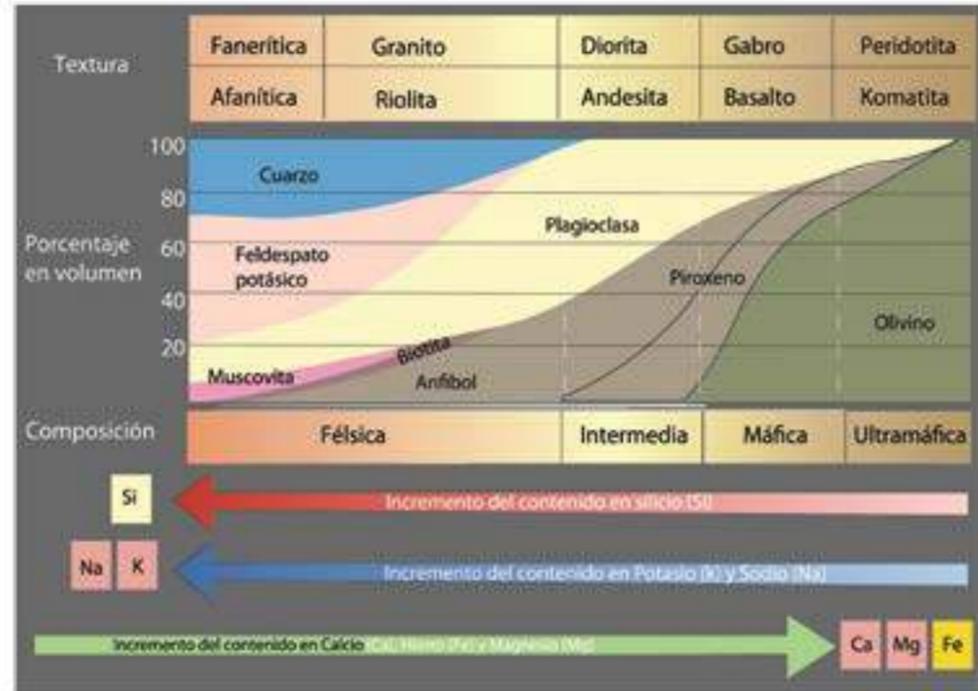


Figura 4.16. Texturas características de las rocas ígneas.

## Clasificación de las rocas ígneas

Estas rocas las podemos clasificar de dos formas: por su textura y por su composición química. Por textura de una roca ígnea, se entiende el aspecto general de la roca basado en el tamaño y disposición de los cristales o minerales. En ese sentido, existen varios tipos de texturas, las más comunes son las textura fanerítica o de grano grueso, la afanítica o de grano fino, la textura vítrea y la textura porfídica (figura 4.17).

## Clasificación de las rocas ígneas



Figura 4.17. Clasificación de las rocas ígneas con base en su composición química y mineralógica.

Rocas ígneas también se pueden clasificar por su ambiente de formación debido a que algunos magmas pueden solidificarse en el interior de la corteza, mientras que otros pueden ser expulsados hacia la superficie terrestre como consecuencia de la actividad volcánica. En este sentido, los magmas que se enfrían o solidifican lentamente en el interior de la corteza, dan origen a las rocas ígneas intrusivas (plutónicas y abisales) mientras que los magmas que se solidifican muy cerca o en la superficie terrestre se enfrían rápidamente y dan origen a las rocas ígneas extrusivas (volcánicas o efusivas). Las rocas de textura fanerítica, porfídica y pegmatítica que aparecen en la figura 4.17 son de origen intrusivo, mientras que las rocas de textura vítrea y afanítica que aparecen en la misma figura son ejemplos de rocas ígneas extrusivas.

## Origen de las rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son otra evidencia clara de la geodinámica interna de la Tierra. El proceso que da origen a estas rocas se denomina **metamorfismo**, que viene a ser la transformación de un tipo de roca (ígneas, sedimentarias, inclusive metamórficas) en otro. En consecuencia, es un proceso que provoca cambios en la mineralogía, textura y la composición química de la roca. Por esto todas las rocas metamórficas tienen un material parental o roca madre a partir de la cual se formó.

## Condiciones para que se produzca el metamorfismo

Este proceso tiene lugar cuando las rocas son sometidas a un ambiente físico-químico significativamente distinto al de su formación inicial. Se requiere de cambios en las condiciones de temperatura y presión (esfuerzos) y la introducción de fluidos químicamente activos. En respuesta a esas nuevas condiciones, las rocas cambian gradualmente hasta alcanzar un estado de equilibrio con el nuevo ambiente.

Con respecto a la temperatura, este es el factor más importante del metamorfismo porque impulsa los cambios químicos que provocan la recristalización de los minerales o la formación de minerales nuevos en la roca y acelera o retarda las reacciones químicas. Por su parte la presión (de confinamiento o dirigida) cierra los espacios entre los granos minerales, dando lugar a una roca más compacta. Igualmente, la presión de confinamiento puede hacer que los minerales recristalicen en nuevos minerales con una estructura más compacta. En este ambiente de metamorfismo, existe la presión diferencial o dirigida, que produce la deformación plástica de los minerales e inclusive que las rocas sean plegadas. Esto ocurre normalmente en bordes de placas convergentes. Por último, los fluidos químicamente activos como el agua, otros volátiles y el  $\text{CO}_2$  actúan sobre los granos minerales como catalizadores y provocan la recristalización fomentando la migración de iones.

## Tipos de metamorfismo

Normalmente, se habla de dos tipos de metamorfismo: el de contacto y el regional. El **metamorfismo térmico o de contacto** se produce como consecuencia del aumento de temperatura cuando un magma invade una roca caja (Figura 4.18). En este caso se forma una zona de alteración denominada aureola en la roca que rodea al cuerpo magmático. Es en esta zona donde se producen los principales cambios en la roca caja. Durante el **metamorfismo regional**, se deforman intensamente grandes segmentos de la corteza terrestre a lo largo de bordes de placas convergentes. Estas deformaciones consisten en fracturamiento y plegamiento intenso de las rocas. En la figura 4.18 está representado un metamorfismo denominado **metamorfismo dinámico**. Este tipo de proceso ocurre cerca de la superficie, donde las rocas se comportan como sólidos frágiles ante fuerzas tectónicas que las trituran, aplastan y pulverizan en las llamadas **brechas de fallas** (Figura 4.18).

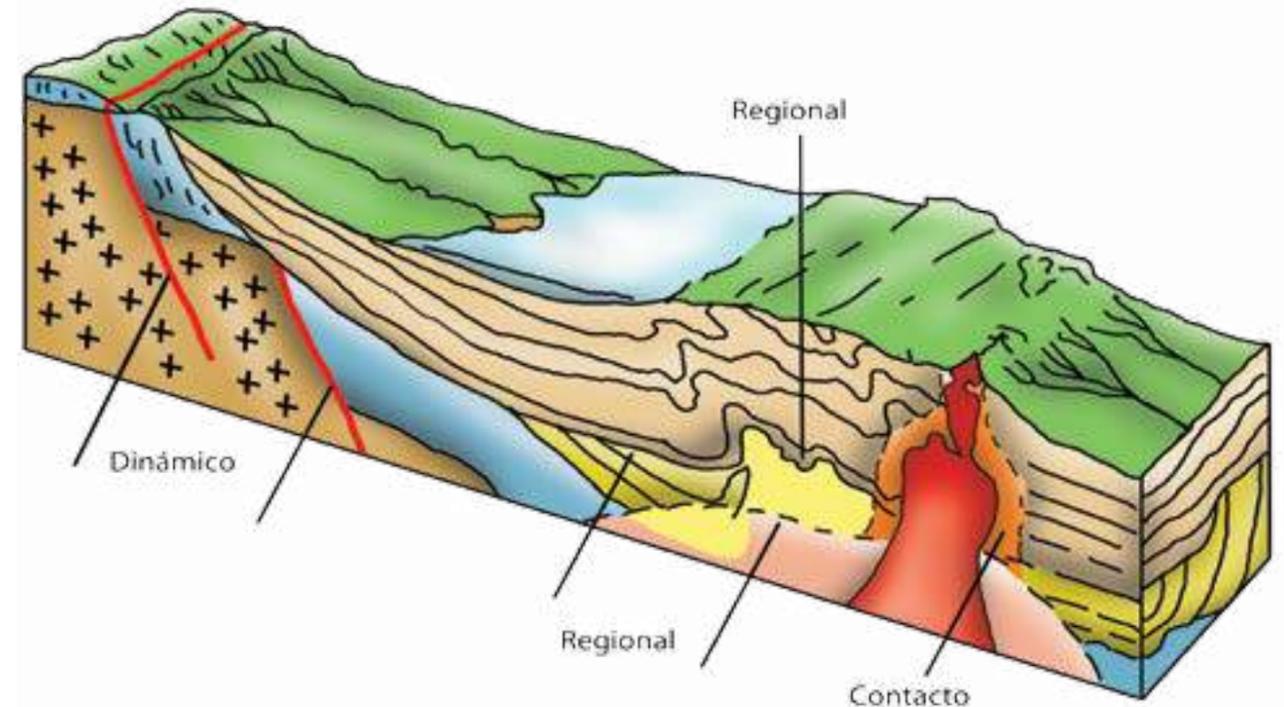


Figura 4.18. Tipos de metamorfismo regional y de contacto.

Existe otro tipo de metamorfismo conocido como **metamorfismo hidrotermal** asociado a fluidos calientes que circulan por las fisuras de las rocas. Estos fluidos ricos en soluciones alteran químicamente la roca caja y a veces precipitan una variedad de depósitos minerales económicamente importantes. El **metamorfismo de enterramiento** se produce con acumulaciones muy gruesas de estratos sedimentarios. La presión y la energía geotérmica provocan la recristalización de los minerales.

## Clasificación de las rocas metamórficas

Estas rocas al igual que las ígneas y sedimentarias se clasifican de acuerdo a su textura. En general, se habla de dos tipos de textura, la foliada y la nofoliada o granoblástica.

El término foliado de manera general, se relaciona con la reorientación de los granos minerales en una distribución planar conocida como foliación. Y tiene que ver con la transformación de minerales de baja temperatura en minerales de alta temperatura (Figura 4.19). Estas rocas se originan por metamorfismo regional y las más comunes se presentan en la tabla 4.7.

Las rocas metamórficas de texturas nofoliadas se desarrollan en ambientes donde la deformación es mínima y están compuestas por minerales que presentan cristales equidimensionales (de las mismas dimensiones) como el cuarzo o la calcita. Estas rocas se originan por metamorfismo de contacto. Los ejemplares más comunes se observan en la tabla 4.7.

Textura	Tamaño del grano	Composición	Nombre
Foliadas	Grano fino	Clorita Mica Cuarzo Feldespatos Anfiboles Piroxenos	Pizarra
	Grano fino		Filita
	Grano grueso		Esquisto
Con bandas	Grano grueso		Gneis
No foliadas	Grano Grueso o muy grueso	Minerales diversos	Metaconglomerado
	De grano fino a grano grueso	Cuarzo	Cuarcita
		Calcita o dolomita	Mármol

Tabla 4.7. Clasificación de las rocas metamórficas de textura foliada y nofoliada.



Figura 4.19. Texturas características de las rocas metamórficas.

Podemos concluir que la dinámica interna de la Tierra se manifiesta de diversas maneras, ya sea a través del desplazamiento de los continentes, del fondo oceánico, de la formación de las montañas, del vulcanismo, de la actividad sísmica o a partir de los procesos que dan origen a las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.



## Geodinámica terrestre

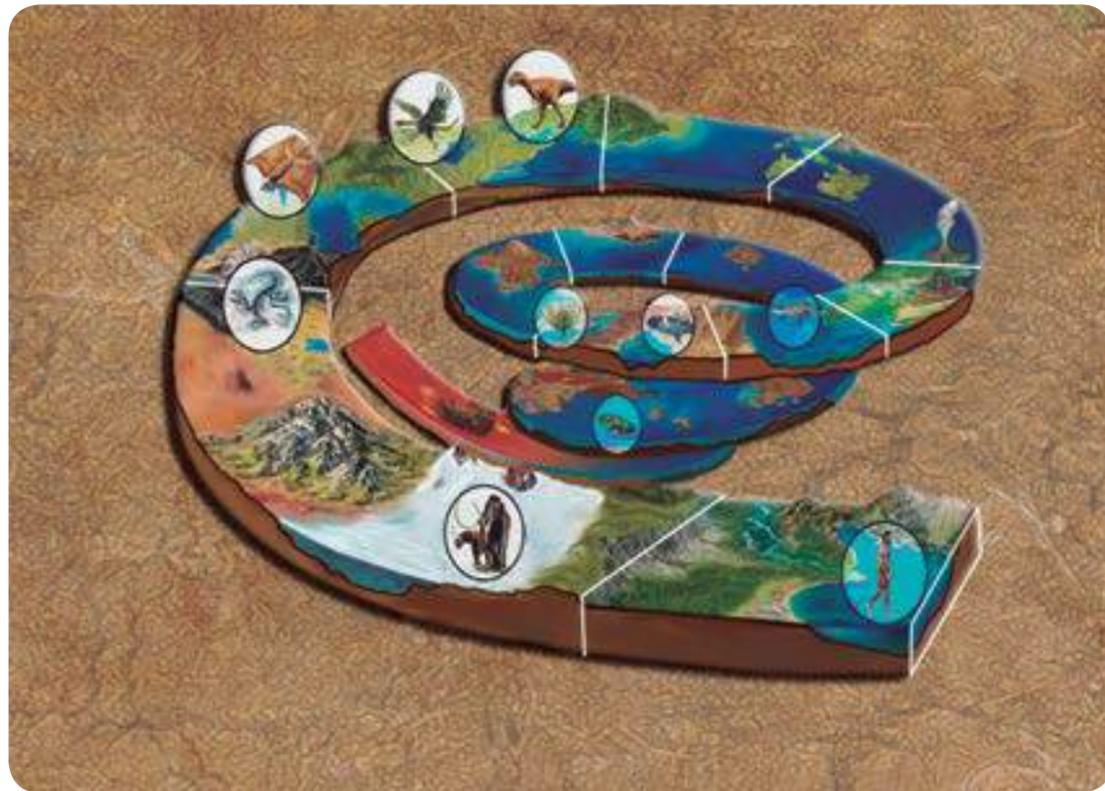
Con base en los contenidos desarrollados en esta lectura realizarán las actividades de investigación, creación e innovación.

### ¿Cómo lo harán?

Junto con tu profesora o profesor pueden planificar el desarrollo de cada una de las actividades sugeridas, establecerán el tiempo que tienen para realizarlas y los materiales necesarios. También pueden incorporar otras iniciativas. Consulten libros y la red de internet.

### ¿Qué harán?

1. Clasifiquen muestras de minerales y rocas de acuerdo con sus características.
2. Planifiquen y ejecuten un trabajo de campo. Como parte del trabajo en campo identificarán evidencias de la geodinámica externa e interna y recolectarán muestras de minerales y rocas que serán analizadas en el laboratorio, a fin de determinar la diversidad litológica de la localidad estudiada e inferir el tipo de procesos dinámicos a la que estuvo y está expuesta.
3. Realicen colecciones de muestras de minerales y rocas de la localidad, indicando el lugar de recolección, la identificación de la muestra y algunas de sus características. Acompañen la colección con un mapa o croquis del área recorrida, donde destaquen el circuito o ruta seguida y las estaciones donde fueron colectadas las muestras.
4. Construyan maquetas relacionadas con los contenidos de la geodinámica terrestre. Pueden elaborar modelos a escala del interior de la Tierra; ambientes sedimentarios; placas tectónicas; tipos de límites entre placas; placas tectónicas que influyen en el territorio venezolano; ambientes metamórficos, entre otros.
5. Construyan un modelo integrado por piezas que represente el contorno de las principales placas tectónicas actuales de tal forma que obtengan una especie de rompecabezas de la superficie terrestre. Diseñen símbolos y rótulos que indiquen los nombres de las placas, el tipo de bordes o límites entre ellas y armen el modelo para presentarlo y discutir sus principales características.
6. Relacionen evidencias de actividad dinámica en los bordes de placas. Para esto debes realizar una búsqueda de información sobre mapas donde se representen las áreas del mundo sujetas a actividad volcánica, actividad sísmica, cordilleras montañosas y fosas oceánicas. Comparen los patrones de distribución de este dinamismo para la creación y destrucción de relieve con la localización de las placas tectónicas. Analicen los resultados y establezcan las posibles relaciones.



La geología histórica trata sobre la historia de la Tierra. Una historia que comenzó hace unos 4.600 M.a. y se extiende hasta nuestros días.

¿Cómo hacen los científicos de la Tierra para determinar los procesos ocurridos en el pasado? ¿Cuáles de esos procesos se han revelado y cuáles han quedado más ocultos? ¿Cómo se hace para reconstruir la historia geológica de cada región del planeta? ¿Tienen todos los continentes la misma historia geológica y, por consiguiente, los mismos recursos minerales y la misma edad?

Son muchas las preguntas que podemos hacernos cuando pensamos en la historia de la Tierra, pero esta larga historia puede ser reconstruida a través del estudio de la delgada corteza y de sus rocas. Está narrada allí en un lenguaje que es posible descifrar. Sus trazos o huellas están estrechamente relacionados con la vida en todas sus formas. La historia de la Tierra se encuentra principalmente en la estratificación de las rocas sedimentarias y los fósiles contenidos en ellas. Pero esta historia coloca a la especie humana en una nueva perspectiva, porque comparada con ella, la historia humana parece reducirse a un breve instante.

En esta lectura te invitamos a explorar esta larga historia donde encontrarás información fascinante sobre la Tierra y la vida; sobre las formas de medir el tiempo, con relojes geológicos, y muchas cosas más.

## Para medir la edad de la Tierra necesitamos unidades

Para contar cualquier historia se requiere organizarla en eventos y fechas importantes, y hay que reunir los hechos significativos en etapas o épocas y relatar desde lo más lejano a lo más reciente o viceversa, de lo reciente a lo más antiguo. Para reconstruir la historia de la Tierra debemos buscar la manera de organizar los eventos a fin de determinar qué ocurrió al principio de todos los tiempos, que sucedió después y qué ha venido pasando en el tiempo más cercano.

Además, se necesitan unidades. Por ejemplo, para determinar la edad de una persona se utilizan los años de vida y para calcular la de un árbol se usan los anillos circulares de su tronco leñoso, estimando el número de años de vida por la cantidad de anillos. En ambos casos el patrón de medidas es el año, que a su vez representa el tiempo que tarda la Tierra en dar un giro completo alrededor del Sol.

En el caso de la Tierra, el número de años o de revoluciones en torno al Sol son muchas, como ya hemos visto, se trata de una edad estimada en 4.600.000.000 años. Esta cantidad es enorme para la escala humana, tanto que nos resulta difícil dimensionarla completamente.

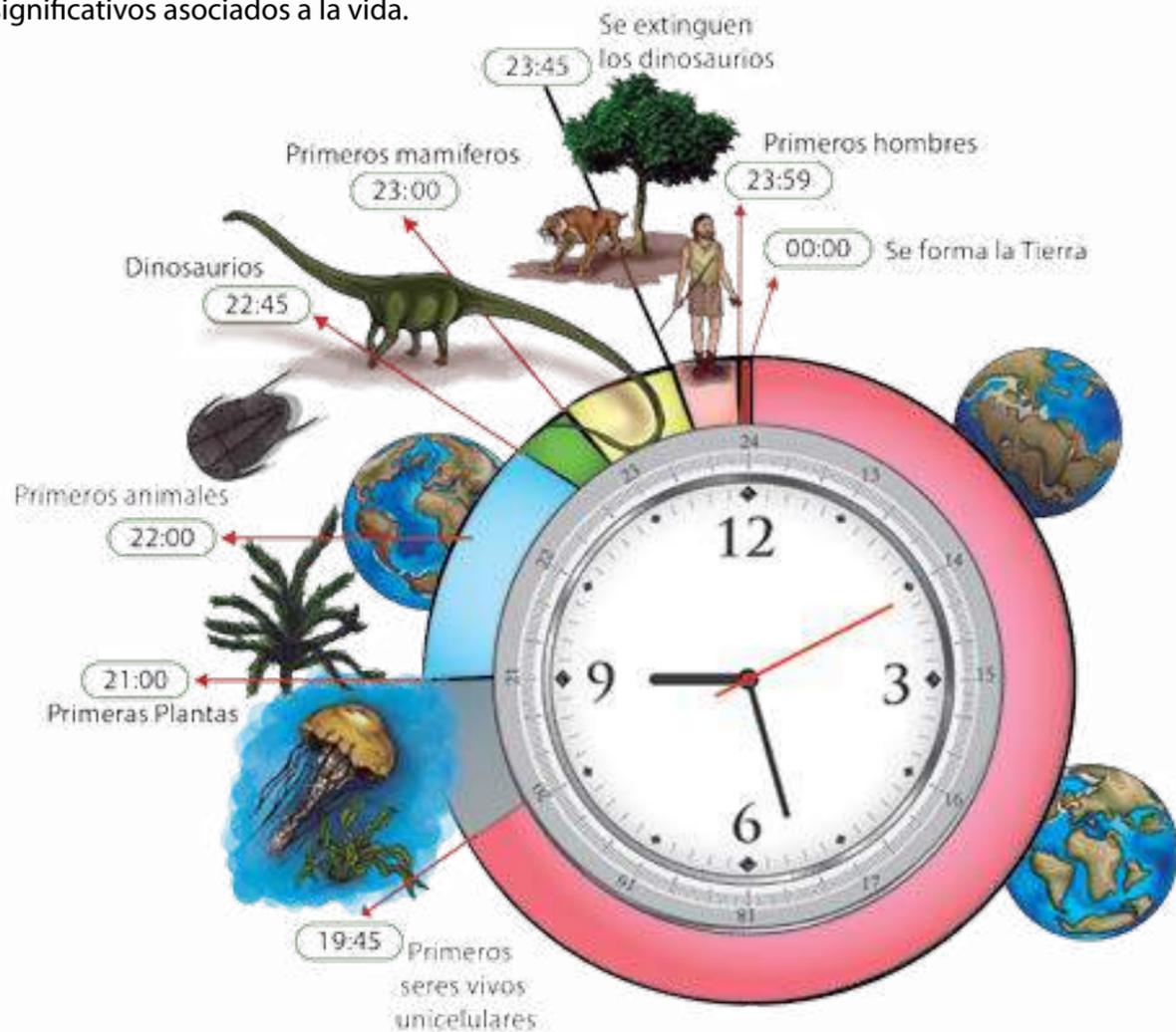
Por otro lado, la escritura de cifras tan grandes, resulta compleja al tratar de organizar los eventos ocurridos a lo largo de este extenso lapso de tiempo. Por tal motivo, se emplean notaciones más amigables que facilitan el manejo de la cronología. Usamos las siglas M.a. para indicar millones de años; en algunos casos se utiliza G.a –que se lee giga años– para indicar mil millones de años. En el caso de la Tierra, se dice que su edad estimada es de 4.570 M.a. o su equivalente 4,57 G.a.

En algunos casos, no se conoce con precisión el momento en el que pudo haber ocurrido un evento terrestre determinado y en otras ocasiones, no se requiere una mayor exactitud para establecerlo. En ambas oportunidades se pueden utilizar cifras por aproximación –es decir se puede redondear a cifras más manejables– como por ejemplo, expresar la edad de la Tierra en aproximadamente 4.600 M.a o 4,6 G.a, o también podríamos decir 4.500 M.a. o 4,5 G.a. En ambos ejemplos, estamos agregando 30 o restando 70 millones de años, lo cual representa cantidades relativamente insignificantes para un tiempo tan prolongado. La forma de comunicar el dato estará en función del propósito que se tenga.

La historia de la Tierra y de la vida sugiere cambios fascinantes en la evolución: adaptaciones sucesivas de los seres vivos a los diversos ambientes y a las condiciones imperantes en el período que les tocó vivir. Por ejemplo, los dinosaurios fueron durante largo tiempo los grandes herbívoros y depredadores, luego desaparecieron. Después de un lapso considerable, se desarrollaron los grandes elefantes y entonces la vegetación que tenían que consumir había cambiado.

En la historia de la vida hay movimientos constantes. ¿Podrán servirnos esos cambios constantes de la biodiversidad para organizar la historia de la Tierra? No hay duda de que la respuesta a esta pregunta es afirmativa. Por tal motivo, la evolución de la vida está relacionada con la historia de la Tierra y la de ésta con la primera. Es la **co-evolución de la vida y la Tierra**.

En la figura 5.1 puedes apreciar cómo se puede comparar la edad de la Tierra con la duración de 1 día –una unidad de tiempo más familiar para nosotros– y algunos hechos significativos asociados a la vida.



**Figura 5.1.** Reloj de la Tierra y de la vida. La presencia de la especie humana es reciente y ocupa el equivalente al último momento de la larga historia terrestre. Para tener una permanencia tan corta resulta sorprendente todo lo que ha hecho para transformarla.

También la historia geológica de la Tierra, está íntimamente relacionada con la historia física de los continentes y los mares que los han invadido. Cada continente tiene su propia historia sedimentaria, que es en gran parte un registro de invasiones marinas intermitentes, es decir, cada continente tiene su propia serie de depósitos sedimentarios principalmente marinos. ¿Podremos emplear tales eventos en nuestra reconstrucción?

#### Para saber más...

Por medio del estudio de los fósiles, ha sido comprobada la evolución de las especies. El estudio de los principales fósiles terrestres, proporciona las pistas principales para detectar antiguas uniones y separaciones de los continentes.

En efecto, la corteza terrestre ha estado sometida a transformaciones continuas por acción de procesos geológicos cuyo origen puede ser interno o externo; en ambos casos producen cambios que quedan registrados en el relieve y en las rocas. Dichos cambios los podemos reconstruir basándonos en su extensión temporal. Son los ciclos geológicos por los que ha pasado la Tierra a lo largo de su historia.

### Ciclos geológicos que dejan huellas

Los ciclos en la historia de la Tierra son de muy diversa índole y su duración total es también muy variada. En esta clasificación se establecen cuatro tipos de ciclos geológicos, de acuerdo a su duración.

- 1- **Ciclos muy cortos** que duran desde algunos días a algunos años. Son causados por cambios en la circulación atmosférica.
- 2- **Ciclos cortos** que duran de unos años a varios miles de años. Se deben a cambios en la actividad solar, en la fuerza de atracción solar o lunar y a actividad volcánica periódica, entre otros.
- 3- **Ciclos largos** que se extienden por decenas a centenares de miles de años. Son ocasionados por variaciones del eje terrestre y de la órbita terrestre alrededor del Sol.
- 4- **Ciclos muy largos** cuya duración puede alcanzar unos millones a miles de millones de años. Son originados por las fuerzas internas de la Tierra o por factores cósmicos que actúan durante largos períodos de tiempo.

### Edades de la Tierra

Para poder estudiar la historia de la humanidad es muy conveniente dividirla en lapsos de tiempo sucesivos, a los que se denomina edades, para encuadrar los hechos de manera más fácil y racional.

Pero, ¿qué bases permiten definir estas edades como distintas a las demás? Definir los eventos y hechos importantes es lo que va a permitir separar las edades de sus inmediatas anteriores y posteriores, porque cada una en sí misma representa un conjunto de eventos con características propias, que la diferencia de las demás. Este proceso es el que se emplea para estudiar la **geología histórica**, es decir, la historia de la Tierra y de la vida. La geología histórica es la rama de la geología que estudia las transformaciones que ha sufrido la Tierra desde su formación hace unos 4.600 M.a. hasta el presente, los movimientos y transformaciones de los continentes, los movimientos orogénicos y epirogénicos, los ascensos y descensos del nivel del mar, las variaciones que se presentaron en el clima, la evolución de las especies, la evolución de las cuencas petrolíferas, de los yacimientos minerales, entre muchas otras variables.

La historia geológica divide las edades de la Tierra en **unidades geocronológicas**, que son unidades de tiempo que sirven como referencia para determinar cuándo ocurrió cierto evento. Estas unidades son, de mayor a menor: **eones, eras, períodos, épocas**.

El **Eón** es la unidad geocronológica de mayor duración en la escala de tiempo geológico. Se distinguen tres eones, que desde el más antiguo al más reciente son: el Eón Archeano también conocido como arcaico, el Eón Proterozoico y el Fanerozoico.

Los eones, a su vez, se dividen en **eras**, definidas a partir de grandes discordancias que señalan el inicio de distintos ciclos orogénicos. Así, el Eón Fanerozoico lo integran tres eras geológicas que son: **Paleozoica**, **Mesozoica** y **Cenozoica**. Para los restantes eones no se han determinado diferenciaciones en eras hasta el presente.

Las eras del Fanerozoico, a su vez, se dividen en **períodos**. Los nombres se refieren a su origen geográfico y, en algún caso, a características específicas de los estratos y rocas en general.

Establecer estas unidades de tiempo geológico ha sido un proceso paulatino de análisis, para ir juntando evidencias en la reconstrucción de la historia terrestre.

## La escala del tiempo geológico

Un acuerdo fundamental en este recorrido de ir estudiando las rocas y formaciones para obtener hallazgos sobre su posible edad en comparación con otras, fue el de proponer la utilización de la escala de tiempo geológico, que sirve de marco de referencia para ubicar en forma universalmente aceptada un acontecimiento geológico determinado. Hoy en día es una escala estandarizada que incluye las grandes divisiones del tiempo geológico.

En la figura 5.2 se presenta la escala de tiempo geológico con sus respectivas unidades hasta el nivel de períodos e incluso épocas. Obsérvala con detenimiento. La escala se lee de izquierda a derecha, comenzando de abajo hacia arriba. Como no es posible colocarla verticalmente en una sola página, se emplea el recurso de separarla en varias columnas. La segunda columna, de izquierda a derecha, es la continuación de la primera y así sucesivamente.

Seguramente puedes notar que estas unidades geocronológicas no tienen una duración constante ¿Cuál es el Eón más largo? ¿Cuánto duró cada uno? ¿Cuál es la era más prolongada y cuál la más corta o breve?

Al responder estas preguntas comprenderás que a diferencia de otras unidades temporales –como la hora, los minutos, los segundos– que tienen un valor fijo establecido en el Sistema Internacional de Medidas (SI), los eones, las eras y los períodos varían en su duración.

La razón estriba en el criterio que se emplea para su determinación que, en este caso, consiste en la relación entre los grandes acontecimientos de la vida y su evolución; la ocurrencia de grandes movimientos orogénicos, entre procesos que no son de naturaleza periódica, en consecuencia no es posible que las unidades del tiempo geológico lo sean.

SUPER EÓN	EÓN	ERA	PERÍODO	EDAD (HACE ... M.a)	EÓN	ERA	PERÍODO	EDAD (HACE ... M.a)	EÓN	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD (HACE ... M.a)
P R E C Á M B R I C O	A R C H E A N O			540	F A N E R O Z O I C O	P A L E O Z O I C O	CÁMBRICO	540	F A N E R O Z O I C O	C E N O Z O I C O	PALEÓGENO	PALEOCENO	65
				ORDOVÍCICO			500	EOCENO				53	
				2.500			SILÚRICO	435				OLIGOCENO	33
							DEVÓNICO	415					
							CARBONIFERO	355					
							PERMICO	295					
							TRIÁSICO	250					
							JURÁSICO	203					
							CRETÁCICO	135					
								65					Presente
													11.700 (años)
													2,58
													5,3
													23,5

Figura 5.2. Escala de tiempo geológico: esta escala incluye el Super Eón Precámbrico y se indican eones, eras y períodos. Adicionalmente la edad en millones de años. Adaptado de la escala Estándar Unesco/USGS

Los nombres asignados a las unidades son alegóricos a la vida y llevan el sufijo **zoico(a)**. El prefijo que se antepone a la palabra zoico(a), se refiere al tipo de organismos predominantes en cada unidad o a su grado de evolución. Por ejemplo: Proterozoico se refiere a los precursores de la vida; Paleozoico se refiere a la vida antigua y Fanerozoico significa vida visible.

Las rocas que mantienen huellas asociadas a la vida, como fósiles y minerales característicos de ambientes superficiales, son las rocas sedimentarias. El estudio de tales rocas ha generado un importante campo de la geología denominado **estratigrafía**.

La **estratigrafía** describe las formaciones rocosas que constituyen la corteza terrestre y su organización en unidades distintas, útiles y cartografiables. Dichas unidades rocosas están basadas en sus características o cualidades a fin de establecer su distribución y relación en el espacio y su sucesión en el tiempo, a objeto de interpretar la historia geológica.

Los estudios estratigráficos toman en cuenta la disposición característica de las rocas sedimentarias denominada **estratificación** y cada una de las capas de una formación de rocas estratificadas, dichas capas reciben el nombre de **estratos**. En la figura 5.3 se observa la estratificación de una formación sedimentaria.

De esta forma, la estratigrafía logra establecer unidades de tiempo basadas en sus hallazgos, que complementan a las unidades geocronológicas que ya analizamos. Veamos las unidades estratigráficas y su significación.

Las **unidades litoestratigráficas** son subdivisiones efectuadas en base a características litológicas y a la posición en la sucesión de los estratos. En orden jerárquico de la mayor a la menor se suelen diferenciar en: supergrupo, grupo, formación, miembro.

La **bioestratigrafía** estudia la disposición de los fósiles en las rocas y permite asignar una edad a las mismas. Las unidades bioestratigráficas se basan en el contenido de fósiles contemporáneos a la sedimentación. La unidad bioestratigráfica fundamental es la zona bioestratigráfica o biozona la cual se denomina con el nombre de uno o más fósiles característicos.

**Para saber más...**

Las rocas contienen información que los geólogos utilizan para hacer las reconstrucciones del pasado. Por ejemplo, las rocas con abundantes minerales compuestos de hierro que se formaron en el Super-Eón Precámbrico, hace 2.600 M.a. indican un período masivo de formaciones de sedimentos ricos en óxidos de hierro, lo cual sugiere actividad biológica que aportó el oxígeno. La oxidación del hierro se atribuye al desarrollo de las cianobacterias y sus procesos fotosintéticos.



Figura 5.3. Rocas yaciendo en capas o estratos sucesivos. A esta disposición se le conoce como estratificación.

La **cronoestratigrafía** estudia la disposición de las capas de rocas de la corteza terrestre (y sus fósiles) a través del tiempo. Recíprocamente, las cronologías sucesivas de estas capas se han basado en la edad relativa deducida fundamentalmente de los fósiles, cuyo marcador principal son las sucesiones bióticas.

La **quimioestratigrafía** es una rama de la geología que estudia la distribución geoquímica de los elementos y su asociación con la evolución estratigráfica y sedimentaria de una cuenca. Este campo de estudio comprende el comportamiento geoquímico de las rocas, se analiza en la dimensión tiempo-espacial subdividiendo el comportamiento en sentido vertical (variación temporal) y horizontal (quimiofacies).

En la figura 5.4 se contrastan las unidades estratigráficas y las geocronológicas. Analiza las correspondencias que hay entre unas y otras.

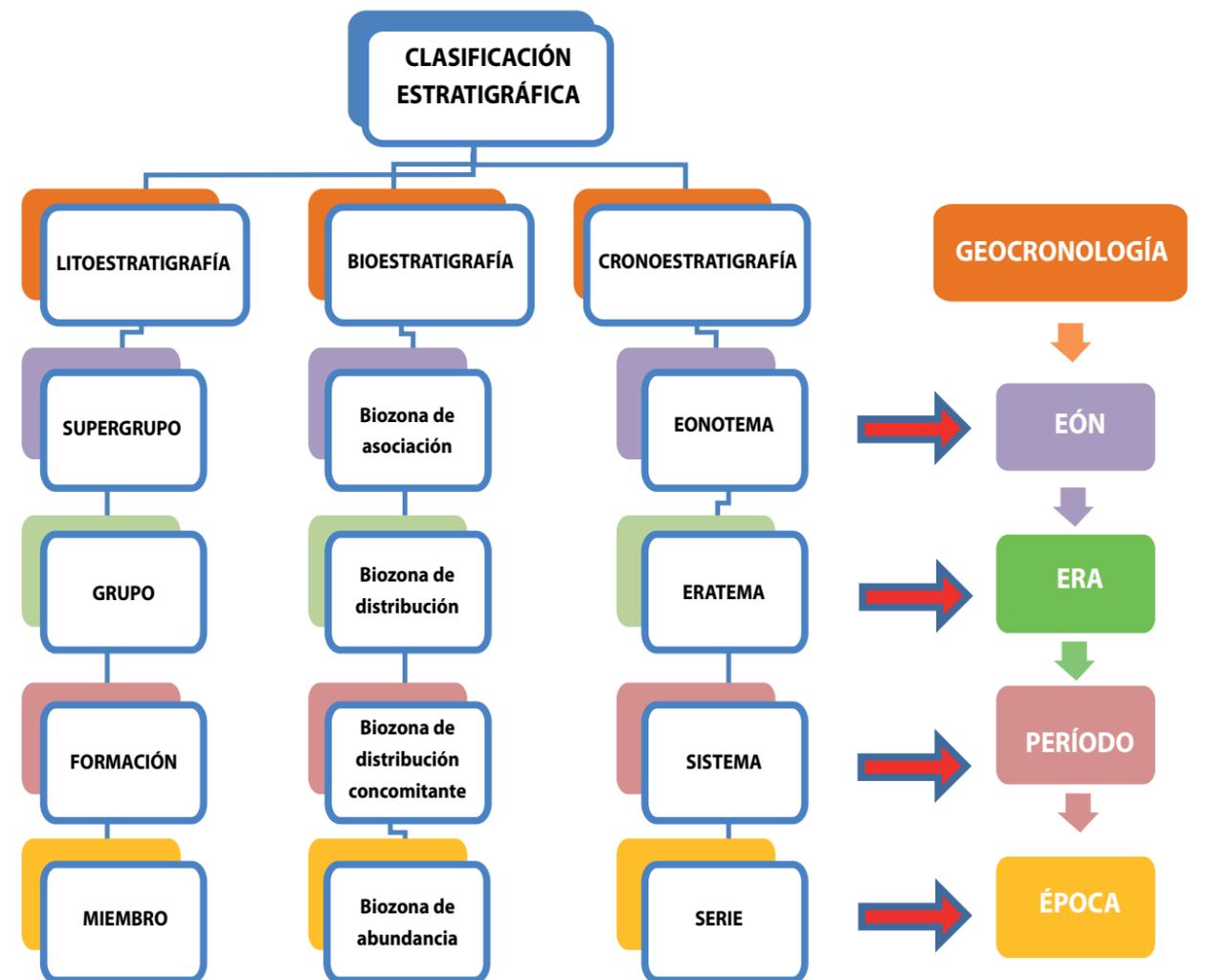


Figura 5.4. Diagrama sobre las diferentes unidades estratigráficas y su comparación con las unidades geocronológicas. Existe una evidente correspondencia entre ellas.

## ¿Cómo se determina la edad de las rocas?

En muchas ocasiones se necesita determinar la edad de las rocas con propósitos específicos. Por ejemplo, para la exploración de yacimientos de hidrocarburos y la estimación las probabilidades de encontrar petróleo o gas en determinado lugar, se requiere datar la edad de las rocas. Con estos datos, se toman decisiones importantes sobre si la zona tiene potencialidades para llevar adelante las labores de prospección y perforación.

Se han utilizado métodos de datación absoluta y relativa para obtener la edad de la Tierra. Estos métodos tienen una base fundamentalmente científica. Cuando se hace referencia a la **datación absoluta** significa que los métodos que se emplean permiten obtener edades expresadas en miles o millones de años. Para la determinación de edades absolutas se utilizan principalmente métodos radiométricos basados en la presencia de determinados elementos químicos y sus correspondientes isótopos.

Por su parte, la **datación relativa** es aquella que emplea métodos según los cuales se puede determinar la secuencia de acontecimientos ocurridos en una unidad o serie litológica, y su edad relativa con respecto a otras. De tal manera que la datación relativa no se expresa en términos de años, sino en expresiones como "anterior, posterior"; "más joven que, más antigua que"; "reciente, antiguo", entre otras.

La datación relativa se basa fundamentalmente en el principio geológico de superposición de estratos, que establece que, en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias, cada estrato es más antiguo que el que tiene por encima y más joven que el que tiene debajo. Veamos con un poco más de detalle los métodos empleados para la datación absoluta y la relativa.

### Para saber más...

La comunicación efectiva en las geociencias requiere de una nomenclatura coherente para las divisiones del tiempo geológico.

El desarrollo de nuevos métodos de datación y los intensos debates en el seno de la comunidad geocientífica han permitido llegar a unos acuerdos básicos para la comunicación de la edad de las rocas y su datación.



## Métodos para la datación absoluta

A continuación presentamos una síntesis de los métodos utilizados para determinar la edad absoluta de las formaciones litológicas. Si lo deseas, puedes investigar más acerca de ellos.

	Métodos
Datación absoluta	<b>Datación radiométrica:</b> procedimiento basado en la propiedad de algunos elementos de desintegrarse radiactivamente, mide la proporción o relación isótopo padre/hijo. Con este método es posible calcular la edad de la muestra. Para tal fin se utilizan técnicas diversas como rubidio-estroncio, samario-neodimio, uranio-torio-plomo, carbono 14, uranio-torio, entre otras.
	<b>Datación por termoluminiscencia:</b> procedimiento basado en la capacidad que tienen algunos minerales de emitir luz cuando son calentados. La cantidad de luz que se emite en el momento del calentamiento dependerá del tiempo que dicho material haya estado recibiendo radiación ambiental. Así se data el momento en que se acumuló el sedimento.
	<b>Datación por paleomagnetismo:</b> método basado en el registro de la atracción de minerales magnéticos, los cuales se orientan con respecto al campo magnético terrestre. Este campo ha variado a lo largo del tiempo geológico en términos de la ubicación de los polos e inversiones de la polaridad. Como existe un registro de las coordenadas geográficas del polo norte magnético a lo largo del tiempo, se podría datar el momento en que la muestra se produjo por la orientación de sus minerales magnéticos.

Tabla 5.1. Métodos para la datación absoluta.



Figura 5.5. Principios y mecanismos para la datación radiométrica empleando carbono 14. Esta técnica es aplicable donde se encuentren restos de materia orgánica. Siempre hay que tener en cuenta que lo que se data mediante esta técnica es la fecha en la que se produjo la muerte del organismo. El límite máximo de datación por este método es de unos 40.000 años.

## Datación relativa

Los métodos para la datación relativa se basan primordialmente en una serie de leyes y principios fundamentales de la geología. Estos principios, aunque lucen evidentes u obvios, tomó bastante tiempo establecerlos, lo que significó un importante avance en la reconstrucción de los procesos geológicos. Veamos algunos de ellos.

### Ley de la superposición de los estratos

Esta ley, también llamada **principio de la sucesión estratigráfica**, afirma que “en un apilamiento de los estratos sedimentarios, un estrato es más joven que el situado debajo de él y es más antiguo que el que está situado encima”. Esta ley está acompañada de dos principios, el de la horizontalidad inicial y el de la continuidad lateral de los estratos. El primero establece la tendencia de las rocas sedimentarias a disponerse en estratos horizontales en el momento de su formación. La continuidad lateral establece que los estratos se extienden lateralmente en forma continua, adelgazándose hacia los extremos.

### Ley del actualismo

Llamada también **ley del Uniformismo** establece que, en términos generales, los procesos geológicos han ocurrido siempre en la misma forma que acontecen en la actualidad, y queda claramente expresada en la frase “El presente es la clave del pasado”.

### Ley de la sucesión faunal y floral

Esta ley afirma la posibilidad de reconocer cada período geológico por los restos fósiles de los vegetales y animales que en él vivieron. Se enuncia de la siguiente manera “la evolución biológica es un proceso irreplicable, ya que cada especie que ha vivido en el pasado durante un intervalo de tiempo, nunca vuelve a aparecer”. La observación de los fósiles nos demuestra que la vida cambia y nos indica, además, que el cambio ha sido progresivo, desde formas sencillas hasta formas complejas en un orden definido y determinado. La ley de la sucesión faunística se ve confirmada porque, en todos los continentes, hubo una antiquísima edad de los trilobites, a la que siguieron sucesivamente la edad de los amonites, de los peces de los reptiles y de los mamíferos. Y estos fósiles, permiten reconocer los estratos representantes de las grandes unidades cronológicas, las eras y los períodos.

### Principio de las relaciones de corte oblicuo

Se le atribuye a James Hutton, padre de la geología moderna, según el cual “lo que corta es posterior” para significar que una unidad de rocas es siempre más antigua que cualquier rasgo que lo afecte como fallas, metamorfismo, intrusiones ígneas, superficie de erosión, entre otras.



*Figura 5.6. Imagen del Gran Cañón del Colorado. En ella se puede ver con claridad la superposición de estratos, dispuestos horizontalmente. El río Colorado corta el relieve pero la continuidad lateral de los estratos se puede apreciar claramente.*

### Eventos de significación para la geología histórica

Los procesos externos modelan y transforman la superficie terrestre. Estos procesos tienden a mover y transportar el material geológico, influenciados por agentes como el agua, los vientos y la fuerza de gravedad. Pero la forma del terreno en un sitio determinado, no sólo obedece a procesos externos, también dependen del tipo de roca y las condiciones ambientales de formación. Para interpretar los acontecimientos en una determinada zona, es necesario indagar sobre algunas señales o indicios que puedan dar respuestas a preguntas como las siguientes: ¿estuvo esta área cubierta por el mar o por capas de hielo? ¿Esto ocurrió antes, durante o después de la formación, el levantamiento, o la inclinación de los materiales que allí yacen? ¿Se interrumpió la continuidad de la sedimentación en un tiempo? ¿Cuándo volvió a restablecerse? Con preguntas semejantes a éstas los geólogos han ampliado más la búsqueda de nuevas evidencias. A continuación señalamos algunas de ellas.

**La transgresión marina:** es un evento geológico por el cual el mar avanza ocupando terreno continental y la línea de costa penetra tierra adentro. Estos avances se pueden producir por hundimiento de la costa y/o la elevación del nivel del mar. Una transgresión siempre va acompañada por el depósito de sedimentos marinos en el territorio invadido, sobre sedimentos terrígenos del ambiente costero o fluvial previo.

**Regresión Marina:** retroceso del mar, dejando al descubierto zonas antes sumergidas. Se produce por descenso del nivel del mar o por elevación del continente. Es característico de las glaciaciones, por la retención de agua continental en estado sólido en los glaciares; también puede ocurrir en el caso de procesos orogénicos que ocasionan el levantamiento de grandes áreas del relieve por encima del nivel del mar, así la línea de costa se ve obligada a retrogradar.

**Discontinuidades estratigráficas:** como ya vimos en la ley de Superposición de Estratos, los estratos rocosos que han sido depositados esencialmente sin interrupciones son concordantes. Un **hiatus** es una interrupción en la continuidad del registro geológico representando períodos de tiempo durante los cuales no hay sedimentación. La **discontinuidad estratigráfica** representa un largo período, durante el cual por efectos de levantamiento tectónico se interrumpió la sedimentación, la erosión eliminó las rocas previamente formadas y luego se reinició la sedimentación.

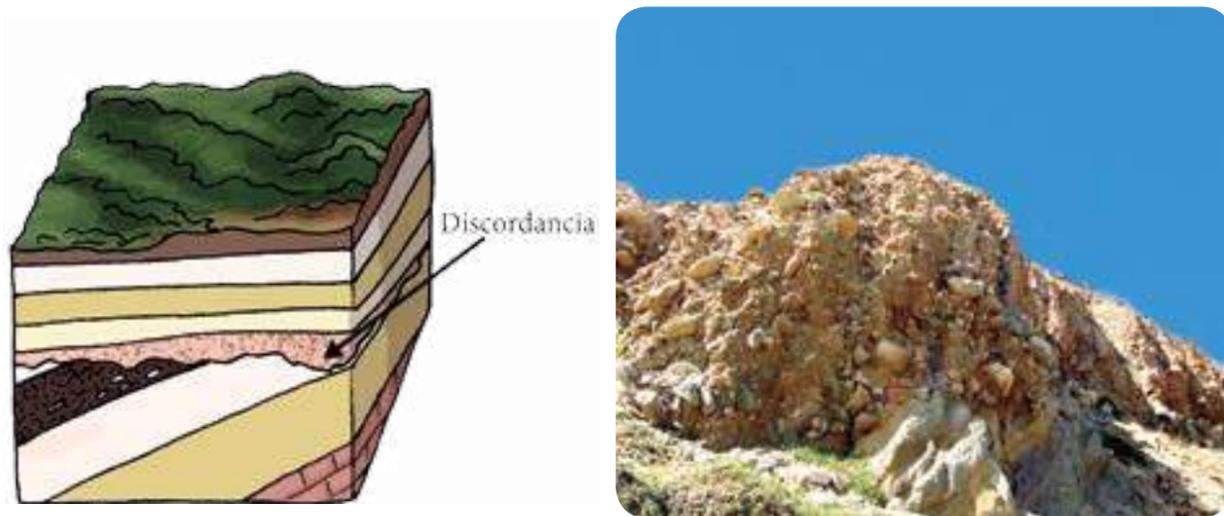


Figura 5.7. Representación de discontinuidad angular e imagen real entre areniscas conglomeráticas (infrayacentes) y conglomerados de tipo abanicos aluviales (suprayacentes). Grupo Cabo Blanco. Venezuela.

## La Tierra Precámbrica

Es la primera y más larga etapa de la Historia de la Tierra, un Super Eón que engloba los eones Arqueano (conocido también como Azoico o Arcaico) y el Proterozoico.

El Precámbrico se inicia con la génesis del planeta Tierra, hace 4.600 M.a. y concluyó hace aproximadamente 542 M.a. Su duración por tanto se estima en 4.058 M.a; para dar paso al Eón Fanerozoico.

El estudio del Precámbrico es complejo, porque las rocas formadas durante este tiempo están muy transformadas. Por una parte, por haber estado expuestas a diferentes ciclos orogénicos como deformación tectónica e intenso metamorfismo: y por otra parte, porque los fósiles son muy escasos o no se han conservado como consecuencia de las intensas transformaciones posteriores.

SUPER EÓN	EÓN	ERA	PERÍODO	EDAD (HACE ... M.a.)
P R E C Á M B R I C O	P R O T E R O Z O I C O			540
	A R C H E A N O			2.500
				4.600

Figura 5.8. Super Eón Precámbrico y sus eones.

Las rocas precámbricas son principalmente ígneas y metamórficas. Sus vestigios permanecen en los grandes escudos o cratones que se conservan en algunos lugares de planeta. Por ejemplo, son precámbricos el Cratón Suramericano en América del Sur, el Cratón de Kaapvaal en Sudáfrica, el Cratón de Pilbara en Australia occidental. En Groenlandia se encuentran las rocas terrestres más antiguas datadas en 3.800 millones de años aproximadamente. Estos cratones parecen haber sido el núcleo de los continentes primigenios o ser parte de un supercontinente único.

El Precámbrico contiene las respuestas acerca de las condiciones de la formación de la primera atmósfera o proto-atmósfera y la forma cómo se formó la hidrosfera terrestre. Algunas de las rocas precámbricas poseen abundante pirita, que es un mineral que no se forma en presencia de oxígeno, por tal motivo se estima que esta atmósfera antigua no contenía oxígeno, sino  $CO_2$  y  $N_2$  en consecuencia era una atmósfera reductora. Sin embargo, ésta es una hipótesis que está todavía por confirmarse.

Finalizando el Arcaico, un poco antes del comienzo del Proterozoico, la dinámica de tectónica se tradujo en colisiones y en la adición de numerosos bloques continentales alrededor de los protocontinentes arcaicos.

A partir de este momento, los continentes se desplazan chocando entre ellos manteniéndose unidos luego de la colisión para formar nuevos supercontinentes.

Los supercontinentes son inestables porque cubren el manto impidiendo su enfriamiento, lo que origina la formación de puntos calientes que los resquebrajan en fragmentos de masas continentales.

El alejamiento inicial entre estas masas continentales abre nuevas cuencas para la formación de mares y océanos, desemboca en una posterior colisión múltiple y en la formación de otro supercontinente. Este es en un ciclo que dura unos 400 M.a. Es el llamado Ciclo de Wilson.

Durante el Proterozoico superior (hace 1.100 M.a.) se formó el supercontinente de **Rodinia** que agrupaba a todos los bloques continentales del planeta y se mantuvo estable hasta que comenzó a fragmentarse. En la figura 5.9 se puede apreciar una representación de este supercontinente en el que se indican los nombres de los continentes como los conocemos hoy.

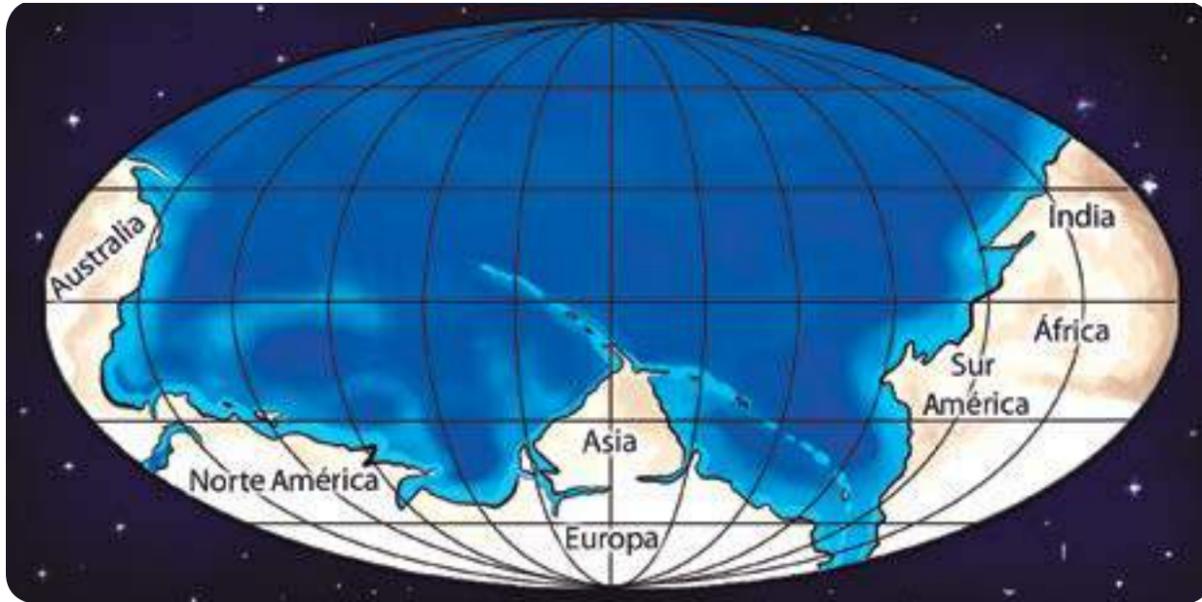


Figura 5.9. La Tierra durante el Proterozoico de acuerdo con la imagen del supercontinente Rodinia.

Como puedes apreciar, la superficie de la Tierra era muy diferente a como la vemos hoy.

Hace 3.800 millones de años (durante el eón arcaico), en los océanos de esta Tierra hostil apareció la vida. Los primeros restos orgánicos datan de esa época y corresponden a bacterias muy primitivas que habitaban en el mar. En estas bacterias no hay núcleo, son procariontes. Hace unos 2.500 millones de años debieron aparecer los primeros organismos productores de oxígeno, eran las cianobacterias.

Acontecimientos claves de la Tierra Proterozoica

Edad (M.a.)	Eventos	Interpretación
2.500	Desaparece la pirita y se acumulan sedimentos ricos en óxidos de hierro	Nuevas condiciones que propiciaron la proliferación de la vida
↓	Tills o fragmentos angulosos en rocas	¿Primera glaciación?
	Estructura de domo o cráter en Vredefort	¿Posible impacto de asteroide?
	Surcos y huellas de origen desconocido en sedimentos	¿Primeros animales?
540	Registros paleomagnéticos coincidentes India y Norteamérica (Orogenia Grenville)	Supercontinente Rodinia

## La Tierra Fanerozoica

Como debes recordar, el Fanerozoico es el Eón que se desarrolla al concluir el Proterozoico, hace unos 540 M.a. Este Eón corresponde al tiempo geológico en el que las diferentes formas de vida se desarrollaron y proliferaron intensamente, en particular, organismos pluricelulares de tamaño macroscópico, de allí su nombre que significa "vida visible".

Durante estos 540 M.a, los datos paleomagnéticos y las huellas de los choques y separaciones de los continentes que quedaron registradas en las rocas, han facilitado la reconstrucción de sus posiciones geográficas y por ende, es posible proponer con mayor fiabilidad respuestas a su movilidad anterior.

El Fanerozoico se divide en tres eras: Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica. Cada una de ellas a su vez se divide en Períodos. Aunque la extensión es más reducida que los eones previos, la información disponible es mucho mayor, entre otras razones por la gran cantidad de rastros que la vida ha dejado en las rocas y porque son muchas las unidades litológicas que se ubican a lo largo de este Eón. Para facilitar el breve recorrido que haremos de la Tierra durante el Fanerozoico, veremos cada una de sus eras por separado.

ERA	PERIODO	EDAD (Hace... M.a.)
P A L E O Z O I C A	PÉRMICO	250 295
	CARBONÍFERO	355
	DEVÓNICO	415
	SILÚRICO	435
	ORDOVÍCICO	500
	CÁMBRICO	540

La **Era Paleozoica** es el lapso de tiempo geológico de unos 290 M.a. de duración, que se inició hace 540 M.a. y acabó hace unos 250 M.a. Se divide en seis períodos: Cámbrico (la vida animal florece en los mares), Ordovícico (primeros invertebrados), Silúrico (primeros peces continentales), Devónico (aparecen primeras plantas terrestres), Carbonífero (aparecen grandes bosques de helechos y los primeros insectos voladores), Pérmico (la mayor extinción de la Tierra).

Desde el inicio del Paleozoico, los mares poco profundos invadieron los continentes. La configuración de los continentes era muy diferente de la actual. La era se inicia poco después de la fragmentación del supercontinente Pannotia (ver figura 5.11) y el final de una era glacial. Durante esta Era, la superficie de la Tierra se divide en un número relativamente pequeño de continentes. Hacia el final de la Era, los continentes se reunieron en el supercontinente Pangea, que incluía la mayor parte de la superficie terrestre del planeta (ver figura 5.12).

Figura 5.10. Era paleozoica y sus seis períodos. Se indica la edad de inicio y final para cada período.

Acontecimientos claves de la Tierra Paleozoica

Edad (M.a.)	Eventos	Interpretación
540	Nuevas especies animales	Nuevas condiciones que propiciaron la proliferación de la vida
	Tills o fragmentos angulosos en rocas	Glaciación
	Deformación de Europa y Norteamérica	Ciclo orogénico
	Primeros insectos, reptiles y peces continentales	Invasión de la vida hacia los continentes
	Tills o fragmentos angulosos en rocas	Nueva glaciación
	Formación de cadenas montañosas (Apalaches)	Colisión entre continentes
	Formación masiva de carbón	Hipótesis no confirmada (clima + orogénesis)
	Desaparecen especies marinas	Causa desconocida
250	Se elevan los montes urales	Choque entre continentes



Figura 5.11. Super continente Pannotia. Distribución de los continentes hace 500 millones de años durante el Cámbrico, una vez que Pannotia se fragmentase. Los tres pequeños continentes son: Laurentia, Siberia y Báltica, mientras que el grande es Gondwana.



Figura 5.12. Supercontinente Pangea. La formación de este supercontinente a causa de sucesivos choques de los continentes de Laurentia, Gondwana, Siberia y Báltica, establece el límite entre la Era Paleozoica y la Mesozoica.

ERA	PERÍODO	EDAD (HACE ... M.a.)
M E S O Z O I C A	CRETÁCICO	65
	JURÁSICO	135
	TRIÁSICO	203
		250

Figura 5.13. Era Mesozoica y sus tres periodos.

La **Era Mesozoica** se inició hace 250 M.a y finalizó hace 65 M.a, se divide en tres periodos: Triásico, Jurásico y Cretácico. Se destaca por la fragmentación de Pangea que gradualmente se dividió en un continente norte (Laurasia) y un continente sur (Gondwana) dando cabida con su separación a la formación de la cuenca del océano Atlántico. A finales de la Era, los continentes se habían fragmentado a casi su forma actual. Laurasia se convirtió en América del Norte y Eurasia, mientras que Gondwana se dividió en América del Sur, África, Australia, Antártida y la India.

El Mesozoico concluyó con el impacto de un asteroide de unos 10 kilómetros de diámetro, que ocasionó la extinción masiva del Cretácico-Terciario.

El clima fue excepcionalmente cálido durante todo el período, desempeñando un papel importante en la evolución y la diversificación de nuevas especies animales.

Mientras los mares se iban ampliando, el agua de mar poco profunda y cálida penetró hacia gran parte de las masas continentales. Al final del Jurásico, estos mares poco profundos empezaron a secarse, dejando depósitos gruesos de caliza en donde se formaron algunas de las más ricas acumulaciones de petróleo y de gas.

Al final del período Cretácico se produjo una extinción masiva que afectó principalmente a los dinosaurios y causó impacto a la gran mayoría de las especies. La teoría más aceptada es la que explica que la causa se atribuye al impacto de un meteorito de gigantescas dimensiones, que habría levantado grandes cantidades de partículas de polvo que impidieron que la luz solar llegara hasta las plantas, reduciendo su capacidad fotosintética, lo cual generó un desequilibrio en la cadena trófica, cuya consecuencia final fue la extinción masiva de múltiples especies.



Figura 5.14. La teoría del meteorito del Cretácico es una hipótesis plausible para explicar la extinción de dinosaurios.

#### Acontecimientos claves de la Tierra Mesozoica

Edad (M.a.)	Eventos	Interpretación	
250	Abundancia de reptiles	Se inicia el dominio de los reptiles	
↓	Primeros restos de dinosaurios	Los reptiles son desplazados por los dinosaurios	
	Primeros mamíferos	Evolución de especies	
	Separación de Laurasia y Gondwana	Dispersión de Pangea y formación del Océano Atlántico	
	India se separa de África	Colisión entre continentes	
	Plantas con flores	Salto evolutivo en plantas	
	Origen de la mayor parte del petróleo conocido	Hipótesis orgánica e inorgánica para la formación de hidrocarburos	
	Se elevan los Andes y las Rocosas	Avance de Suramérica y Norteamérica hacia el oeste	
	Se forman los Himalayas	Choque entre Asia e India	
	63	Se extinguen los dinosaurios	¿Posible impacto de asteroide?

EÓN	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD (Hace M.a.)		
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	2,58		
			PLEISTOCENO			
		NEÓGENO	PLIOCENO	5,3		
			MIOCENO			
		PALEÓGENO	OLIGOCENO	23,5		
			EOCENO	33		
			PALEOCENO	53		
						65

Figura 5.15. Era Cenozoica.

La **Era Cenozoica** es una división del tiempo geológico, que se inició hace unos 65 M.a y que se extiende hasta la actualidad. Es la tercera y última era del Eón Fanerozoico y sigue a la Era Mesozoica. Son abundantes las rocas ricas en carbonato cálcico relacionadas con la actividad biológica en mares tropicales.

Esta era se divide en tres períodos, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario, que a su vez se dividen en épocas. El Paleógeno comprende las épocas Paleoceno, Eoceno y Oligoceno; el Neógeno comprende Mioceno y Plioceno; mientras que el Cuaternario comprende las épocas Pleistoceno y Holoceno. Esta última, es la actual.

Geológicamente, es el tiempo en que los continentes se trasladaron a sus posiciones actuales. Australia-Nueva Guinea se separaron de Gondwana y derivaron al norte y se acercaron al sureste de Asia. La Antártida se trasladó a su actual emplazamiento sobre el Polo Sur. El Océano Atlántico se ensanchó, y más tarde, Sudamérica se unió a Norteamérica con la formación del Istmo de Panamá.

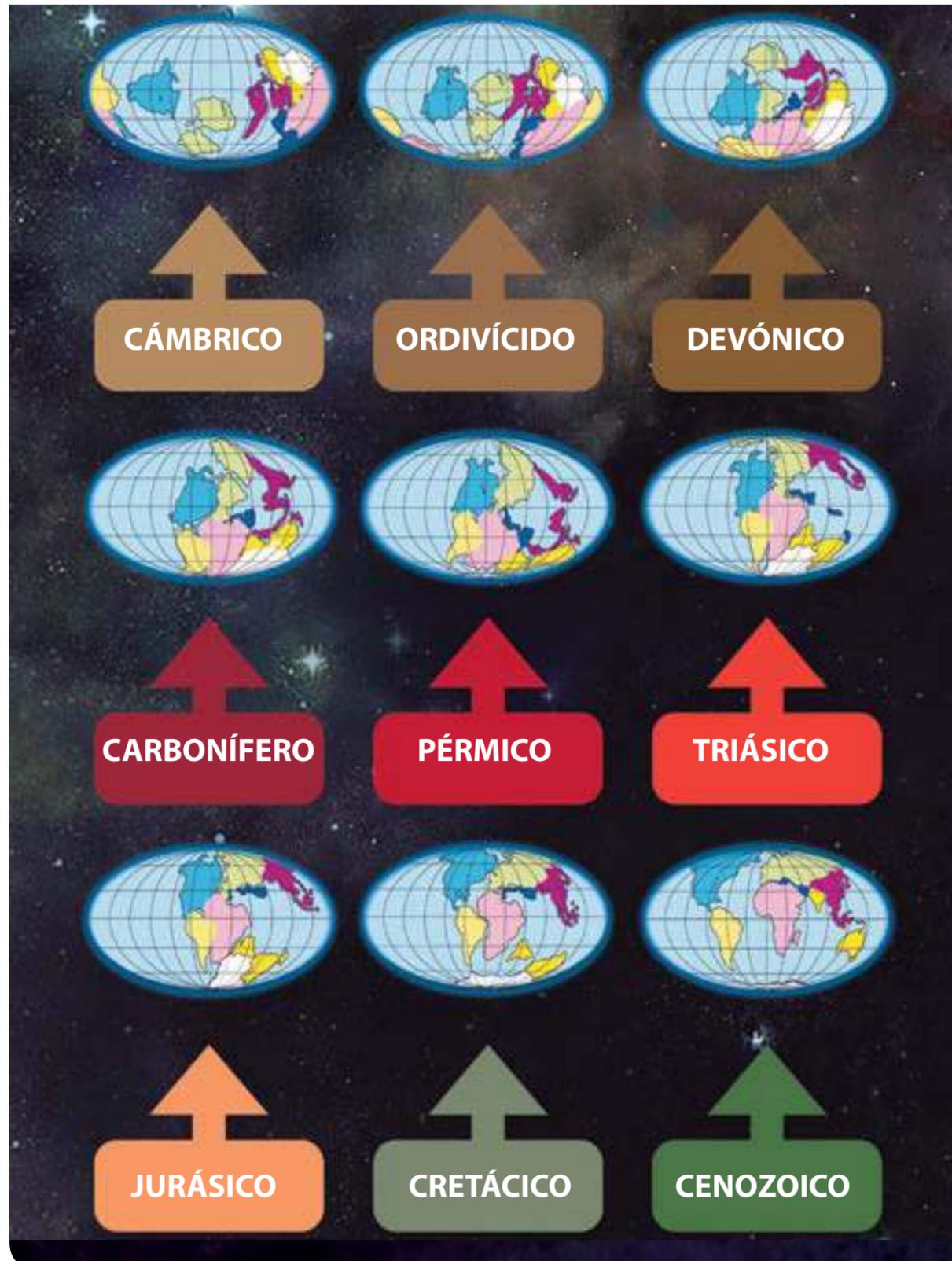
La Era Cenozoica ha sido un período de enfriamiento, luego del posible impacto de un asteroide y sus partículas eyectadas que bloquearon la radiación solar. Este hecho en apariencia fortuito fue aprovechado por los mamíferos que sobrevivieron a las nuevas condiciones ambientales.

A partir de ese momento estaban a punto de iniciarse las glaciaciones del Pleistoceno y la aparición del hombre.

#### Acontecimientos claves de la Tierra Cenozoica

Edad (M.a.)	Eventos	Interpretación	
63	Se originan los Pirineos y los Alpes	Colisión entre las actuales península ibérica - Francia y Europa - Italia	
↓	Separación de Arabia y África	Surge el mar Rojo y el Mar Mediterráneo	
	Primeros homínidos	Base de evolución de homínidos	
	Norteamérica se une a Suramérica y se crea el Istmo de Panamá	Conformación actual de los continentes	
	Evidencias de glaciación en Norteamérica	Glaciación global	
	Primeros individuos del género Homo	Evolución de la especie humana	
	Hoy	El género <i>Homo</i> se extiende	Dominio del <i>Homo sapiens</i>

## Resumen gráfico del movimiento de los continentes durante el Eón Fanerozoico



### Actividades ICI

Vamos a trabajar con los conocimientos que hemos obtenido del estudio del tiempo geológico.

**Actividad 1.** Hagamos equivalencias entre escalas temporales y espaciales.

Al finalizar las actividades, obtendremos una mayor comprensión sobre la extensión del tiempo geológico.

#### ¿Qué necesitan?

Dependiendo de la sub-actividad que seleccionen para hacer, tendrán que disponer de los siguientes materiales:

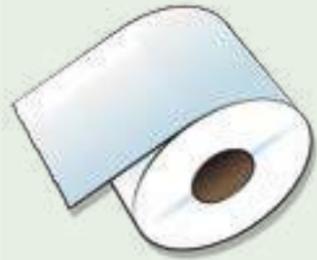
- 1 cinta de papel de 5 m (puede ser de registradora o calculadora).
- 1 cuerda de 5 m.
- Lápiz, creyones, marcadores.
- Hojas blancas.
- Clips o cinta adhesiva.
- 3 Cajas de diferentes tamaños o cartón para hacerlas.

#### ¿Cómo lo harán?

Seleccionarán la(s) sub-actividad(es) a realizar y obtendrán los materiales que necesitan. Una vez concluido el trabajo, analizarán las dificultades que confrontaron para realizar la actividad y analizarán las ventajas y desventajas que tiene el modelo de escala elaborado. Propondrán mejoras para desarrollar la tarea de una manera más eficiente. Las sub-actividades son las siguientes:

- **Campo de fútbol geológico:** en una hoja blanca representarán un campo de fútbol a escala. Recuerden que las dimensiones reales del campo son 90 x 45 m. Tomando en cuenta las dimensiones del campo, ubiquen en él las unidades del tiempo geológico de eones y eras.





• **5 metros de historia:** en una cinta de papel o en una cuerda de 5 metros de longitud, representarán la extensión del tiempo geológico. En la cinta de papel pueden escribir los nombres e información relativa a cada unidad, la edad y dibujar los eventos significativos asociados. Si trabajan con la cuerda, harán nudos en donde corresponda ubicar cada unidad geocronológica y podrán pegar con cinta adhesiva o con clips letreros de papel para identificar las unidades. En ambos casos pueden utilizar 1mm para representar 1 millón de años.

• **Gráficos circulares del tiempo geológico:** realizarán 2 gráficos circulares para representar la extensión del tiempo geológico. En el primero representarán la duración de los eones, y el otro será para las eras. Para ello deben suponer que 4.600 M.a. representa el 100 % del círculo. Cada sector o unidad geocronológica deben colorearlo con su color estándar y preparar la respectiva leyenda.

• **Columna del tiempo geológico:** busquen o construyan tres cajas de cartón de diferentes tamaños. Cada caja representará una Era geológica. Decidan, con base en el tamaño, cuál debería corresponder a cada Era. En los lados de cada caja coloquen información relativa a cada Era: sus períodos, sus edades, el paisaje predominante y cómo era la disposición de los continentes. Al terminar dispongan las cajas una sobre otra para formar una columna.



**Actividad 2.** Construiremos líneas del tiempo temáticas, con eventos de significación para la historia geológica.

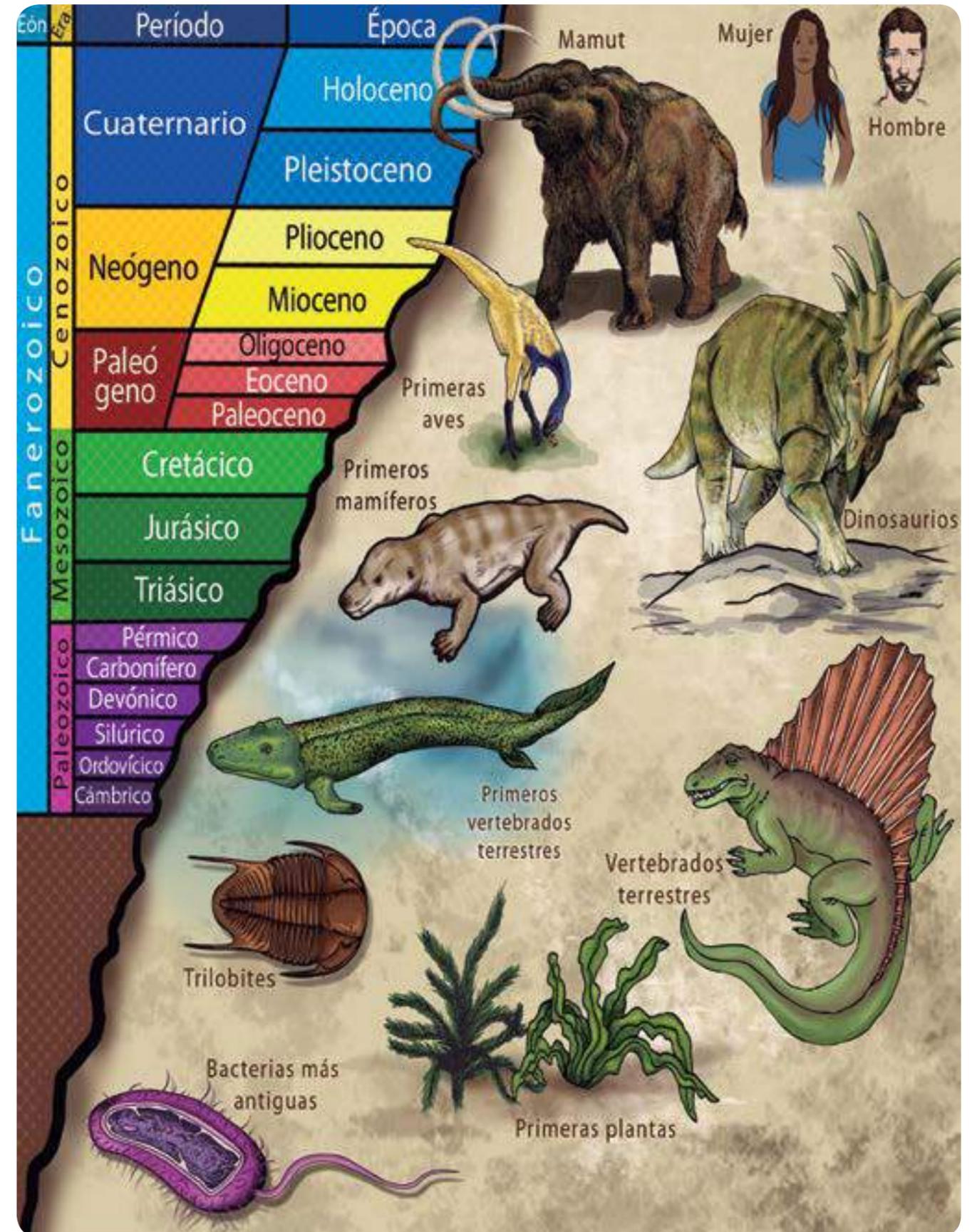
Al finalizar esta actividad, podremos tener una idea de la edad relativa de acontecimientos geológicos y podremos establecer su secuencia.

**¿Qué harán?**

Con los materiales de su elección, construirán una línea del tiempo basada en algunos de los siguientes temas: glaciaciones; aparición y extinción de especies; sucesión de los supercontinentes entre otras.

**¿Cómo lo harán?**

Buscarán información relacionada con el tema seleccionado para la elaboración de la línea del tiempo, poniendo atención en precisar la época, período y era de ocurrencia de los eventos. Procederán a ubicarlos en la línea del tiempo geológico que hayan preparado y analizarán los eventos a través de las expresiones que se usan para la datación relativa: "más joven que—más antiguo que".



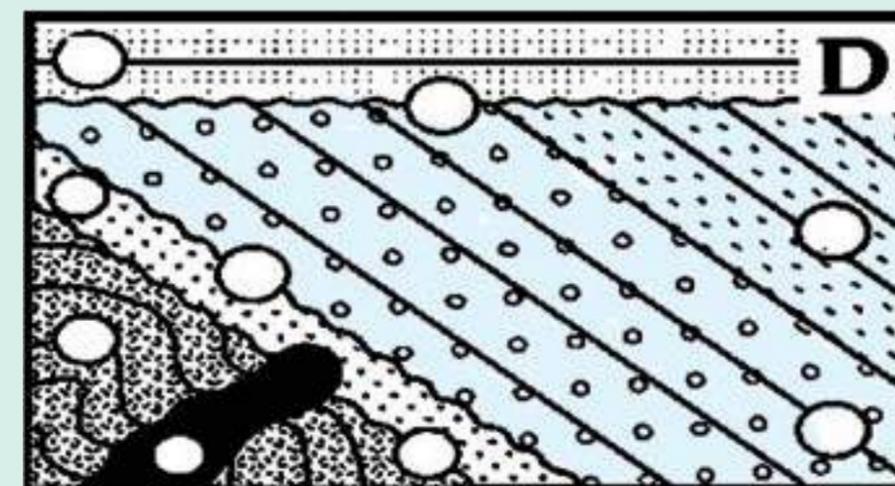
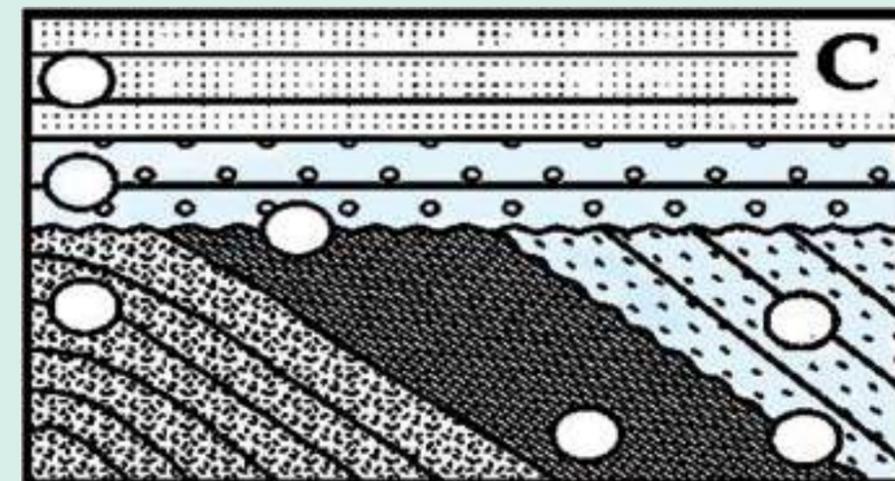
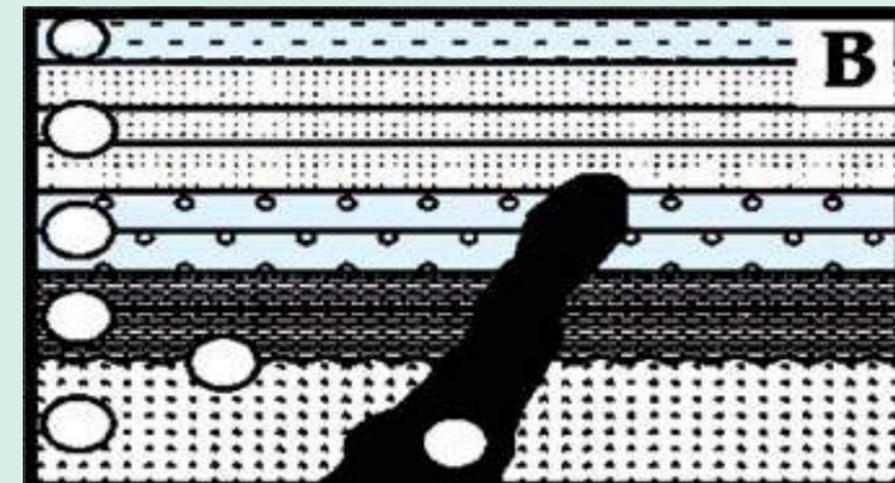
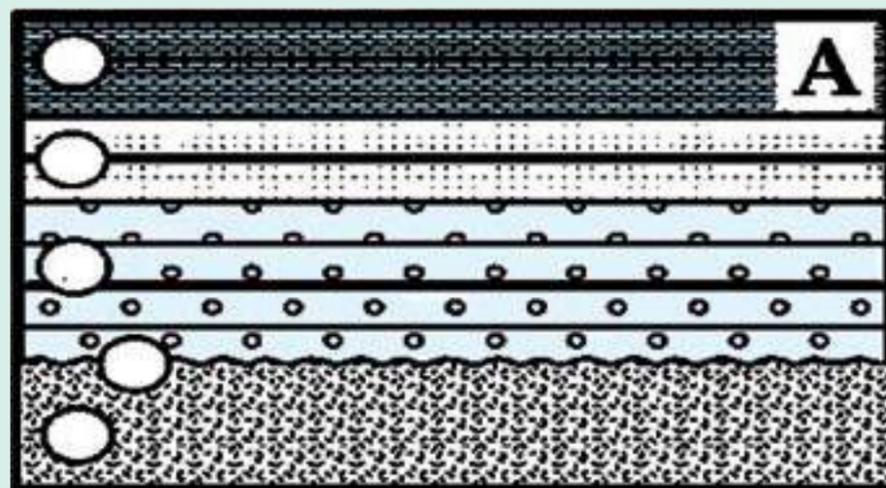


## Actividades de autoevaluación

1. En un recorrido por los alrededores del liceo, buscarás huellas dejadas sobre el suelo húmedo, pueden ser de animales, personas, máquinas o vehículos. Observa sus características, infiere quién o qué pudo provocarlas, el tiempo que llevan allí, entre otras características. Esas son las huellas del presente que tendrán que interpretar los geólogos del futuro para datar las rocas. Con esa idea, formula una lista de objetos y vestigios de actividad biológica y humana que están quedando en las rocas del presente. Estas huellas servirán para datar las rocas más adelante.

Si hay condiciones para hacerlo, obtén una réplica de una huella, usando el siguiente procedimiento: limpia la huella con cuidado para eliminar hojas y fragmentos sueltos. Rodea la huella con una tira de papel de acetato o cartón, formando un aro y entiérralo ligeramente alrededor de la huella. Mezcla yeso con agua hasta formar una pasta cremosa y cubre la huella con la mezcla y deja secar por 20 minutos. Retira con ayuda del aron la capa de yeso fraguado, limpia de los desperdicios adherido y deja que termine de secar. Para proteger tu réplica puedes aplicarle pega blanca para plastificarla.

2. A partir de los esquemas gráficos de series de estratos y unidades litológicas que se presentan a continuación, enumera la secuencia de los eventos sucedidos colocando el número 1 para el más antiguo o el que ocurrió primero, 2 para el que sucedió después y así sucesivamente hasta completar la serie. usa los principios y leyes de la Geología.



Leyenda:

Granito	Calizas	Arenisca	Conglomerado
Esquistos	Margas	Basaltos	Discontinuidad



Hemos ido avanzando en el conocimiento de nuestro planeta y su extensa historia geológica. Ya discutimos acerca de su incesante dinámica que le ha permitido tener la configuración actual. Seguramente ya compartes la idea de que la Tierra no siempre fue como la conocemos hoy día. Los cambios terrestres son permanentes e innumerables las transformaciones que ha experimentado nuestro planeta a lo largo del tiempo geológico.

Venezuela está ubicada en el extremo septentrional de Suramérica y en esta región hay una intensa actividad geológica. Esta actividad es el resultado de la convergencia de dos grandes placas tectónicas, la Placa del Caribe y la Placa Suramericana. El movimiento de estas placas está determinado por las corrientes de convección del manto terrestre que se encuentran debajo de ellas. En las regiones donde se presentan límites de placas suelen encontrarse profundas fosas submarinas, cadenas montañosas, volcanes activos y frecuentes movimientos sísmicos. De esta manera, se expresan las interacciones y choques entre placas.

La historia geológica de Venezuela, al igual que la de la Tierra, está asociada a eventos de interacción entre placas tectónicas, la actividad del manto, los procesos de degradación en la superficie de la corteza y el movimiento de los continentes.

Con esta lectura te proponemos estudiar las transformaciones ocurridas en el territorio venezolano, entendiendo que ellas están interconectadas con los cambios globales que se han expresado a todo lo largo del vasto tiempo geológico.

## La historia geológica a través de las rocas

Como ya vimos en la lectura sobre el tiempo geológico, la Tierra ha experimentado muchos cambios desde su formación hasta el presente. Pero, ¿dónde estarán registradas las huellas de esos acontecimientos antiguos y lejanos?.

La historia geológica de la Tierra se puede reconstruir a través del estudio de las rocas porque ellas se formaron por procesos ocurridos en el pasado. Las rocas son como una especie de "memoria" en la que se grabaron informaciones valiosas sobre los acontecimientos geológicos. Entonces, la clave está en saber extraer esa información para poder contar dicha historia.

Cada tipo de roca se forma en unas condiciones ambientales particulares, bajo procesos geológicos determinados y ello conduce a la formación de una gran diversidad de rocas con una variada composición mineralógica y diferentes tipos de texturas. Estas características suministran detalles acerca de su formación. Los geólogos utilizan esas características para interpretar las condiciones reinantes en el lugar y en el tiempo en que esa roca se formó. De esta manera, se descifra la historia que quedó registrada en el interior de las rocas.

Cuando se estaba consolidando la corteza primitiva en las edades tempranas de la Tierra, los primeros movimientos asociados a la tectónica de placas, quedaron registrados en los cratones del mundo. Los cratones son grandes formaciones geológicas que constituyen los núcleos estables y más antiguos de los continentes. Se originaron durante el Precámbrico y, desde entonces, en ellos permanecen guardados los vestigios más remotos de la historia geológica.

Ahora, observa la figura 6.1 y detalla su información.

	IGNEA	SEDIMENTARIA	METAMÓRFICA
ROCA			
ORIGEN DEL MATERIAL	Fusión de rocas en la corteza inferior y manto superior	Meteorización y erosión de rocas expuestas en la superficie	Rocas sometidas a altas temperaturas y presiones en la corteza y el manto superior
PROCESOS FORMADORES DE LA ROCA	Cristalización por enfriamiento y solidificación del magma	Deposición, enterramiento y litificación	Recristalización de nuevos minerales

Figura 6.1. Origen de las rocas, sus materiales y procesos de formación.

Cuando se hallan **rocas sedimentarias** en un lugar yaciendo en capas o estratos sucesivos, debemos analizar su proceso de formación y la fuente del material que las constituye. A partir de ese análisis podemos deducir lo siguiente:

- En ese lugar de yacimiento se sedimentaron materiales que fueron previamente degradados, erosionados y transportados hasta allí.
- En el tiempo en que el material se depositaba en ese lugar, actuaba un agente capaz de transportarlo y depositarlo en la zona. Este agente podría haber sido el mar o un río.
- También podemos inferir que había alguna región que era fuente para esa degradación y erosión, la cual suministró el material sedimentario.
- Que en la serie de estratos, si se mantiene la horizontalidad, los más viejos serán los inferiores y los superiores, los más recientes.
- Y por último, podríamos también deducir que las rocas que forman la serie de estratos son más jóvenes que las rocas que fueron degradadas previamente para generar ese material sedimentario.

Si encontramos aflorando **rocas ígneas**, podríamos interpretar que para el momento de formación de esas rocas:

- Se producía actividad magmática (plutonismo) en las profundidades terrestres. Llamamos plutonismo al ascenso de un magma desde el interior de la corteza que se abre paso lentamente entre las rocas. Al ascender su temperatura va disminuyendo lentamente, por tanto, sus componentes cristalizan. Es una roca en la que podemos distinguir perfectamente los diferentes minerales que la componen.
- También pudiéramos deducir que el magma que le dio origen fuera expulsado desde cámaras magmáticas hacia la superficie de la corteza (vulcanismo) para dar lugar a rocas ígneas volcánicas. Al ascender su temperatura disminuye y sus componentes sólo solidifican sin cristalizar. El resultado es una roca en la que no podemos distinguir a simple vista los diferentes minerales que la componen.

Por último, si encontramos **rocas metamórficas** aflorando en una zona, este hecho podrá ser evidencia de:

- Actividades de deformación, alzamiento tectónico, compresión y una serie de procesos deformantes de las rocas preexistentes.
- Que el lugar donde estas rocas se formaron debió estar sometido a intensos procesos de esfuerzo donde predominaban altas temperaturas y altas presiones.

Finalmente, todas estas informaciones se corroboran fehacientemente y se estudia con detalle si los materiales son **autóctonos** de la zona donde se han levantado, o si por el contrario, son alóctonos. Por **alóctono** se entiende que los materiales provengan de zonas distintas al lugar del levantamiento.

Los científicos de la Tierra y los ingenieros exploran las rocas en busca de información de interés, particularmente, en las tareas de prospección de yacimientos minerales y de hidrocarburos. Por ejemplo, la presencia de determinados afloramientos de rocas sedimentarias son un indicativo de potenciales yacimientos de petróleo y gas. ¿Por qué será así? ¿Cómo hacen para explorar otros recursos minerales como el oro, el uranio, el diamante, entre otros?.

## Las rocas y las placas tectónicas

Los procesos de formación de las rocas son a su vez gobernados por la **tectónica de placas**.

Las rocas ígneas son en general el producto de la interacción de las placas y de la actividad interna de nuestro planeta. Los plutonismos y vulcanismos son el resultado de la liberación de la energía interno de la Tierra que tiene lugar en tres ambientes geotectónicos bien definidos:

1. En **los límites convergentes entre placas**: donde una placa oceánica es obligada a descender (subducción) a grandes profundidades de la corteza, se funde y se transforma en magma y rocas ígneas.
2. **En los límites divergentes**: como en las dorsales centro-oceánicas, donde el fondo oceánico se expande, facilitando el ascenso del magma basáltico proveniente del manto.
3. En las denominadas **plumas o puntos calientes**: lugares donde el magma asciende desde el manto y sale a la superficie para formar volcanes y rocas ígneas.

Las rocas metamórficas, en especial las generadas por metamorfismo regional, se forman allí donde las placas tectónicas colisionan en los límites convergentes. Estas colisiones generan montañas y alzamientos tectónicos de cordilleras, ya que la corteza se encuentra sometida a grandes presiones y temperaturas, transformando a las rocas preexistentes y convirtiéndolas en rocas metamórficas.

Las rocas sedimentarias se forman por procesos exógenos que degradan las rocas en la superficie de la corteza y producen sedimentos que se movilizan desde zonas altas sujetas a erosión hacia zonas bajas o cuencas donde se depositan. Al mismo tiempo, en esas cuencas está ocurriendo una probable subsidencia favoreciendo los procesos sedimentarios en ambientes marinos y continentales.

Con estos principios generales, se ha hecho la reconstrucción de la historia geológica de la Tierra. La historia de nuestro territorio guarda estrecha relación con todos los acontecimientos globales ocurridos. En nuestro país existe una amplia gama de rocas de diferentes edades y composición. También posee una variedad importante de relieves y formas que sirven de guía para reconstruir su pasado. Pero esta historia todavía está incompleta.

## Provincias fisiográficas

Los rasgos del relieve o rasgos fisiográficos son expresiones de la evolución física que ha tenido lugar en la superficie terrestre. En el relieve también quedan rastros de los eventos acontecidos en el pasado. Tomando en cuenta esta premisa, estudiar la fisiografía venezolana es de gran ayuda para la localización de los eventos geológicos. El territorio venezolano posee zonas de cordilleras, piedemontes, planicies y llanuras. Unas, de relieves altos con estribaciones y pendientes fuertes a moderadas, como las cordilleras y sierras. Otras, con relieves bajos, llanuras y depresiones, como los llanos y áreas inundables. En la figura 6.2 se identifican las zonas de alto relieve y las de relieve bajo.

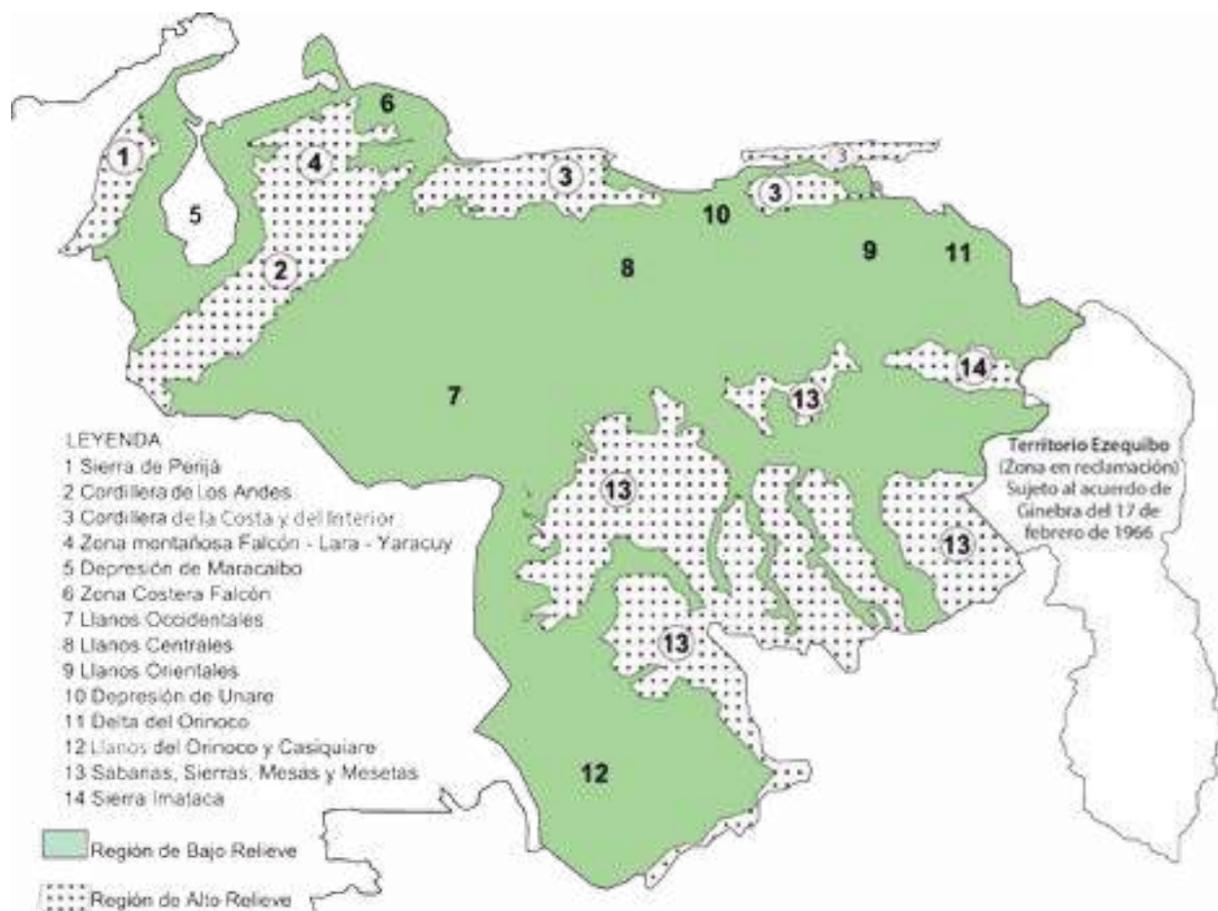


Figura 6.2. Zonas de alto y bajo relieve sobre el territorio venezolano.

Como puedes observar, las zonas de relieves altos de Venezuela están constituidas por: la Sierra de Perijá; la cordillera de Los Andes; la zona montañosa de Lara, Falcón y Yaracuy; la cordillera de la Costa y del Interior; la Sierra de Imataca y las sierras y mesetas de Guayana. Los rasgos fisiográficos de los relieves altos y su historia, se encuentran asociados a la evolución del margen norte de la Placa Suramericana.

Las zonas de relieves bajos se corresponden con: las depresiones de Maracaibo y de Unare; la zonas costeras de Falcón y Carabobo; el Delta del Río Orinoco, los llanos centrales, occidentales, orientales y los llanos de los ríos Casiquiare y Orinoco. Estas zonas de relieve bajo están cubiertas de sedimentos producidos por el relleno de las cuencas por la acción fluvial y en menor grado por la acción eólica. Tanto las zonas de relieves cordilleranos y piemontinas, como las de bajos relieves poseen cualidades diferenciadoras que han permitido agruparlas en grandes provincias fisiográficas.

Como lo señala el mapa de la figura 6.3 el territorio nacional ha sido subdividido en ocho provincias fisiográficas como sigue: 1) Cordillera de Mérida y Sierra de Perijá, 2) Sistema Montañoso del Caribe, 3) Cuenca de Maracaibo, 4) Cuenca del Orinoco y Río San Juan, 5) Escudo de Guayana, 6) Los Llanos, 7) Plataforma Continental, Islas y Llanos Costeros, 8) Valles y Serranías de Lara, Falcón y Yaracuy.



Figura 6.3. Provincias fisiográficas de Venezuela.

Veamos las características del relieve en cada una de las ocho provincias ¿A qué provincia fisiográfica pertenece la localidad donde vives? Comprueba si esta descripción se corresponde con el relieve que observas a tu alrededor.

**1-Cordillera de Mérida y Sierra de Perijá:** los Andes de Mérida comienzan en el suroeste en la depresión del Táchira hasta la depresión de Barquisimeto-Acarigua. En conjunto abarcan aproximadamente el 6% de la superficie territorial venezolana.

Toda la cadena constituye una estructura topográfico-tectónica, centrada en los alrededores de la ciudad de Mérida, donde se presentan los picos más elevados y una de las unidades más antiguas de Venezuela. Constituye una vasta divisoria entre las cuencas hidrográficas de los ríos Apure y Orinoco al sur, y del Lago de Maracaibo y Mar Caribe al norte, sin valles transversales de importancia. En contraste, los valles longitudinales constituyen profundas hendiduras, frecuentemente relacionadas con fallamientos. Además de las rocas metamórficas antiguas, afloran rocas de metamorfismo bajo a muy bajo grado.

La Sierra de Perijá se caracteriza por la presencia de varias serranías o filas paralelas, entre las cuales se destaca la Serranía de Valledupar. El flanco oriental de la Sierra de Perijá pasa bruscamente a la zona piemontina, exceptuando únicamente la parte nororiental o cuenca del río Socuy, donde se observan algunas cadenas de origen tectónico.

**2-Sistema montañoso del Caribe:** Se extiende desde la Depresión de Barquisimeto hasta el extremo Este de la Península de Paria. Se divide en el sector occidental y oriental. El occidental está formado por dos elementos fisiográficos diferentes, separados por la depresión

de la Falla de la Victoria – Lago de Valencia. Al norte de esta depresión tenemos la Cordillera de la Costa y al sur de la misma, la Serranía del Interior y otras franjas tectónicas.

En el sector oriental, otra depresión marcada por el Golfo de Cariaco, Laguna Buena Vista, Caño Turépano y Costa del Sur del Golfo de Paria, separan este sistema montañoso en la cordillera Araya – Paria, formada por rocas metamórficas alóctonas (no originarias del lugar) y la Serranía del Interior al sur, constituida por rocas sedimentarias autóctonas y más jóvenes.

**3-Cuenca de Maracaibo:** Ocupa una depresión tectónica de unos 52.000 km<sup>2</sup> de extensión, donde se han acumulado sedimentos de más de 10.000 m de espesor. Constituye la cuenca petrolífera más rica de América del Sur. Tectónicamente se relaciona con el levantamiento de la Sierra de Perijá y de la Cordillera de Mérida. La gran masa de agua que ocupa la parte central de la cuenca, está enmarcada por llanuras, parcialmente anegadizas, que se extienden hasta las estribaciones de las serranías circundantes.

**4-Delta del Orinoco – San Juan:** Las llanuras inundables de los deltas del río Orinoco y del río San Juan abarcan unos 32.000 km<sup>2</sup> de extensión, cuya casi totalidad está constituida por sedimentos. Su característica más prominente son los caños de marea, intercomunicados entre sí formando islas, generalmente pantanosas y con menor frecuencia de terreno más firme. El delta se traslada hacia el Este, a medida que el gran volumen de sedimentos aportados por los ríos forman bajos, donde los manglares contribuyen a retener más sedimentos, aumentando las islas existentes o formando nuevas islas.

**5-Escudo de Guayana:** Constituye el 45% de la superficie territorial (423.000 km<sup>2</sup>) y se extiende al sur del río Orinoco hasta las fronteras de Guyana, Brasil y Colombia. Es la región minera por excelencia con placeres auríferos, diamantíferos y grandes reservas de mineral de hierro.

La provincia está constituida principalmente por las rocas más antiguas del territorio venezolano. Las de mayor edad, están profundamente metamorfizadas e intrusionadas por material ígneo. La formación Roraima, es una secuencia sedimentaria, levemente metamorfizada, en la que predominan areniscas con intervalos menores de conglomerados y lutitas, estas rocas se encuentran intrusionadas en algunas áreas. Mientras que las rocas más antiguas están estructuralmente muy deformadas, las rocas de esta formación se mantienen casi o totalmente horizontales. Ambos elementos, composición litológica y estructura, definen las características fisiográficas de esta provincia.

**6-Los Llanos:** Constituyen una provincia con extensas superficies de relieve casi plano en el centro del país, enmarcada por los sistemas montañosos del Caribe, los Andes y el río Orinoco. Esta provincia forma parte de una región mayor que se extiende hacia Colombia y Brasil. Abarca aproximadamente un 25% de la superficie territorial total (237.280 km<sup>2</sup>). Está constituida por sedimentos blandos, depositados en una extensa cuenca suavemente levantada, con poca erosión.

La región contiene los yacimientos petrolíferos en las cuencas sedimentarias de Barinas-Apure y de Venezuela oriental, subdividida esta en las sub cuencas del Golfo de Paria, Guárico y Maturín. Cerca del meridiano 68 °W se levanta un pequeño complejo aislado, el macizo de El Baúl, sostenido por rocas metamórficas e ígneas. Éste divide a la provincia en dos sub-provincias: Barinas-Apure, al Este, y Venezuela oriental, al Oeste.

Los Llanos de Barinas-Apure forman una gran superficie plana cubierta por depósitos aluviales, es decir, de fragmentos redondeados transportados por el agua y coluviales de fragmentos angulares transportados por gravedad.

Los Llanos Orientales de Venezuela presentan mayor diversidad de paisajes con una cubierta sedimentaria que ha sido removida por erosión en gran parte de Guárico y en Anzoátegui suroriental. Las formaciones arcillosas producen una topografía caracterizada por un drenaje más complejo, reticular y dendrítico y en consecuencia, más erosionada que las monótonas mesas del este-sureste de Anzoátegui y Monagas sur-central.

**7- Plataforma continental, islas y llanos costeros:** esta provincia se ubica al norte y noreste del país, ocupa unos 188.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 1.800 km<sup>2</sup> corresponden a las 72 islas de soberanía venezolana. El resto del área corresponde a la Depresión de Unare, las llanuras y planicies costeras, las cuencas sedimentarias de los golfos de Venezuela y Cariaco y la sub cuenca del Golfo de Paria. La isla de Margarita, aunque corresponde fisiográficamente a esta provincia, se incluye en el Sistema Montañoso del Caribe.

Toda la provincia está cubierta por sedimentos marinos y fluviales, salvo parte de las islas del Caribe, constituidas por rocas ígneas y escasas metamórficas. En la Península de Paraguaná afloran rocas metamórficas e ígneas, además de sedimentos locales.

**8-Valles y serranías de Falcón, Lara y Yaracuy:** esta provincia está situada al noroeste del país, entre el Sistema Montañoso del Caribe y Los Andes venezolanos. Está limitada al sur por el borde nororiental de Los Andes, que cae a los típicos llanos interiores de Lara, al norte de los cuales se desarrolla la Sierra de Baragua, que desaparece al este en el valle del río Tocuyo. Más al norte aparece el eje central del sistema que incluye la Serranía de Bella Vista y la de Churuguara, hasta cruzar el río Tocuyo y terminar en el Cerro de La Misión. Más al norte, está la Sierra de San Luis y las planicies costeras de Falcón.

Presenta algunas llanuras encerradas, de origen lacustre-fluvial, que son regiones semiáridas. También están presentes planicies costeras como los Médanos de Coro con dunas activas. En los valles hay espesos depósitos de aluvión, con terrazas y zonas topográficamente bajas, rellenas con el fango arrastrado de las laderas de los Andes.

#### **Para saber más...**

La Geomorfología es la ciencia que estudia los procesos y agentes que originan las diferentes formas del relieve. Hoy más que nunca se ha entendido que la superficie terrestre es resultado de fuerzas externas e internas que la modelan.



## La historia geológica de Venezuela

La historia geológica de Venezuela, al igual que la historia geológica de la Tierra, comenzó hace más de 4.600 millones de años, durante el Eón Arqueano (también llamado Arqueozoico o Arcaico) y el Eón Proterozoico. ¿Se encontrarán rocas de estas edades y orígenes en el subsuelo venezolano?

Observa con detenimiento el mapa de Venezuela de la figura 6.4, ¿sobre qué nos informa este mapa? Examina su leyenda ¿Cuál es el significado de esa gama de colores? Localiza cada color sobre el área representada ¿Qué edad geológica representa? ¿Existen recursos minerales allí?

En el **mapa geológico de Venezuela** se representan las unidades del tiempo geológico a las que corresponden las formaciones de rocas que yacen en la corteza y su litología. Se incluye información desde el Supereón Precámbrico y de las diferentes eras desde el Paleozoico al Cenozoico. Te recomendamos tener a la mano la escala del tiempo geológico que trabajamos en la lectura anterior, para consultar cualquier información que te haga falta. Así podrás identificar la edad geológica de los afloramientos de rocas de diferentes orígenes.

En Venezuela existe una variedad de rocas de diferentes edades, desde el Arcaico, hasta sedimentos no consolidados del Holoceno o Reciente. Desde luego, es mayor la información que se tiene de las eras y períodos más recientes porque sus vestigios y huellas aún permanecen y se les puede hacer mayor seguimiento y correlación.

Las rocas más antiguas de la geocronología venezolana tienen una edad de 3.500 M.a. y pertenecen al Escudo de Guayana. El basamento suramericano que constituyó la corteza terrestre más antigua integra este escudo, el cual fue formado en los primeros procesos orogénicos de la historia geológica y sus rocas han permanecido bastante estables. Por esta razón se le denomina Cratón de Guayana dada su conexión con otros cratones del mundo. Gracias a ello, es posible estudiar rocas muy antiguas en nuestro territorio ya que se mantienen bastante intactas, a pesar de haber sufrido procesos de deformación y metamorfismo a lo largo del vasto tiempo transcurrido desde su formación hasta nuestros días.

### Para saber más...

Existen áreas de nuestro territorio que en algún momento de su historia geológica estuvieron sumergidas, inclusive el sitio donde te encuentras en estos momentos pudo estar bajo las aguas del mar. Los cambios del nivel del mar están relacionados con los cambios climáticos y los períodos de glaciaciones e interglaciales, con los levantamientos o hundimientos de la corteza terrestre y éstos con la tectónica de placas. Las vetas de minerales y las cuencas petrolíferas evolucionaron gracias a estos procesos.

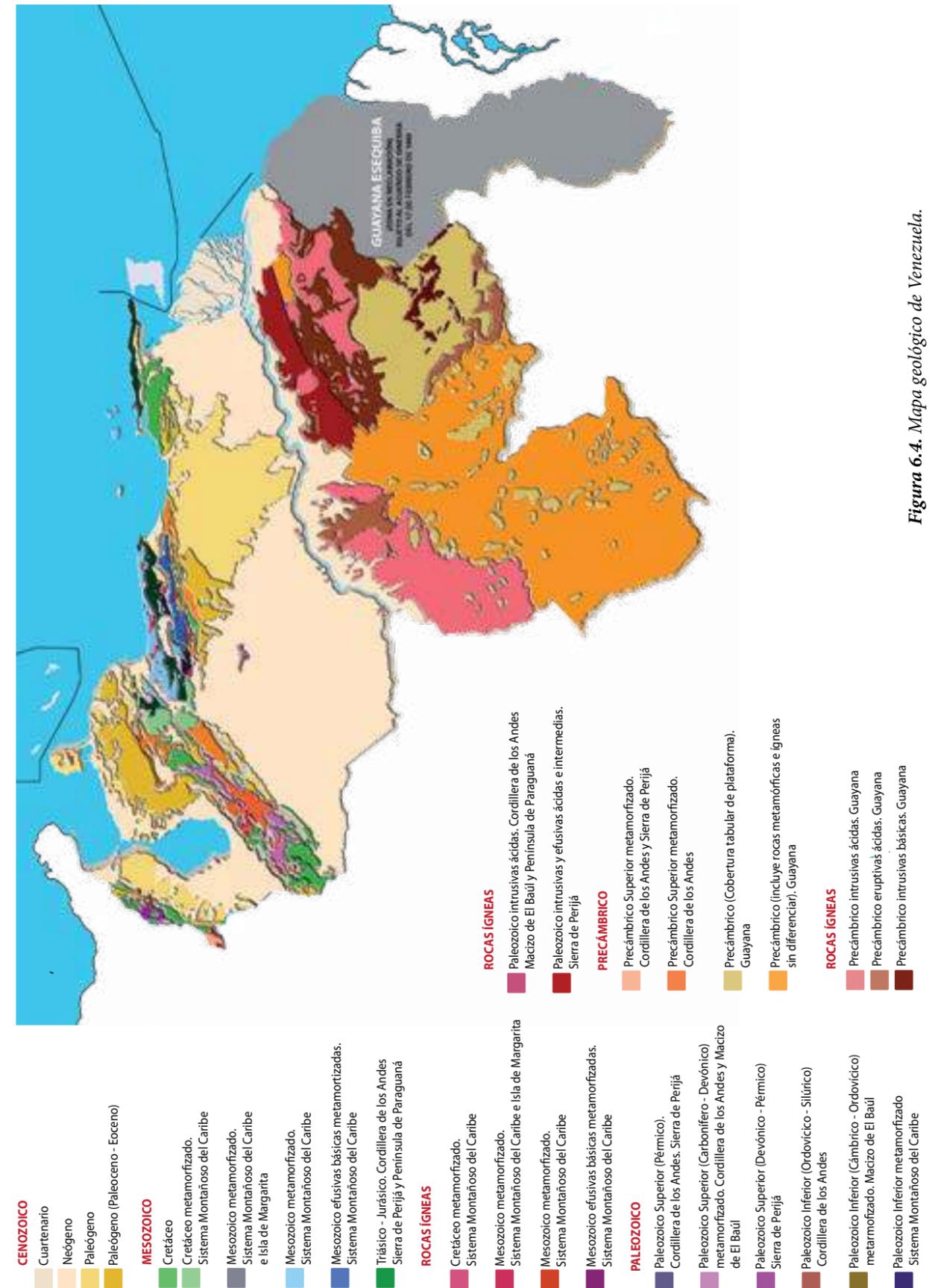


Figura 6.4. Mapa geológico de Venezuela.

## El Precámbrico en Venezuela

Las rocas correspondientes al Precámbrico se encuentran en las cordilleras montañosas y en el Escudo de Guayana. También constituyen el basamento de las cuencas ubicadas en la margen izquierda del río Orinoco, son las cuencas de Apure y parte de Barinas, ambas al sur de la falla de Apure.

Las rocas más antiguas del territorio de Venezuela están localizadas en los estados Bolívar y Amazonas, formando parte del Escudo de Guayana. Estas rocas son de origen ígneo-metamórfico (Arqueozoico y Proterozoico). En la región de Los Andes y la Cordillera de la Costa afloran rocas de este intervalo de tiempo geológico, pero algo más jóvenes que las anteriormente mencionadas (Proterozoico Superior).

Los hallazgos en estas zonas de rocas del precámbrico indican que la actividad geológica se concentraba fundamentalmente en el Escudo de Guayana.



Figura 6.5. El Precámbrico en Venezuela: Escudo de Guayana y basamento de cuencas. Tomado de WEC-Venezuela.

En el Escudo de Guayana se distinguen cuatro provincias geológicas constituidas por rocas de características litológicas distintas. En la tabla 6.2 se resumen brevemente sus características y edades.

Provincia geológica	Características	Edad estimada
<b>Roraima</b>	Constituida por areniscas, conglomerados, lutitas y tobas vítreas, no metamorfizadas. Intrusiones de diabasa en grandes cuerpos tabulares.	<b>Proterozoico</b>
<b>Cuchivero</b>	Formada por lavas y tobas riolíticas levemente metamorfizadas. Intrusiones de extensos plutones de granito y monzonita.	<b>Proterozoico</b>
<b>Pastora</b>	Contiene cinturones de rocas verdes intrusionados por granitos ácidos.	<b>Proterozoico</b>
<b>Imataca</b>	Conformada por gneises, granulitas y formaciones de hierro. Contiene también cinturones de rocas verdes que pudieran ser de Proterozoico.	<b>Arqueozoico</b>

Tabla 6.2. Provincias geológicas del Escudo de Guayana

Otros aspectos de interés para la reconstrucción del Precámbrico en Venezuela, son los siguientes:

- La secuencia del Precámbrico en Venezuela se presume que partió de los depósitos derivados de la protocorteza en ambientes probablemente anóxicos (sin oxígeno), los yacimientos de hierro de la Provincia de Imataca parecen confirmarlo. Las rocas indican que en esta región hubo un ciclo sedimentario y volcánico. Es decir, probablemente hubo volcanes activos.
- Un ciclo metamórfico, de deformación y nueva actividad magmática ocurrió posteriormente, el cual pudo estar asociado a la formación de montañas conocida como orogénesis Trans-Amazónica.
- Así como se ha logrado una discriminación en provincias geológicas en el Escudo de Guayana, esto no ha sido posible en otras áreas del territorio por la poca información disponible.
- Hay unidades del Precámbrico que se encuentran en los alrededores de Mérida y San Cristóbal, las cuales parecen ser materiales alóctonos que se adosaron a Suramérica en el Paleozoico como consecuencia de la actividad tectónica entre las placas.
- También se reconocen terrenos alóctonos del Precámbrico en las inmediaciones de Caracas y Valencia, adosados a terrenos de edad posterior, que pudieron soldarse durante la última colisión litosférica estimada en el Cenozoico. ¡Quién sabe de dónde vendrían!
- Las rocas del actual estado Amazonas, no han sido diferenciadas y su relación con las provincias geológicas de Guayana no han sido bien definidas. Se trata de rocas graníticas y gneises que evidencian magmatismo y metamorfismo más intensos.

## El Paleozoico en Venezuela

Las rocas correspondientes a esta Era afloran en áreas dispersas y su mayor concentración tiene lugar en Venezuela occidental, al oeste de El Baúl, estado Cojedes. En esta zona se presentan las unidades paleozoicas en seis regiones distintas:

- 1) El borde septentrional del Cratón de Guayana.
- 2) El Macizo del Baúl.
- 3) El Flanco Sur-Andino.
- 4) Región Central Andina.
- 5) Subsuelo del Lago de Maracaibo.
- 6) Sierra de Perijá.

Estas rocas paleozoicas se presentan también en el subsuelo de la Cuenca oriental de Venezuela y en los macizos metamórficos de las cordilleras centrales, como El Tinaco y Sebastopol.

Observa el mapa de la figura 6.6 en el que se localizan las unidades del Paleozoico sobre el territorio venezolano y áreas aledañas, en él podrás apreciar que las formaciones de edad Paleozoica ocupan prácticamente el territorio que hoy conocemos con la presencia de cinturones de montañas que además pudieron ser fuente de los sedimentos que se acumulaban en las zonas bajas o cuencas de Maracaibo, Oriental y Barinas-Apure.

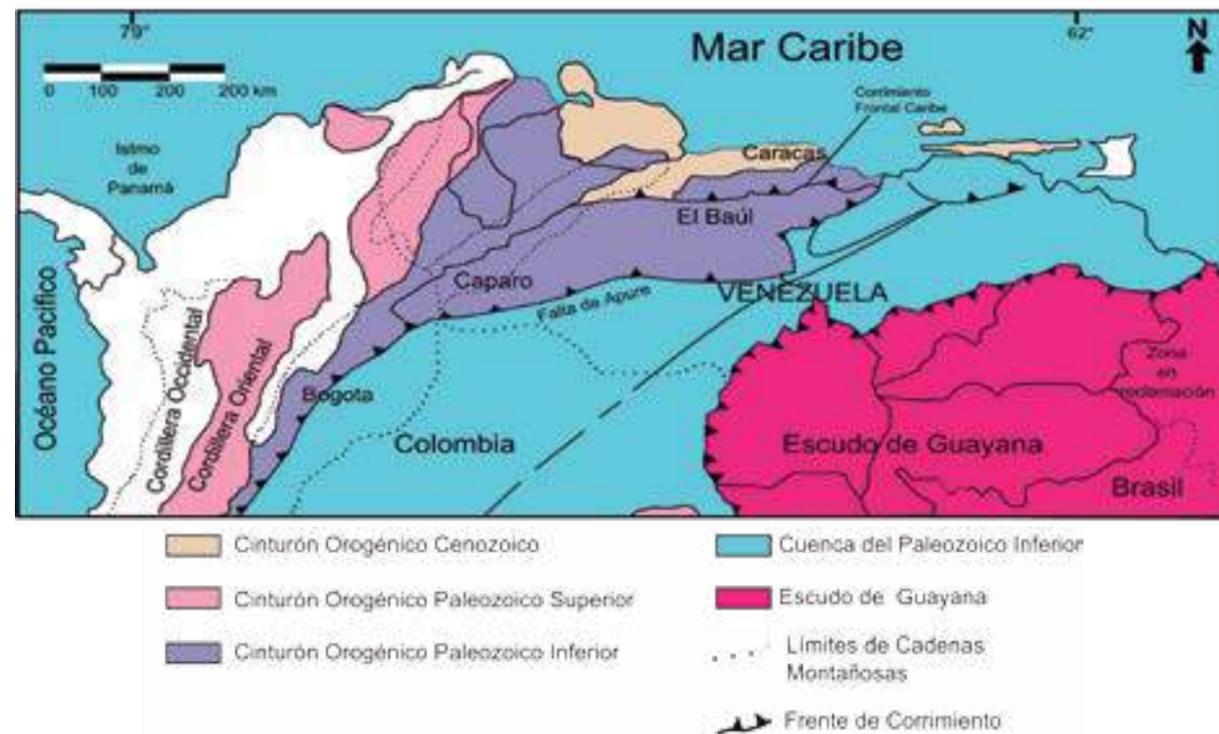


Figura 6.6. El Paleozoico en Venezuela. Tomado de WEC-Venezuela.

## El Mesozoico en Venezuela

En sus comienzos el Mesozoico se caracteriza por la ocurrencia de actividad volcánica y sedimentaria, ambas relacionadas con la separación del supercontinente Pangea (figura 6.7). Los movimientos de expansión que producen la formación del Mar Caribe y la invasión del mar dentro del territorio venezolano, se unen a la subducción de la Placa del Pacífico que colisiona con el margen activo de Los Andes en la Placa Suramericana. Esta interacción entre placas tectónicas genera una serie de fosas, llamadas **grábenes**, que quedan ubicadas entre cinturones de rocas plegadas.

La presencia del Triásico en Venezuela no tiene evidencias concretas. Se infieren rocas correspondientes a este período en las rocas volcánicas de El Baúl y de la Sierra de Perijá. ¿Cómo es posible que un período de decenas de millones de años no deje huellas? Es probable que hayan sido degradadas y erosionadas en los ciclos sedimentarios que rellenaron las fosas o grábenes.

Durante el Jurásico y el Cretácico se produjeron depósitos de Capas Rojas y el relleno de los grábenes o fosas extensionales, que van a llegar a tener importancia económica, en particular, la configuración de las cuencas sedimentarias que luego evolucionarán a petrolíferas.

### Para saber más...

Hace aproximadamente 250 M.a. se produjo la separación del supercontinente Pangea y el mar invadió grandes extensiones del país, quedando el Escudo de Guayana, algunos sectores de Los Andes y de la Cordillera de la Costa como áreas positivas o emergidas. Las rocas generadas en este tiempo son de origen sedimentario producto de la alteración y desgaste de los relieves emergidos.

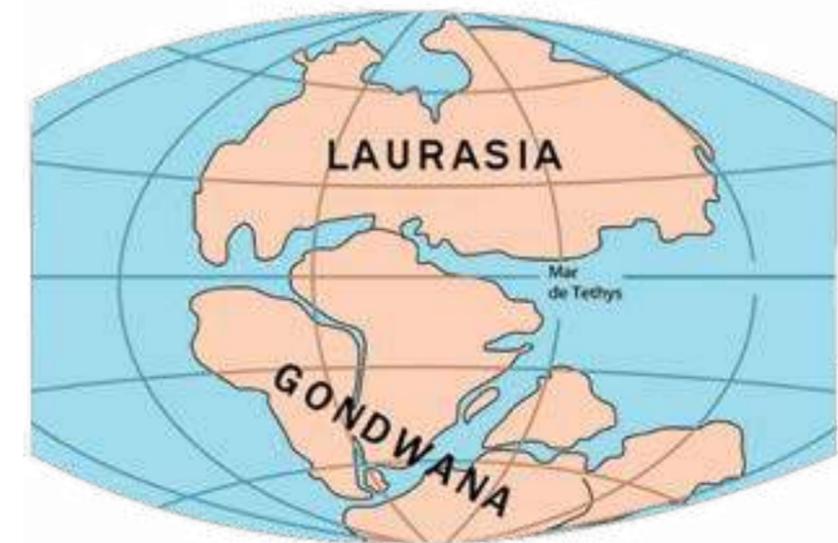
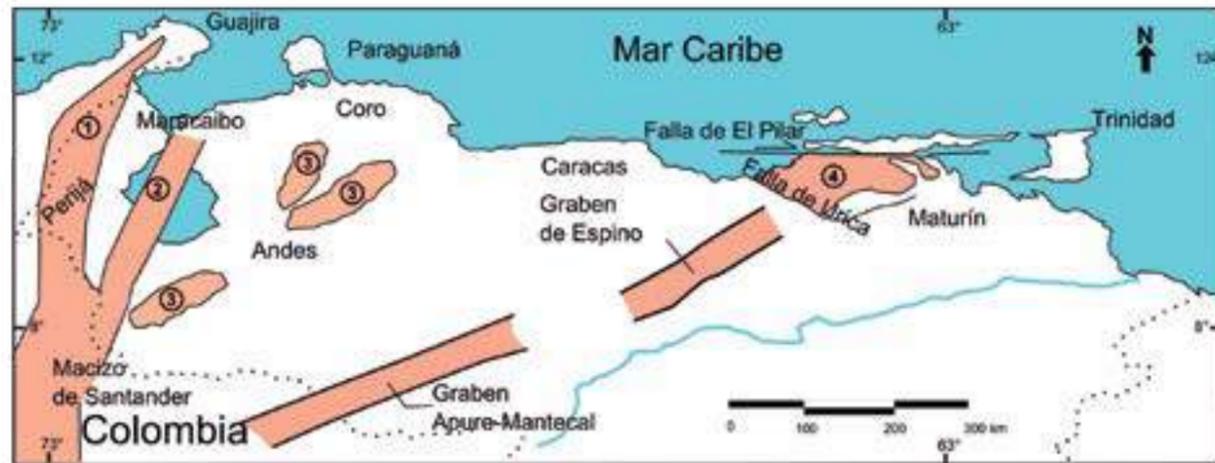


Figura 6.7. Supercontinente Pangea. En esta imagen se observa a los actuales continentes de África y Suramérica, que formaban Gondwana iniciando su separación. Laurasia, integrada por Groenlandia y Norteamérica. El llamado Mar de Tethys ha iniciado su apertura.

El Jurásico en Venezuela se identifica con los grábenes o fosas extensionales, rellenas de capas rojas, material volcánico diverso, y fragmentos calcáreos de calizas y otros clastos propios de invasiones marinas que se correlacionan con secuencias sedimentarias de la Goajira; en Paraguaná; la formación la Quinta en los Andes, y en la Cuenca Oriental de Venezuela.

En la figura 6.8 se indica la localización de los cinturones plegados y las fosas grábenes.



#### AFLORAMIENTO DEL JURÁSICO EN VENEZUELA

1. Sierra de Perijá.
  2. Basamento de la Cuenca de Maracaibo.
  3. Los Andes.
  4. Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa, sector oriental.
- S/N se indican los grábenes de Apure-Mantecal y de Espino.

Figura 6.8. Afloramientos representativos del Jurásico en Venezuela. Tomado de WEC\_Venezuela.

Para el Cretácico (figura 6.9) la invasión marina alcanza su máxima incursión en la Venezuela continental, dejando expuesta sólo el área del Cratón de Guayana que se constituye en la fuente de los sedimentos que se depositan en los ambientes fluviales, costeros y de la plataforma continental. Las series de rocas sedimentarias del Cretácico se localizan primordialmente en la Sierra de Perijá y en la cordillera del Interior Oriental. Algunas unidades sedimentarias se han localizado en Los Andes y Barinas-Apure.

Para el Cretácico tardío se produce una invasión marina, responsable de la sedimentación de calizas y lutitas ricas en materia orgánica, sepultadas en condiciones de anoxia o en ausencia de oxígeno. Este proceso es de enorme significación para la formación de las rocas madre en las cuencas del petróleo venezolano (ver figura 6.10).

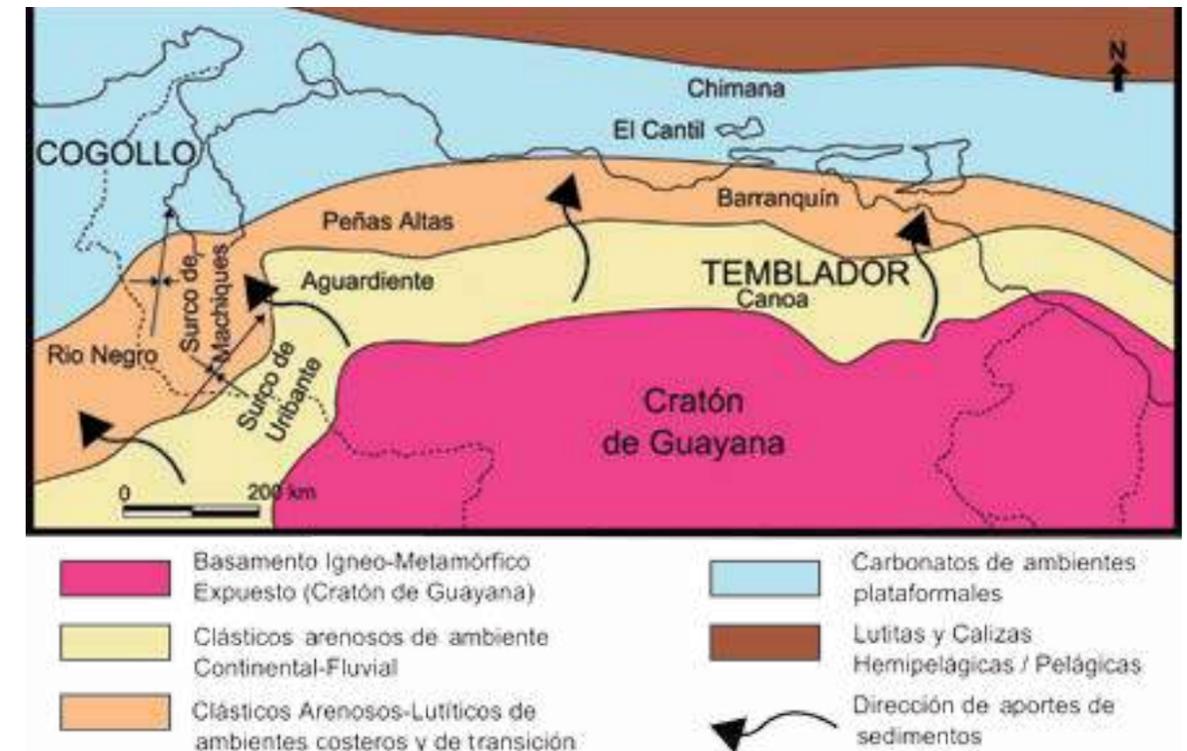


Figura 6.9. Cretácico en Venezuela.

## El Cenozoico en Venezuela

A principios del Cenozoico los mares que habían invadido el territorio se retiran y se rellenan las cuencas de Maracaibo-Falcón, Barinas-Apure y Oriental. Para esta época ocurre el primer levantamiento tectónico de las montañas andinas como resultado de la subducción de la Placa de Nazca que penetra por debajo de la Placa Suramericana, esta colisión venía produciéndose desde el Mesozoico. También continúa la interacción entre la Placa del Caribe y la Suramericana. En este caso se trata de una convergencia tipo oblicua, que produce reajustes continuos y el reacomodo de las fosas características del margen norte de la Placa Suramericana.

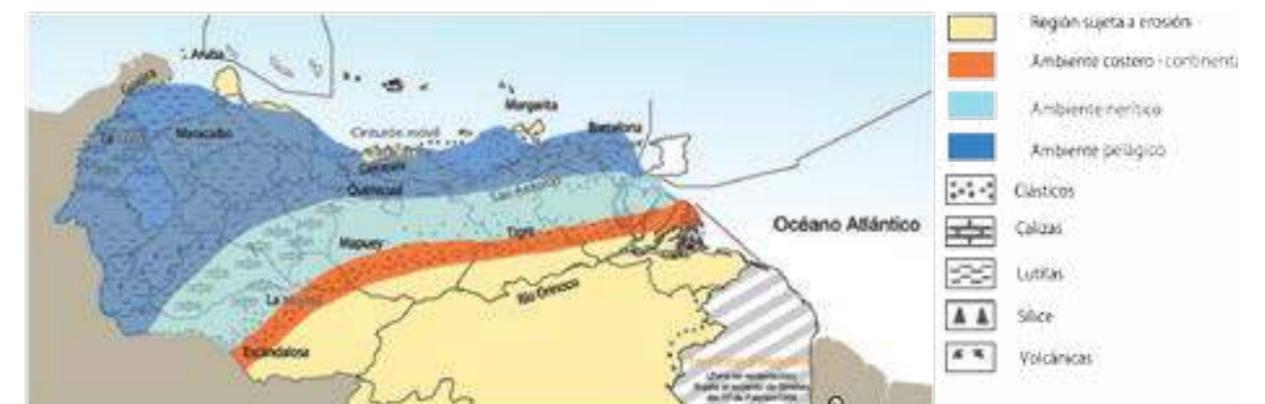


Figura 6.10. Mapa del Cretácico superior. Invasión del mar de finales del Cretácico e inicios del Paleoceno-Eoceno.

Al norte de la cuenca de Maracaibo, se mantiene un ambiente de mares pocos profundos. Luego ocurren invasiones marinas menores y se retiran los mares definitivamente hacia el norte y este de Venezuela. El mapa del territorio venezolano para el Paleógeno corresponde con la figura 6.11.

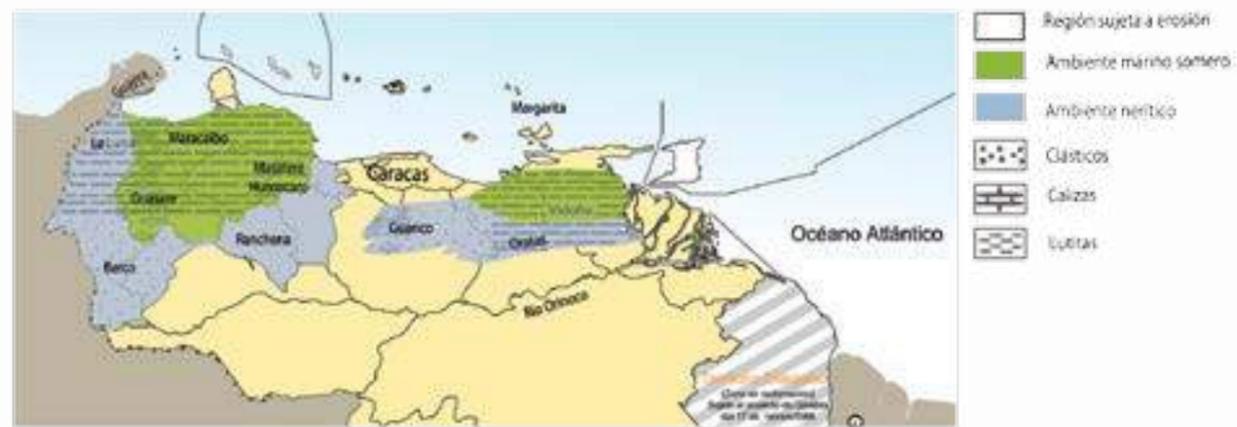


Figura 6.11. Mapa del Paleoceno. Retroceso sucesivo del mar, manteniéndose zonas sumergidas por aguas someras en la cuenca de Maracaibo, Sierra de Perijá y la parte nororiental del país.

El Cenozoico se caracteriza por intensos procesos orogénicos o de formación de montañas. Estos relieves son expresión de las interacciones entre las placas tectónicas. Los procesos sedimentarios continúan en las fosas extensionales en ambientes continentales y marinos. Observa la localización de las zonas de levantamiento y de sedimentación en la figura 6.12.

El avance hacia el este de la Placa del Caribe somete a la cuenca sedimentaria de Falcón a procesos tectónicos intensos, a diferencia de otras cuencas sedimentarias del norte del territorio.



Figura 6.12. Mapa del Mioceno Medio. Nueva invasión marina en la que las zonas de levantamiento orogénico de los Andes y El Baúl se mantienen emergidas.

El levantamiento de Los Andes y otras estructuras tectónicas como la Sierra de Perijá y la Cordillera de la Costa Oriental, encierran definitivamente las cuencas petrolíferas venezolanas, suministran los materiales para las rocas madre, sello y de yacimiento, de lutitas y areniscas con alto potencial para almacenar hidrocarburos líquidos y gaseosos.

A lo largo del Neógeno, sobre el territorio venezolano y en sus futuras cuencas petrolíferas predominan ambientes sedimentarios fluviales, deltaicos y marinos poco profundos, estos dos últimos de carácter turbidítico de gran significación petrolífera, pues la turba es un sedimento orgánico cuya transformación genera hidrocarburos.



Figura 6.13. Mapa del territorio venezolano durante el Plioceno.

El Cuaternario representa los últimos 2,58 millones de años A.P. (antes del presente) y se relaciona con grandes **cambios paleoambientales** debidos a prolongados períodos fríos y secos (llamados glaciaciones) alternados por extensos períodos cálidos y húmedos (denominados interglaciaciones). Las investigaciones sugieren que durante el Cuaternario se produjeron a nivel mundial alrededor de 22 períodos glaciales e interglaciales.

El territorio venezolano no escapó a los efectos de las glaciaciones e interglaciaciones, especialmente los de la última glaciación hace aproximadamente 130.000 años A.P. Durante esta época ocurre la alternancia de varios períodos fríos y cálidos. El último período frío donde los glaciares alcanzaron su máxima extensión a nivel mundial, se conoce como el Último Máximo Glacial (UGM), hace unos 18.000 años A.P., a finales del Pleistoceno. Las evidencias de esta glaciación se encuentran principalmente en los Andes venezolanos en las zonas de alta montaña entre 2600 y 4700 metros sobre el nivel del mar. Este evento glacial se conoce en nuestro país como la **Glaciación Mérida**, denominación propuesta por el Dr. Carlos Schubert, un incansable científico venezolano estudioso de la geología del Cuaternario.

A grandes rasgos las evidencias de esta glaciación se aprecian en formas del relieve como picachos, lagunas y valles glaciales en forma de U, así como terrazas fluvio-glaciales, turberas y principalmente morrenas glaciales; estas últimas indican hasta donde se extendieron los glaciales en los Andes venezolanos. Igualmente, en los valles longitudinales e intramontanos y en los piedemontes de la Cordillera de los Andes, como de la Costa y del Interior, se acumulaba material sedimentario que daría origen a grandes terrazas y abanicos aluviales.

Por otra parte, las tierras bajas de los Llanos, llanuras costeras y de Guayana, estuvieron bajo los efectos indirectos de la glaciación, ya que experimentaban condiciones de mayor aridez, reducción de sus bosques tropicales húmedos por bosques de espinares y grandes campos de dunas (médanos) especialmente en los Llanos de Apure y en la Península de Paraguaná. Mientras que en Guayana, además de la reducción de bosques húmedos tropicales, se acumulaban sedimentos fluviales que daban origen a terrazas y abanicos aluviales. Las zonas costeras se ampliaban como consecuencia de la regresión marina producida por la glaciación.

Durante la transición Pleistoceno-Holoceno, a nivel mundial ocurrieron varios cambios paleoambientales de corta duración por aumento o disminución de las temperaturas y las precipitaciones. Uno de estos cambios de cálido a frío se conoce como Drays Joven que culminó alrededor de 11.750 años A.P. y en nuestro país, este evento frío fue reportado para los Andes centrales venezolanos.

A partir de entonces se entra definitivamente en el Holoceno o última época del Cuaternario. Las condiciones climáticas son similares a las actuales, sin embargo, también ocurren varios cambios paleoambientales con alternancia de periodos húmedos y cálidos por otros secos y fríos de corta duración. Un ejemplo de estos cambios se relaciona con el evento conocido como la Pequeña Edad de Hielo, del cual se encuentran evidencias en los Andes centrales y los Llanos venezolanos.

Durante el Holoceno, alrededor de 6000 años A. P., ocurre la última transgresión marina, donde la costa caribeña venezolana es invadida por el mar, penetrando en valles fluviales cercanos a la costa y separando áreas continentales que hoy en día conforman varias de las islas del norte de Venezuela. Igualmente, en los Llanos continúa el proceso de formación de médanos, se produce la alternancia de bosques secos y húmedos y la formación de algunos suelos alcalino-sódicos que reflejan condiciones ambientales semiáridas o subhúmedas. En los últimos 3000 años A.P., se alcanzan las condiciones ambientales que tenemos hoy, con pequeños cambios en las precipitaciones y la temperatura.

Como seguramente has podido comprender, estudiar al detalle los fenómenos ocurridos en el Cuaternario significa considerar interesantes eventos, en el marco de apenas 2,58 M.a., tiempo en el cual se hizo presente la especie humana.

## Cuencas sedimentarias

En las cuencas sedimentarias se han depositado sedimentos de varios cientos o miles de metros de espesor. Las cuencas están determinadas por el marco global de la Teoría de Tectónica de Placas y evolucionan con la colisión litosférica que comprime y pliega las cordilleras montañosas, con la subsidencia de la corteza y con el adelgazamiento de la litosfera por la divergencia entre placas.

En términos generales las cuencas sedimentarias venezolanas pueden dividirse en:

- Cuenca Maracaibo-Falcón.
- Cuenca Barinas-Apure.
- Cuenca Oriental.
- Cuenca Tuy Cariaco.

La importancia de las cuencas sedimentarias la hallamos en que en ellas se dan las condiciones ideales para la formación de hidrocarburos y la acumulación de otros minerales de importancia económica, pues durante el tiempo geológico se depositaron en dichas cuencas una enorme cantidad de sedimentos que más tarde almacenaron importantes riquezas minerales y significativas reservas de petróleo y gas.

Las sucesivas invasiones y regresiones marinas en la parte norte de Venezuela, mientras el Escudo de Guayana y otros relieves emergidos como los Andes y la Cordillera de la Costa constituían las zonas de donde provenían los sedimentos que se depositaban en capas ricas en restos orgánicos, crearon las condiciones ideales para la formación de hidrocarburos en las cuencas delimitadas por estas estructuras geotectónicas.

Mientras tanto, al norte de la interacción entre la Placa Suramericana y la Placa del Caribe, se formó una vasta cuenca a partir de la generación extensional del Mar Caribe y el fraccionamiento de las superficies insulares, es allí donde se han acumulados importantes volúmenes de gas natural.



Figura 6.14. Cuencas petrolíferas de Venezuela. Tomado de [geologiavenezolana.blogspot.com](http://geologiavenezolana.blogspot.com).

Nuestras cuencas petrolíferas se hallan distribuidas en grandes bloques donde se realizan actividades de extracción de petróleo y de gas natural, que se asocian a las cuencas sedimentarias del territorio venezolano, a saber:

Cuenca petrolífera	Características	Producción		Reservas probadas		Tiempo estimado reservas / producción (años)
		Petróleo en MBD	Petróleo en MMBls	Petróleo en MMBls	Petróleo en MMBls	
		Gas en BPE	Gas en BPE	Gas en BPE	Gas en BPE	
Maracaibo - Falcón	Relacionada geológicamente con la provincia fisiográfica de Maracaibo y la cuenca sedimentaria Falcón-Maracaibo.	1.130 MBD	20.574 MMBls	50		
		184 BPE	5.973 BPE	89		
Barinas-Apure	Se corresponde con la cuenca sedimentaria del mismo nombre, con una extensión de 87.000 Km <sup>2</sup> en los estados Apure, Barinas y Portuguesa.	82 MBD	1.835 MMBls	61		
		10 BPE	77 BPE	53		
Oriental	Comprende zonas petrolíferas de gran importancia ubicadas en Anzoátegui, Monagas, Guárico, Sucre y Delta Amacuro, con una extensión de 153.000 Km <sup>2</sup> .	1.923 MBD	76.893 MMBls	110		
		505 BPE	20.876 BPE	113		
	La Faja Petrolífera del Orinoco forma parte de la Cuenca Oriental, su producción de gas se incluye en las cifras totales de dicha cuenca.	706 MBD	1.360 MMBls	226		
Tuy-Cariaco	Se extiende desde Barlovento en el estado Miranda, hasta el Golfo de Cariaco en Sucre. Posee una extensión de 14.000 Km <sup>2</sup> mayoritariamente cubierta por el Mar Caribe. Sólo la subcuenca de Carúpano está activa en exploración y producción.	---	75 MMBls	---		
		---	2.553 BPE	---		

**Tabla 6.3.** Características de las cuencas petrolíferas de Venezuela. Datos correspondientes al año 2007. Fuente Pdvsa (2007). Siglas: MBD miles de barriles día; MMBls millones de barriles; MMMBls mil millones de barriles; BPE barriles de petróleo equivalentes.

## Tectónica de placas y evolución de cuencas

Hasta hace muy poco, las cuencas sedimentarias fueron explicadas en términos muy sencillos, tomando en cuenta los procesos de erosión y sedimentación. Esta interpretación no podía explicar por qué tenían determinadas características tectónicas, o asociaciones litológicas; muchas de estas interrogantes se despejaron con la teoría de Tectónica de Placas. La mayoría de las cuencas sedimentarias ahora se explican a partir de los procesos geológicos que ocurren en los márgenes de las placas, o en el interior de las mismas.

El análisis de las cuencas es de gran ayuda para la exploración de nuevos yacimientos minerales y petrolíferos. El conocimiento de la evolución de las cuencas constituye herramienta básica para identificar cuencas productivas y sus volúmenes de reservas probables, probadas y certificadas.

Las riquezas minerales de nuestro territorio (formadas a lo largo de esta cadena de acontecimientos geo-históricos) son enormes pero no-renovables. La explotación, el procesamiento y la comercialización de las riquezas minerales y energéticas venezolanas debe hacerse con criterios racionales y nacionales: lo que ha tomado millones de años a la naturaleza, no podemos despilfarrarlo, garantizar su uso y disfrute por las generaciones actuales y futuras es nuestra responsabilidad.



**Figura 6.15.** Marco tectónico del norte de Suramérica. Guayana se separa del escudo Arqueano, parte del continente africano. Durante el Paleozoico se hace esta separación producto del rompimiento de Pangea lo que explica la coincidencia geoestructural y evidencias fósiles correlacionables entre ambos continentes.



## Reconstrucción de la historia geológica de Venezuela

Vamos a trabajar con los principales eventos ocurridos en la historia geológica de determinadas zonas o regiones de nuestro país.

### ¿Cómo lo harán?

Seleccionaremos algunas de las actividades propuestas a continuación. Para ello realizarán búsqueda de información detallada sobre los temas planteados y luego de organizar la información recabada, planificarán y ejecutarán distintas formas de dar a conocer los resultados de su investigación documental. Acompañen su presentación y divulgación de la información con imágenes de las localidades, mapas y, si es posible, muestras representativas de rocas.

1- Reconstrucción de los eventos geológicos de las cuencas sedimentarias de Maracaibo, y la cuenca donde hoy se ubica la faja petrolífera del Orinoco.

2- Estudio de la formación geológica (pueden ser varias) de la comunidad donde habitas.

3- Estudio de formaciones geológicas de Venezuela: incluyan dos formaciones por cada Era. Los datos fundamentales serán los siguientes:

- Nombre de la Formación.
- Edad geológica.
- Tipo de rocas.
- Fósiles.
- Procesos genéticos.
- Ambientes.
- Localización geográfica.
- Importancia económica.

4- Mapas paleogeográficos por cada Era en los que se indique la ubicación de los principales relieves emergidos y las áreas sumergidas del territorio. Incluir los márgenes tectónicos y su actividad para el período.

5.- Paisajes de un remoto pasado: identifique las características de ambientes, flora, fauna, relieve de nuestro territorio en alguna época pasada y elaboren una maqueta o diorama con los paisajes obtenidos.



## Actividades de autoevaluación

1.- Ubica en un mapa de Venezuela las áreas de exploración y explotación petrolera y gasífera y relacionalas con los procesos de formación. A partir del resultado, reflexiona sobre los siguientes temas:

- Probabilidad de la existencia de yacimientos en otros lugares distintos a los de explotación actual.
- Técnicas empleadas para la determinación de reservas probables y probadas en nuestro país.
- Las razones que justifican la exploración costa afuera de yacimientos de gas.

2.- Con lo aprendido en esta lectura, analiza las siguientes afirmaciones y argumenta tu posición al respecto de las ideas que se plantean en ellas:

- La soberanía se ejerce sobre el suelo y el subsuelo, la plataforma continental y el mar territorial.
- Los movimientos sísmicos registrados en los últimos veinte años en nuestro país, se concentran en la franja que se extiende desde los Andes a la sierra de Perijá al sur y occidente, y toda la franja norte costera.
- Los llanos venezolanos no siempre han sido como son en el presente.

3.- ¿Desde cuándo existe el territorio que hoy llamamos Venezuela? ¿En qué momento aparecieron allí seres humanos testigos de su evolución? Escoge tres momentos de la historia geológica de Venezuela y cuenta en palabras sencillas cómo era entonces nuestro territorio y qué estaba pasando en él. Comparte tus "momentos" con el resto de la clase. Entre todos, hagan una línea del tiempo amena y llamativa.





Como resultado de la historia geológica de la Tierra, algunas regiones del mundo poseen importantes recursos minerales, mientras que otras carecen de ellos, lo que explica en parte, el nivel de desarrollo de muchas naciones. Los recursos minerales y energéticos son la base de la civilización moderna. Todos los países utilizan estos recursos en mayor o menor medida y tienen que importar o exportar algunos de ellos, ya que ningún país es autosuficiente. Los recursos minerales y energéticos de la corteza terrestre son la materia prima finita, a partir de la cual se fabrican los productos utilizados por la sociedad.

En tal sentido, los recursos naturales constituyen un tema de debate constante en la escena político-económica actual. Las diversas formas de apropiación, explotación, comercialización y destino final de estos recursos definen relaciones internacionales y pueden ser causa de conflictos. Las materias primas junto al trabajo humano hecho con ingenio y racionalidad pueden garantizar la satisfacción de las necesidades humanas básicas. Por el contrario, una explotación irracional y desmedida puede conducir al deterioro del planeta y poner peligro la existencia de la especie humana. En esta lectura haremos una breve revisión de los recursos energéticos y minerales que tenemos en el país sobre los cuales debemos desarrollar un sentido de pertenencia hacia las riquezas de nuestro subsuelo.

## Los recursos del planeta

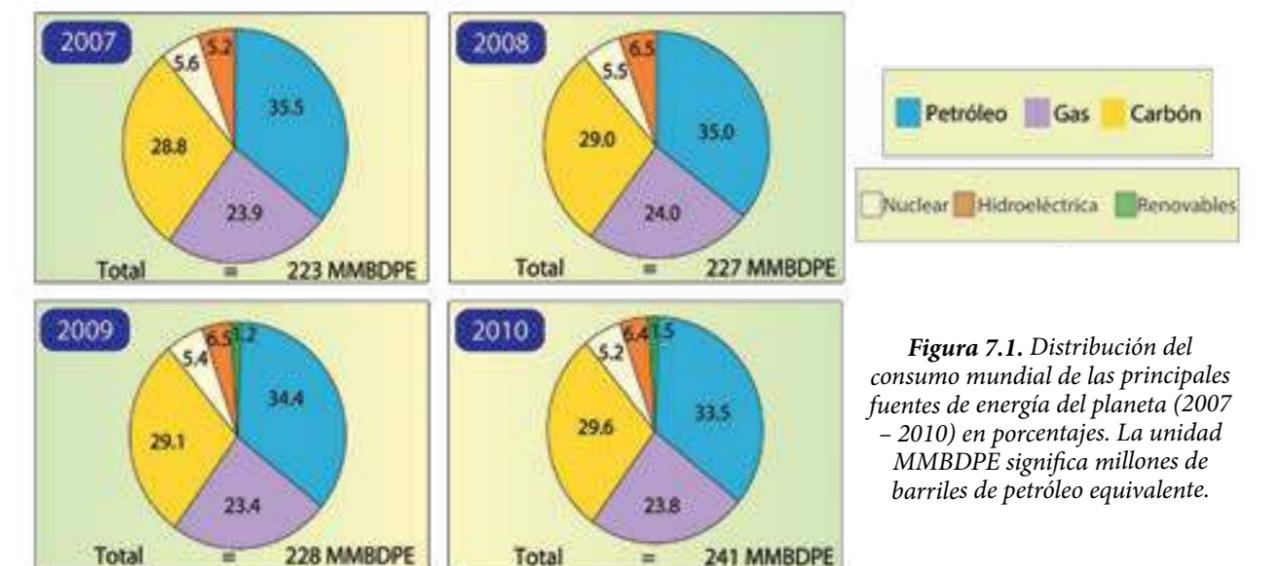
Como ya hemos visto, se entiende por recurso toda aquella materia que puede ser empleada en la satisfacción de las necesidades humanas. Estos recursos suelen dividirse en dos grandes categorías:

- 1. Recursos renovables** que son aquellos que pueden volver a recuperarse en tiempos relativamente cortos, de meses, años o decenios e incluyen a los animales y plantas usados como alimentos, la energía solar y la madera, la energía hidráulica y eólica, entre otras.
- 2. Recursos no renovables** los cuales siguen formándose en la Tierra, pero los procesos que los crean son tan lentos que se tardan millones de años en acumularse como depósitos significativos. Este es el caso de los combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo y muchos metales como por ejemplo: el oro, la plata, el plomo, el hierro y el uranio.

## Recursos energéticos

El gas natural, el carbón y el petróleo son las principales fuentes de energía de la moderna economía industrial a nivel mundial. Su uso cada vez mayor ha puesto en peligro de agotamiento las reservas mundiales, lo que ha obligado a muchos países industrializados, a buscar fuentes de energías alternas. La figura 7.1 muestra el consumo mundial de gas natural, petróleo, carbón y otras energías alternativas desde el 2007 al 2010.

Como se puede observar en esta figura, las fuentes de energía renovable sólo representan un pequeño porcentaje que se ubica entre valores del 1,2 % al 1,5 %. Mientras que los recursos no renovables como el petróleo, el carbón y el gas natural en ese mismo orden de importancia, siguen siendo los recursos naturales más utilizados por los seres humanos y representan más del 86 % de las principales fuentes de energía utilizadas en el planeta; nota que las energías alternativas como la hidroeléctrica y termonuclear o nuclear, sólo representan aproximadamente un 12 % del consumo mundial para los lapsos de tiempo referidos en la figura 7.1.



**Figura 7.1.** Distribución del consumo mundial de las principales fuentes de energía del planeta (2007 - 2010) en porcentajes. La unidad MMBDPE significa millones de barriles de petróleo equivalente.

## Venezuela: recursos energéticos

Venezuela es un país que se ubica en el grupo de países en vías de desarrollo. No obstante, nuestro territorio cuenta con importantes recursos energéticos y minerales producto de la evolución geológica de nuestro territorio. Desde el punto de vista energético, es una fuente primordialmente de energía petrolera, pero también de gas natural y carbón que se acumularon en sus cuencas sedimentarias (ver lectura 5).

¿Recuerdas qué es una cuenca sedimentaria? De manera sencilla, es un área donde se acumulan los sedimentos que provienen de los procesos de meteorización y erosión. Así como se acumulan sedimentos inorgánicos, igualmente se deposita materia orgánica que con el tiempo (millones de años) se transforma en hidrocarburos como el gas, el petróleo, y el carbón. En la figura 7.2, se presentan las principales cuencas sedimentarias que generan la producción de hidrocarburos en el país.



Figura 7.2. Cuencas sedimentarias generadoras de petróleo y otros hidrocarburos en Venezuela.



Figura 7.3. Refinería de Cardón, que forma parte del Complejo Refinador Paraguaná en el estado Falcón.

El petróleo almacenado en esas cuencas constituye para Venezuela la primera y más importante fuente de riqueza. La producción petrolera y la renta que el país obtiene de la explotación del subsuelo constituyen el aporte principal para el presupuesto nacional. Por tal motivo, es tan importante la defensa de los precios del crudo venezolano en los mercados internacionales.

Paralelamente a la producción petrolera del país, también se han venido desarrollando los procesos de refinación del crudo (figura 7.3). La refinación consiste en extraer o destilar derivados diversos a partir del petróleo crudo. En nuestro país se producen gasolinas de varios octanajes, naftas, destilados, combustibles residuales, asfalto, lubricantes y ceras. Las principales refinerías se localizan en Amuay y Cardón (Falcón), en el Palito (Carabobo), El Toreño (Barinas), Puerto La Cruz y San Roque (Anzoátegui) y Bajo Grande (Zulia). Otras refinerías están proyectadas y en construcción en Venezuela. Son la de Cabruta, al sur de estado Guárico; la refinería Batalla de Santa Inés en Barinas; la refinería Zulia en ese mismo estado y la refinería Caripito en Anzoátegui. Nuestro país es propietario de refinerías ubicadas en Estados Unidos, Europa y el Caribe.

Conjuntamente, con estas actividades se ha desarrollado en el país una industria petroquímica (figura 7.4) que genera esencialmente productos químicos provenientes del gas natural y adicionalmente produce agroquímicos, para el desarrollo de la agricultura venezolana.



Figura 7.4. Complejo petroquímico José Antonio. Anzoátegui

Con respecto al gas natural, éste se define como una mezcla de compuestos de hidrógeno y carbono, con y pequeñas cantidades de compuestos no hidrocarburos en fase gaseosa o en solución junto al petróleo crudo que hay en los yacimientos (figura 7.5).

Las mayores reservas de gas en Venezuela se encuentran en la parte norte y noreste del país, en las costas de la plataforma continental caribeña y atlántica, ocupando una extensión de más de 500.000 km<sup>2</sup> (figura 7.6).

En el occidente del país se cuenta con reservas gasíferas que alcanzan los 35 billones de pies cúbicos de gas, y en la zona oriental, las reservas ascienden a 65 billones de pies cúbicos.

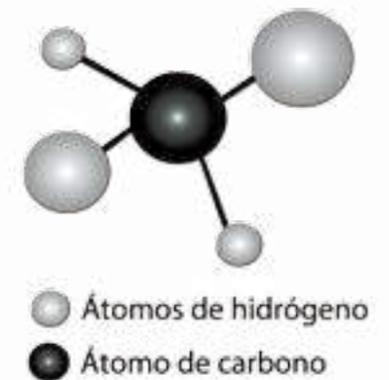


Figura 7.5. Estructura molecular del metano, componente principal del gas natural.



Figura 7.6. Ubicación de las reservas de gas en Venezuela.

A futuro, se incorporarán a la producción de gas los volúmenes extraídos en el proyecto Mariscal Sucre con 1.200 millones de pies cúbicos, la plataforma deltana con 1.000 millones y otros proyectos para explotar yacimientos en el Golfo de Paria, que tienen un potencial de explotación de 26 billones de pies cúbicos de gas natural.

Además, Venezuela tiene alrededor de 1.000 millones de toneladas métricas de reservas probadas de carbón y produce aproximadamente 7,6 millones de toneladas anuales. La mayor parte de este carbón se extrae del estado Zulia y en menor escala en los estados Táchira, Anzoátegui y Falcón.

Los yacimientos de carbón en Venezuela se encuentran en el occidente del país y, en particular, la máxima producción de este mineral se genera en las minas del Guasare, estado Zulia, en las que el carbón es de excelente calidad y es uno de los de mayor poder energético y más limpio en el mercado energético internacional, lo que lo convierte en energía menos contaminante para un mundo cada vez más preocupado por un ambiente libre de contaminación (figuras 7.7 y 7.8).

Las minas de carbón del Guasare tienen un potencial de producción de 8 millones de toneladas métricas (MTM) y en la actualidad se producen 6,8 MTM anuales. Esta cantidad representa el 83,1% de la producción nacional. El resto de los yacimientos de carbón venezolano se presentan en la tabla 7.1.

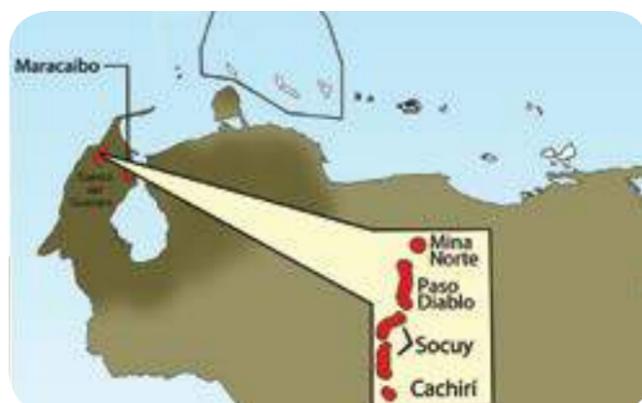


Figura 7.7. Localización en el territorio nacional de las minas del Guasare, estado Zulia.



Figura 7.8. Depósitos de carbón, minas del Guasare.

Localidad	Producción en toneladas métricas anuales (MTM)
Táchira	1.570
Naricual (Anzoátegui)	53
Fila Maestra (Anzoátegui)	5
Taguay	3,4
Falcón	40-50
Siquisique (Lara)	Poco estudiado

Tabla 7.1. Localidades productoras de carbón en Venezuela.

Otro recurso energético del país se relaciona con el aprovechamiento hidroeléctrico de la nación. Venezuela posee su mayor potencial hidroeléctrico al sur del río Orinoco, en los ríos Caroní y Caura, los cuales representan el 75 % del potencial bruto total; mientras que la región de los Andes participa con el 17 % en los ríos Chama, Motatán y Uribante-Caparo, y la zona de la Sierra de Perijá con el 8 %, aproximadamente. El potencial hidroeléctrico del río Caroní (figura 7.9) se estima en 26.000 megavatios, lo que representa un ahorro equivalente a 800.000 barriles de petróleo diarios. Para la generación de energía se aprovechan los embalses de Guri, Macagua 1 y 2, y Caruachi en la misma región.



Figura 7.9. Represa Simón Bolívar (Guri) generadora de electricidad para ser distribuida a buena parte del país.

### Algunos problemas de la explotación de recursos energéticos

Es necesario señalar que los recursos energéticos no son ilimitados, por lo que algún día se van a agotar totalmente, si continúa su uso indiscriminado por parte de los seres humanos. El consumo de estos recursos energéticos, se ha venido incrementando de forma sostenida, debido al crecimiento exponencial que ha experimentado la población a nivel mundial, la cual ha alcanzado una cifra superior a los 7 mil millones de habitantes en la actualidad. Por lo tanto, implica una mayor y más rápida sobreexplotación de esos recursos naturales y en consecuencia su agotamiento irreversible, perjudicando a las generaciones futuras de su uso y disfrute.

Desde otra perspectiva, existe un problema latente relacionado con el calentamiento global que ha alterado los patrones meteorológicos y climáticos a nivel mundial ocasionando lluvias, inundaciones o sequías extremas, producto del uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), junto a la tala y la quema de selvas y bosques tropicales. Todas estas actividades humanas, han generado un incremento relativo del CO<sub>2</sub> atmosférico, que es uno de los gases que regula el equilibrio entre la salida y la entrada de energía, en el sistema atmósfera-superficie terrestre (continentes y océanos).

Con la situación planteada, habría que preguntarse ¿Qué hacer ante este panorama? ¿Acaso necesitamos de otro tipo de energía que no dañe el ambiente y en consecuencia a la economía de los pueblos? ¿Conoces tú algún tipo de energía alterna? Seguramente, en algún momento has escuchado hablar o leído acerca de las **energías limpias o verdes**. Hay varios tipos como, por ejemplo, la energía eólica (figura 7.10), la energía producida por las mareas y la propia energía solar (figura 7.12).



Figura 7.10. Molinos de vientos que generan energía no contaminante.

En Venezuela, se han realizado iniciativas con el uso de paneles solares para generar energía verde en la península de Paraguaná, y en esta misma región se ha comenzado a instalar turbinas eólicas, con el fin de aprovechar el sistema de vientos constantes que se producen en la región para la generación de energía eléctrica limpia.



Figura 7.11. Ejemplo de centrales nucleares.

Por su parte, la energía nuclear que es considerada por muchos como un tipo de energía eficiente y limpia, para otros científicos es un problema debido a la cantidad de desechos radiactivos que se generan luego de que estas plantas nucleares cesan en sus funciones, además del peligro ocasionado por la radiación que pueda provenir de éstas en el caso de que se produzca algún desperfecto, como ocurrió en la planta nuclear de Chernobil el 26 de abril de 1986 y, más recientemente en Japón, Fukushima, el 11 de marzo de 2011.



Figura 7.12. Paneles solares para generar energía eléctrica limpia.

## Yacimientos minerales de Venezuela

El territorio nacional posee una gran variedad de yacimientos metálicos y no metálicos. Dentro de los minerales metálicos encontramos entre otros, por ejemplo la bauxita (mena del aluminio), oro, plomo, cobre, plata, hierro y níquel (figura 7.13).

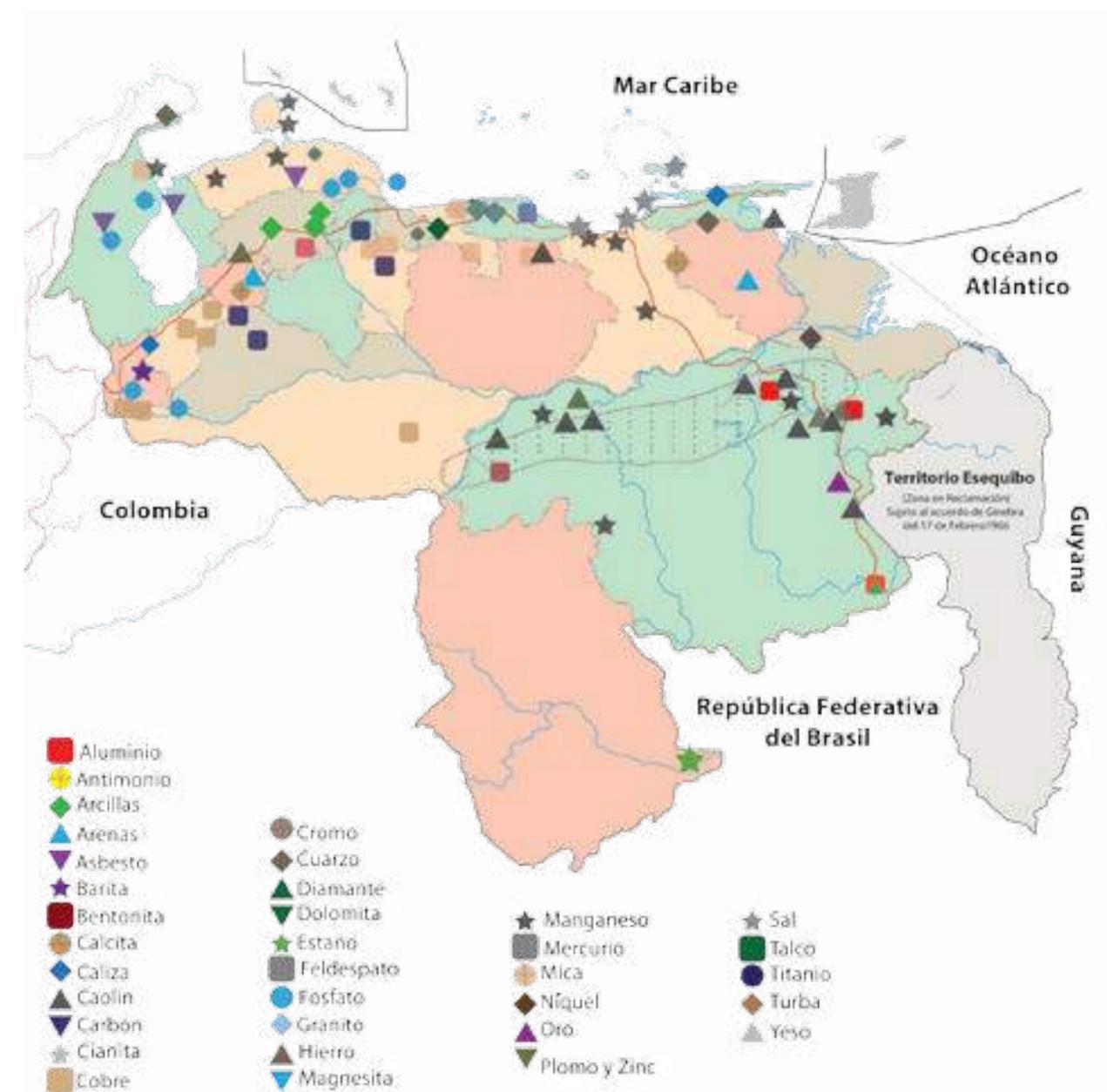


Figura 7.13. Mapa de recursos metálicos de Venezuela.

Mientras que en el caso de los minerales no metálicos se encuentran el magnesio, el caolín, las arcillas, el diamante, fosfatos, arenas, grafito, yeso, sal y otros materiales como las rocas ornamentales (mármoles, areniscas, calizas y granitos) que se utilizan en la construcción (figura 7.13 y 7.14).

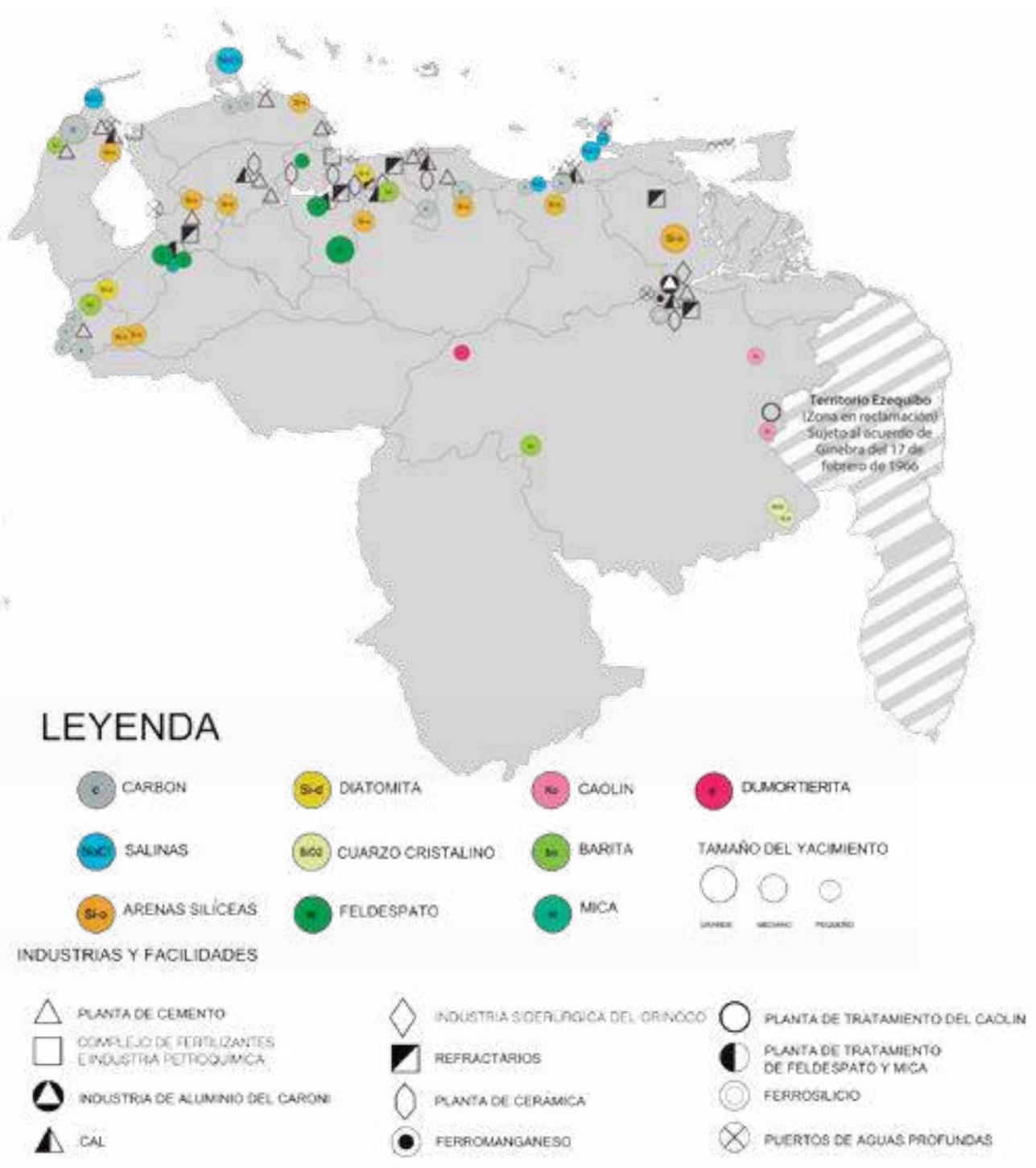


Figura 7.14. Mapa de yacimientos no metálicos de Venezuela.

**NOTA:** no se mencionan otros minerales no metálicos por estar ubicados en el mapa metalogénico; así como no se señalan los yacimientos de calizas, arcillas, arenas y gravas para agregados y rocas ornamentales, por su gran abundancia en el país.

La mayor parte de esta riqueza mineral se encuentra localizada en la región del escudo de Guayana, debido al origen y formación geológica de su relieve. La antigüedad del macizo Guayanés y el largo proceso de meteorización causado por las lluvias, los vientos y los ríos que abundan la región, han puesto al descubierto los depósitos minerales del subsuelo, facilitando en muchos casos su exploración y explotación minera. Esto ha ocurrido, por ejemplo, con el oro y el diamante que se han podido localizar de manera superficial en algunas de las cuencas fluviales del río Orinoco, lo mismo ha ocurrido para el caso de los yacimientos de hierro.



Figura 7.15. Mina de hierro a cielo abierto en El Pao, estado Bolívar.

Después del petróleo y el carbón, los minerales que tienen mayor relevancia con fines de explotación en el subsuelo venezolano son: el hierro, la bauxita, el oro y el diamante. De estos el más importante desde el punto de vista económico para Venezuela es el hierro (figura 7.15), tanto por la cantidad en que se encuentra (aproximadamente 2000 MTM), como por la utilidad que tiene en la economía local y mundial, ya que constituye una materia prima para la producción de acero y en la industria de la construcción. Los principales yacimientos de este mineral se localizan en el estado Bolívar, principalmente al sur del río Orinoco (Complejo Imataca) que incluye el Cerro Bolívar, El Trueno, Las Grullas, El Merey, Piacoa, Altamira, San Isidro y El Pao.



Figura 7.16. Mina de bauxita a cielo abierto en el estado Bolívar.

La bauxita es otro mineral de importancia económica para el país, porque a partir de ella se obtiene el aluminio. Los principales yacimientos de bauxita se encuentran localizados también en el estado Bolívar, específicamente cerca del río Caroní y Chigua, en la serranía Los Guaiacas, en Kamoirán en la Gran Sabana y en los Pijiguaos (figura 7.16).

Con relación al oro, la mayoría de los yacimientos de este mineral se localizan en la región de El Callao y en otras zonas del estado Bolívar que incluyen El Manteco, Botanamo, Vuelvan Caras, Las Cristinas, El Dorado y El Foro (figura 7.17). Las reservas de este mineral han sido calculadas en aproximadamente 8.000 MTM.



Figura 7.17. Mina de oro a cielo abierto en El Dorado, estado Bolívar.

Así mismo, los principales yacimientos de diamante están ubicados en El río Caroní y sus afluentes en el estado Bolívar y el Grupo Roraima de ese mismo estado. Este mineral al igual que el oro, es explotado por pequeños mineros cuyas prácticas pueden causar daños ambientales (figura 7.18).



**Figura 7.18.** Mina a cielo abierto de oro y diamantes en el sector de El Polaco, estado Bolívar.

Existe otro mineral presente en la región de Guayana ¿Alguna vez has escuchado hablar del coltan? Es la combinación de dos minerales, la columbita, óxido de niobio con hierro y manganeso (Fe, Mn),  $Nb_2O_6$  y la tantalita, óxido de tántalo con hierro y manganeso (Fe, Mn),  $Ta_2$ . El coltan es usado fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías como la telefonía móvil, fabricación de computadoras, videojuegos, armas inteligentes, implantes médicos, industria aeroespacial, levitación magnética y otras. Este mineral tiene singulares propiedades, tales como superconductividad, carácter ultra-refractario (minerales capaces de soportar temperaturas muy elevadas), ser un capacitor (almacena carga eléctrica temporal y la libera cuando se necesita), alta resistencia a la corrosión y a la alteración en general, que incluso lo hacen idóneo como material privilegiado para su uso extraterrestre en estaciones espaciales y en plataformas y bases espaciales.

Hasta ahora hemos destacado la región de Guayana en Venezuela, que es donde se encuentran desde el punto de vista económico algunos de los principales yacimientos metálicos y no metálicos del país. Sin embargo, en el territorio nacional se encuentran otros yacimientos de relativa importancia. Entre ellos podemos señalar las minas de yeso, mica, cobre y azufre que se localizan en la cordillera de Los Andes. Igualmente, se destaca la presencia de yeso, fósforo y calizas ornamentales, en la cordillera de la costa. En la cordillera del Interior se ha reportado la presencia de óxidos, sulfuros y metales como el níquel, plomo, cobre y zinc; y en la región de los Llanos la presencia de hidrocarburos como se discutió anteriormente.

Como conclusión final, podemos señalar que Venezuela es un país privilegiado en cuanto a la presencia de importantes recursos renovables y no renovables, recursos madereros (bosques y selvas tropicales), cuantiosas reservas de petróleo y gas y abundantes recursos hídricos, al igual que los recursos mineros que se están explotando en la actualidad y otros que todavía se desconocen por su difícil acceso.

No obstante, la presencia de ingentes recursos exige un fuerte sentido nacionalista para su explotación, aprovechamiento y protección. Eso es lo que significa “sembrar el petróleo” es tener al petróleo como fuerza de nuestra economía y motor de nuestro desarrollo nacional. Nuestra industria petrolera es palanca fundamental de la transformación integral de nuestra sociedad mientras se explota, refina y comercializa los recursos petroleros y gasíferos de la Nación de manera consciente y sustentable, para que puedan ser aprovechados por las actuales y futuras generaciones.

Pero nuestro desarrollo no tiene mucho sentido si nuestros pueblos hermanos de América Latina y el Caribe ven comprometido el suyo por carecer de los recursos energéticos para lograrlo. De allí que los convenios celebrados entre nuestro país y otros del Caribe, Centroamérica y Suramérica se crearon para contribuir a la integración energética de los países de la región y garantizar la reducción de las diferencias intrarregionales usando el petróleo con criterios soberanos. Este aspecto de los recursos es de suma importancia para nuestra República porque sus principios fundamentales trazados en nuestra constitución son la independencia, la justicia social, la igualdad y la paz internacional. Sembrar el petróleo también significa la máxima valoración de los recursos para lograr el equilibrio energético mundial y su empleo en causas estratégicas como la solidaridad, el combate contra la pobreza y contra la exclusión social. Te invitamos a conocer más acerca de estas iniciativas que diferencian a nuestro país de otras naciones productoras de hidrocarburos.



### Vamos a realizar un inventario de los recursos naturales de su localidad

#### ¿Qué necesitan?

Información relativa a los yacimientos existentes en su comunidad. Pueden ser recursos metálicos, no metálicos y/o energéticos. Usen los datos que aparecen en los mapas de recursos de esta lectura y la tabla de recursos minerales de Venezuela que se encuentra en las páginas 184 y 185.

Busca información acerca de la localización, la cantidad existente, los usos potenciales, los procesos de extracción y procesamiento, la producción, la fuerza de trabajo directa e indirecta, el destino de la producción y de sus excedentes, entre otras variables de interés.

#### ¿Cómo lo harán?

- Recabarán la información y la organizarán en mapas, gráficos, cuadros y tablas.
- Analizarán la información y la relacionarán con la economía del país y su aporte a la economía local y regional. Estudien el impacto ambiental que pudieran ocasionar las actividades de explotación. Propongan medidas y acciones que pudieran tomarse para mitigar el eventual impacto.
- Relacionen los recursos del inventario con episodios de la historia geológica de Venezuela y valoren la importancia del uso racional de estas riquezas originadas en un tiempo muy remoto y cuyas reservas son finitas y no renovables.
- Divulguen sus resultados en actividades donde participe la comunidad.

## Minerales más comunes de Venezuela

Nombre	Fórmula química	Sistema cristalino	Dureza	Grupo
Aluminio	Al	Diversos	Muy ligero, tenaz, dúctil y maleable (1-3)	Óxidos
Arcillas	$Al_2O_3 + 2SiO_2 + H_2O$	Diversos	0.5-1	Silicatos
Caolín	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Monoclínico. Cristal triclinico en láminas muy delgadas	1	Minerales de arcilla. Sedimentario y metamórfico
Carbón	C	Materia sólida, ligera y negra muy combustible	1 - 1.8	Combustible fósil sedimentario
Cobre	Cu	El cobre no forma cristales casi nunca, si los presenta son cubos, octaedros o dodecaedros	2.5 - 3.0	Elementos nativos metálicos, ígneo
Coltan	$[(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6]$	_____	_____	Óxido de niobio y óxido de tántalo
Cuarcita	_____	Cristales de cuarzo íntimamente soldados, a menudo entrelazados	_____	Cuarzos, metamórfico
Cuarzo	$SiO_2$	Cristaliza en sistema hexagonal	7	Silicatos
Diamante	C	Gema cristalina. Cristaliza en el sistema cúbico	10	Elementos nativos. Gemas. Metamórficas e ígneas. Mineral de carbono
Fosfato	$PO_3$	Hexagonal	5	Fosfatos
Grafito	C	Hexagonal. Cristales hexagonales, masas prismáticas	1 ½ - 2	Carbonatos
Hierro	Fe	En cristales del sistema cúbico Hexagonal	5.5 - 6.5	Óxidos, metamórficos
Níquel	Ni	Cristalino; cúbica	3.5	Metales de transición
Oro	Au	Cúbico isométrico	2.5 - 3	Elementos nativos
Plata	Ag	Cúbico isométrica	2.5 - 2.7	Elemento nativo. Ígnea y metamórfica
Plomo	Pb	Cúbico	2	Elemento nativo. Metamórfico
Sal	NaCl	Cúbico	2.5	Mineral no metálico
Yeso	$CaSO_4 + 2H_2O$	Monoclínico	2	Sulfatos. Sedimentario
Zinc	Zn	Hexagonal	3.5 - 4	Metales, ígneo y metamórfico

Ubicación geográfica	Yacimiento
Área de Upata, Área de Nuria, Región de los Guaicas, Región sur de la Gran Sabana, etc.	Granitos
Estados: Lara, Mérida, Guárico, Anzoátegui, Yaracuy, Aragua y Miranda	Formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito
Estado Bolívar nororiental, Región Upata	Se forma al meteorizarse los Feldespatos, las Micas y otros alumosilicatos
Estados: Zulia, Aragua, Táchira y Falcón	Resulta de la destilación o de la combustión incompleta de los tejidos vegetales o de otros cuerpos orgánicos
Cordillera de la Costa, la sierra de Perijá y del sistema andino.	Ígneo, En zonas de oxidación de los yacimientos de cobre en asociación con la Calcocita ( $Cu_2S$ ), la Cuprita ( $Cu_2O$ ), la Bornita ( $Cu_5FeS_4$ ), la Limonita $[(FeO)(OH)]$ , la Malaquita $[Cu_2(CO_3)_2(OH)_2]$ y la Calcita ( $CaCO_3$ )
Estado Bolívar	Asociado con granitos alcalinos, pegmatitas.
Sistema Roraima Sur	Formadas exclusivamente por cuarzo, por altas presiones o temperaturas. Derivan del metamorfismo sobre areniscas y en algunas ocasiones tiene un origen metasomático
Estados: Carabobo y Anzoátegui, en Cojedes Cuarzo aluvional, y en Bolívar depósitos de cuarzo masivo	Cristaliza directamente del magma, está presente en rocas plutónicas (granitos, granodioritas, tonalitas)
Formación Roraima	Se ha formado a grandes profundidades (altas presiones y temperaturas) y aparece en la superficie, asociado a procesos plutónicos, en rocas máficas (pobres en sílice) llamadas kimberlitas
Estados: Falcón, Zulia y Táchira, y algunas manifestaciones en Lara, Mérida y Trujillo	Proviene de depósitos orgánicos formados por restos de seres vivos
Península de Paraguaná en el estado Falcón	Depósitos carbonosos sedimentarios transformados por el metamorfismo
Estados: Lara, Miranda, Apure, Bolívar y Delta Amacuro	Bandas de hierro sedimentario y en bandas metamórficas del complejo de Imataca
Cordillera de la Costa, serranía del Interior	Se encuentra en la naturaleza formando silicatos, óxidos, sulfuros, sulfatos. En peridotitas, serpentinas
Escudo de Guayana	En rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias. En vetas de Oro, generalmente acompañado de cuarzo; Oro de aluvión
En Venezuela, se presenta en los depósitos de sulfuros de metales base, de la cordillera de la Costa y el Sistema Andino	Se encuentra en los filones hidrotermales con los sulfuros y en las zonas de oxidación
Estados: Lara, Sucre, Zulia y parte de Mérida	Hidrotermal de temperaturas medias y bajas, se encuentra en vetas, cuerpos metasomáticos.
Estados: Sucre, Nueva Esparta, Zulia, Falcón y Anzoátegui	Se forman en cuencas cerradas, en climas muy áridos, de mucha evaporación. Por combinación de cloruro y sodio
Estados: Táchira, Yaracuy, Guárico y Sucre	Origen Sedimentario, por deshidratación de cuencas saladas; por hidratación de la anhidrita; por acción fumarólica de aguas sulfurosas sobre calizas o tobas volcánicas
Estados: Lara, Sucre, Zulia y parte de Mérida	Procede de minerales como: Blenda ( $ZnS$ ), Wurtzita ( $ZnS$ ), Smithsonita ( $ZnCO_3$ )

## CAMBIOS GLOBALES ¿FENÓMENOS NATURALES O INDUCIDOS?



En diciembre de 1999, un evento excepcional produjo precipitaciones de carácter extraordinario, que afectaron las costas de los estados Vargas y Miranda. Las intensas y prolongadas lluvias provocaron la saturación de los suelos y la activación de las cuencas hidrográficas de la vertiente norte de la cordillera de la Costa que, a su vez, vieron incrementados sus procesos permanentes de transporte de materiales; causando avalanchas y desplome de grandes bloques de rocas, sedimentos, restos vegetales y suelos procedentes de los bordes de canales naturales y de las cuestas de las montañas. Los enormes volúmenes de sólidos fueron arrastrados aguas abajo y se acumularon en las playas, dejando a su paso una destrucción sin precedentes. Los venezolanos y las venezolanas recordamos este evento como la "Tragedia de Vargas".

Este evento tuvo su causa inicial en la situación meteorológica reinante en los días previos. Las lluvias extraordinarias, junto con las características hidrológicas, tectónicas y geomorfológicas del área, se vieron potenciadas por la intervención humana descontrolada en la zona. Este evento, constituye un excelente ejemplo –como muchos otros fenómenos terrestres multicausales– del comportamiento sistémico e interdependiente del planeta. Lamentablemente, en esta ocasión se perdieron vidas, se generaron daños materiales incalculables y huellas psicológicas profundas. En años posteriores, se han presentado lluvias atípicas muy intensas, como en 2006, 2010 y 2011, ocasionando muchas secuelas. Cabe preguntarnos, ¿qué enseñanza podemos extraer de la ocurrencia de eventos como la tragedia de Vargas y otros similares?

El planeta sigue dando señales de su actividad permanente. En esta lectura encontrarás información para comprender cómo están ocurriendo algunos cambios y de qué manera las actividades humanas se encuentran relacionadas con la ocurrencia de estos eventos.

## El cambio es lo habitual

Como hemos visto a lo largo de este libro, nuestro planeta ha manifestado cambios desde su origen hace unos 4.600 M.a, comenzando por su enfriamiento como planetesimal caliente, mientras se encontraba en su primera etapa de formación. Unos de los primeros cambios a lo largo de las eras geológicas de los cuales tenemos conocimiento, fueron la generación de la atmósfera primordial y de la hidrosfera primigenia, cuando la gravedad terrestre fue suficiente para evitar que escaparan las moléculas gaseosas.

Dichos cambios se han producido lentamente o en forma catastrófica a lo largo de millones de años. Así se originó la atmósfera precursora, a partir de los gases que constituían la materia protoplanetaria y de las emanaciones de las erupciones volcánicas. Esta atmósfera incipiente, era una mezcla de gases ( $H_2$ , He,  $CO_2$ ,  $N_2$  y trazas de gases nobles) muy densa y cuya composición era controlada por procesos físicos y químicos porque, en ausencia del oxígeno y el ozono, las radiaciones actuaban libremente en toda la atmósfera favoreciendo las reacciones fotoquímicas.



Planeta muy caliente, sin atmósfera

Planeta sometido a impacto de asteroides

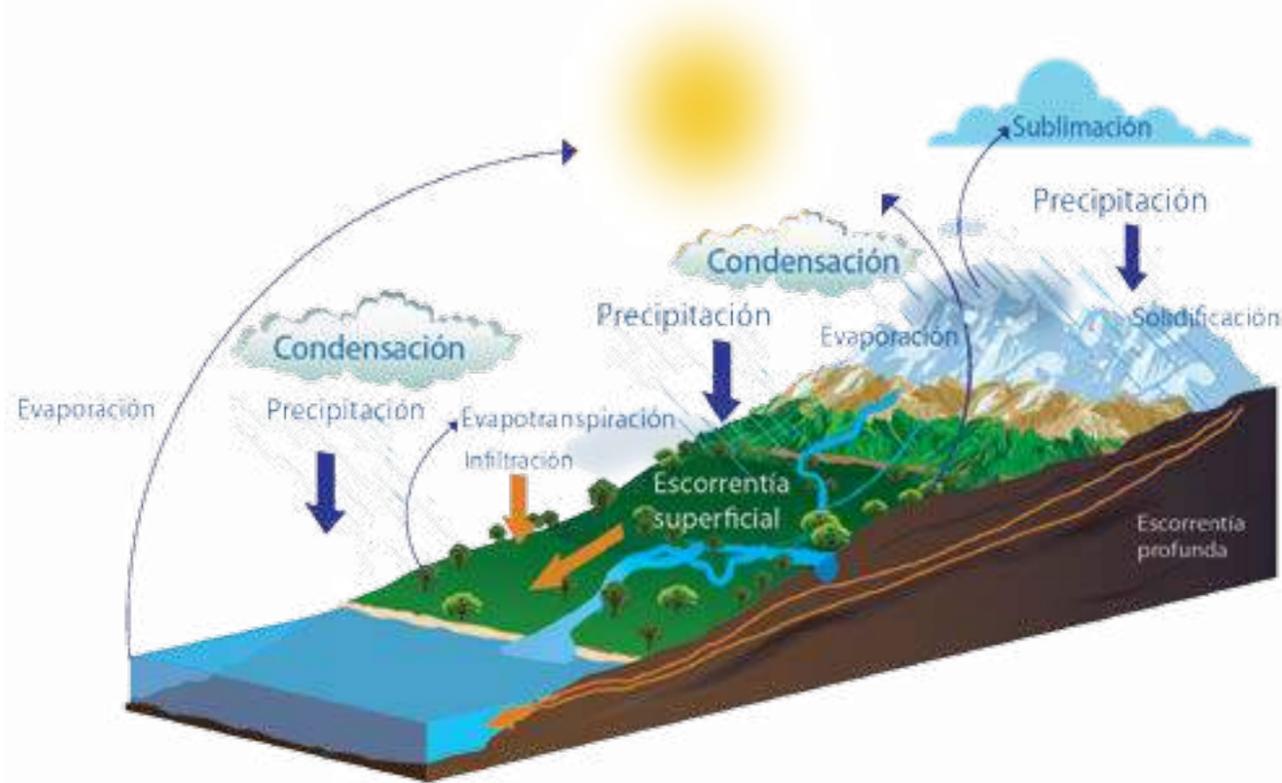
Planeta de superficie fría con atmósfera e hidrosfera

*Figura 8.1. De un planetesimal muy caliente con una atmósfera incipiente y reductora, a un planeta azul con la atmósfera oxidante del presente.*

Muchos de los gases iniciales (en particular los gases nobles y el  $H_2$ ) se cree que lograron escapar a causa de los sucesivos cataclismos y descargas eléctricas que les aportaron la suficiente energía para hacerlo. Así fue evolucionando la atmósfera inicial y ocurrieron otros cambios significativos como la condensación del agua para formar la hidrosfera y los océanos primitivos. Otro fenómeno que se estima que ocurrió en los primeros estadios de formación del planeta, fue el descenso de los niveles de  $CO_2$  atmosférico que ha estado presente en todos los períodos de su historia. En algunos períodos con niveles muy superiores a los que conocemos hoy.

Las variaciones en la composición química de la atmósfera se fueron sucediendo unas a otras, desde una **atmósfera reductora** en la que el oxígeno estaba ausente, a una **atmósfera oxidante** como la conocemos hoy. Esos cambios se atribuyen a los aportes de  $O_2$  de la actividad fotosintética de las primeras formas de vida y, como consecuencia de esta, se produjo la producción fotoquímica del ozono, lo que a su vez redujo la influencia de las radiaciones, especialmente las UV, en la composición de la atmósfera. Así la actividad biológica comenzó a dirigir los destinos del planeta desde entonces.

Los cambios atmosféricos y la actuación de la floreciente actividad biológica, facilitaron el establecimiento pleno del ciclo hidrológico: otro cambio fundamental para el planeta que conocemos hoy. El ciclo del agua que se mantiene desde entonces, proporcionó otras condiciones que favorecieron, como lo refiere la figura 8.2, la creación de ambientes cada vez más favorables para la vida, vegetal como animal, y la colonización de los continentes.



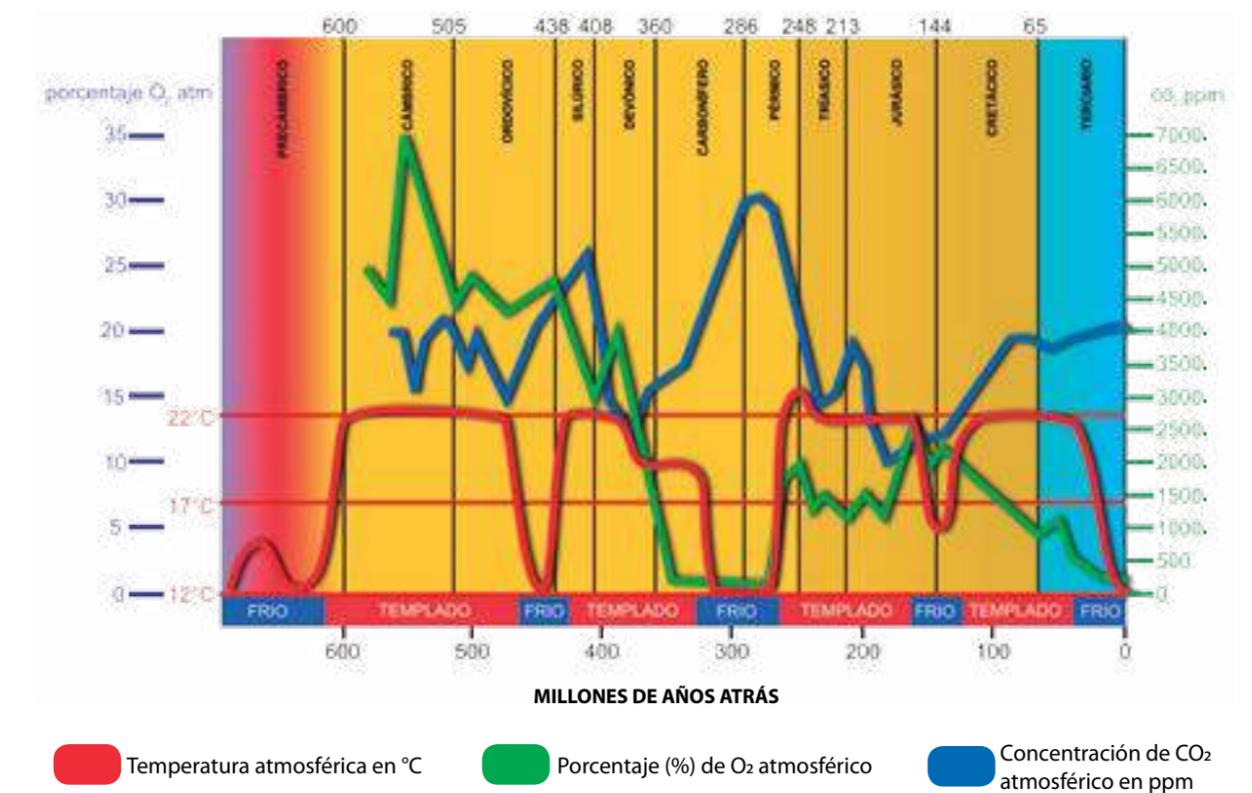
**Figura 8.2.** Ciclo hidrológico del planeta Tierra que marcó el inicio del desarrollo de la vida vegetal y animal y el poblamiento progresivo de las zonas emergidas, al aparecer los primeros pantanos y mares interiores someros.

La dinámica atmosférica no está aislada de la dinámica de la hidrosfera y sus interacciones tienen influencias en la vida. Con la aparición de la vida, se inician nuevos cambios en los que ella era protagonista: nuevas especies surgieron, se desarrollaron y, más tarde, algunas desaparecieron para dar paso a otras más evolucionadas, en una sucesión de cambios biológicos y adaptaciones de todo tipo.

Sin embargo, parte de los cambios supusieron también extinciones biológicas masivas a lo largo de la historia de la Tierra. Ellas parecen coincidir con cambios catastróficos atribuidos a posibles choques de asteroides, erupciones volcánicas violentas, eventos climáticos abruptos, o incluso producidos por posibles inversiones de la polaridad del campo magnético de la Tierra. Estas explicaciones aún generan muchas controversias en la comunidad científica.

Con la aparición y desarrollo vigoroso de la vida, ésta comenzó a controlar los cambios atmosféricos, hidrológicos y geológicos. La vida siguió cambiando en el tiempo geológico y, muy recientemente, quien lidera las transformaciones en el planeta es la especie más modificadora de todas: la especie humana. Urbanismos sin control, explotación intensiva de recursos, industrialización, contaminación, tala de bosques, quema de combustibles fósiles, entre otras muchas son las más evidentes de estas transformaciones. ¿Qué consecuencias traerá todo esto?

Si el cambio es lo habitual y hasta aquí hemos visto cómo se ha producido, de forma progresiva y natural, sin la intervención directa de la especie humana, ¿por qué nos sorprendemos de los cambios que estamos presenciando a nuestro alrededor? ¿De qué nos preocupamos?



**Figura 8.3.** Variación de la concentración del  $CO_2$ , % de  $O_2$  y fluctuación de temperatura en la historia atmosférica del planeta.

En la figura 8.3 se observan las curvas de % de O<sub>2</sub>, la concentración de CO<sub>2</sub> y la variación de temperatura desde el Precámbrico hasta el Terciario ¿Puedes notar cómo se separan y juntan ambas curvas? ¿Puedes explicar la incidencia de estos dos gases en la aparición de períodos fríos y templados de la historia geológica? Con el análisis de esta gráfica no quedan dudas de que las temperaturas terrestres han variado a lo largo del tiempo geológico. Las fluctuaciones de las concentraciones de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> han sido importantes en los últimos 600 M.a.

Es sorprendente lo que se ha podido reconstruir del pasado, a través del análisis de las rocas, sedimentos, polen, crecimiento de corales, troncos leñosos y de los núcleos de hielo, que han perdurado desde tiempos muy remotos. Son testigos del pasado que conservan las huellas de la composición del agua y el aire de la Tierra primitiva y la de su pasado más reciente.

Aunque todavía existe mucha polémica e incertidumbre sobre estas interpretaciones, es notable que los modelos usados para reconstruir las variaciones experimentadas en la composición de la atmósfera en 4.600 M.a, son muy consistentes con los eventos geológicos y biológicos que han servido para estructurar la escala de tiempo geológico.

Pero hoy, las alarmas se han encendido: signos de nuevos cambios están a la vista. Las interpretaciones del pasado están sirviendo poco para proyectar la dirección que ha de tomar el curso de los cambios actuales. Las condiciones de ayer, no se parecen a lo que tenemos hoy. Desconocemos si las variaciones en la composición y las temperaturas de la atmósfera van a ser irreversibles. Su comportamiento futuro y las consecuencias de tales cambios son, por ahora, impredecibles con certeza.

### ¿Cambio climático?

Ya hemos visto que los cambios son permanentes en nuestro planeta. Si la atmósfera ha cambiado junto a toda la Tierra, ¿qué de raro tendría que también el clima cambiará?

El término **cambio climático** se escucha con insistencia en todas partes. Mucho se comenta sobre el **calentamiento global**, a veces se usan como sinónimos, sin tener un conocimiento preciso. Confundimos calentamiento global, con **efecto invernadero**; nos hablan sobre los **fenómenos climáticos El Niño y La Niña**; del **agujero de la capa de ozono**; entre otros términos. Quizás te hayas preguntado si existe el enfriamiento global en contraposición al calentamiento. Pero, ¿te has detenido a analizar cada una de estas expresiones?

Existen pruebas científicas de que algo está pasando con el comportamiento de las temperaturas y del clima de nuestro planeta, tal como en el pasado, hace unos 11.500 años, en la última era del hielo cuando por procesos naturales que se atribuyen a cambios en la inclinación del eje terrestre, se modificaron los patrones de calentamiento terrestre. Pero para entender bien esto, debes tener claro el concepto de tiempo atmosférico y de clima.

En primer lugar, debemos expresar que hay diferencias entre el tiempo atmosférico y el clima. Ambos, son producto de los **parámetros meteorológicos**, tales como la lluvia, la temperatura, el viento, la humedad, la presión atmosférica, entre otros elementos.

Las condiciones de la atmósfera y de sus parámetros meteorológicos, en un momento y lugar determinados, se conocen como **tiempo atmosférico**. Por tanto, se refieren a la situación que existe en la atmósfera en un momento dado o en un período corto. El tiempo atmosférico está en constante variación. Estas variaciones se pueden pronosticar con un cierto grado de certeza, gracias al monitoreo de las condiciones presentes en la atmósfera. En nuestro país, estos pronósticos se hacen desde el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

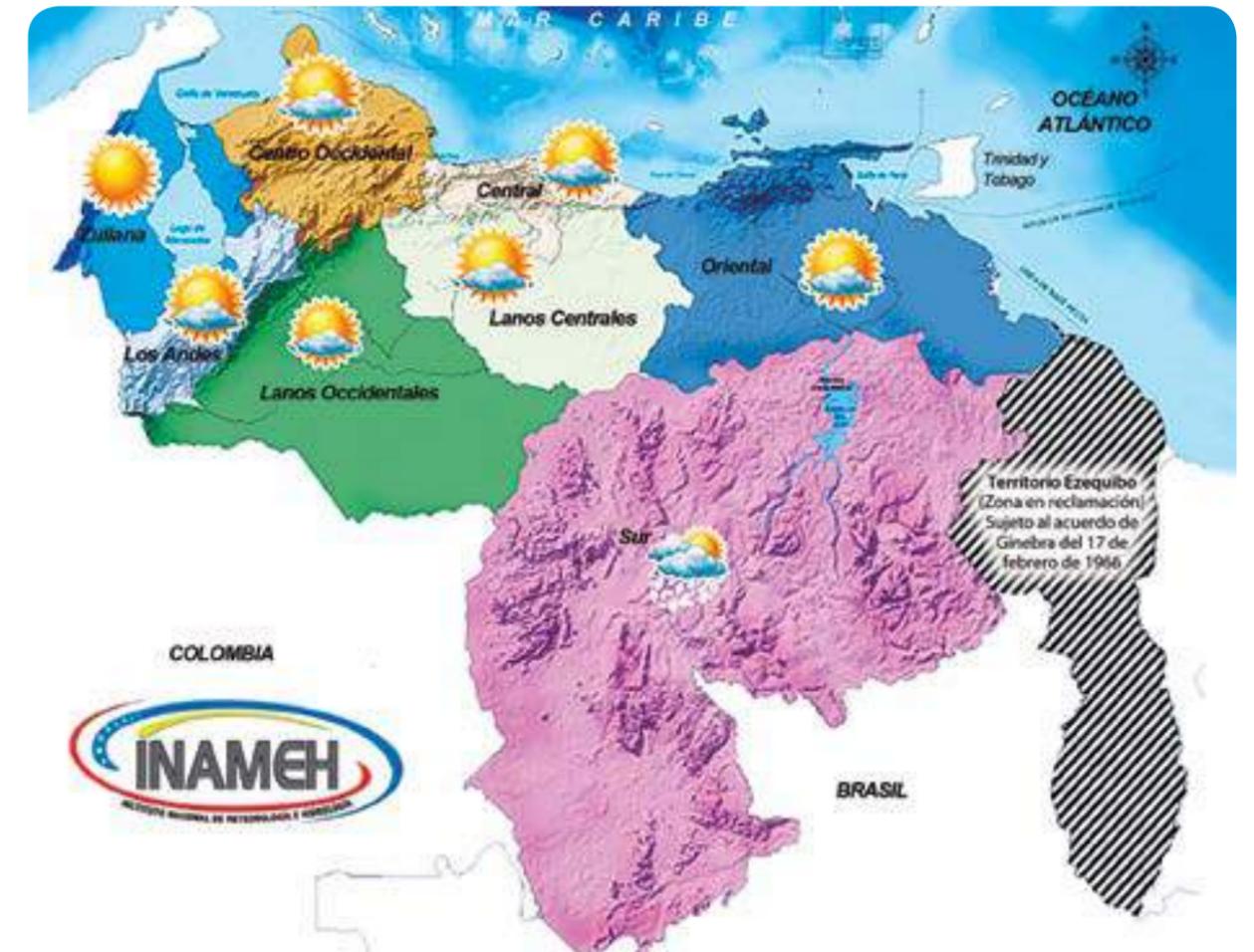
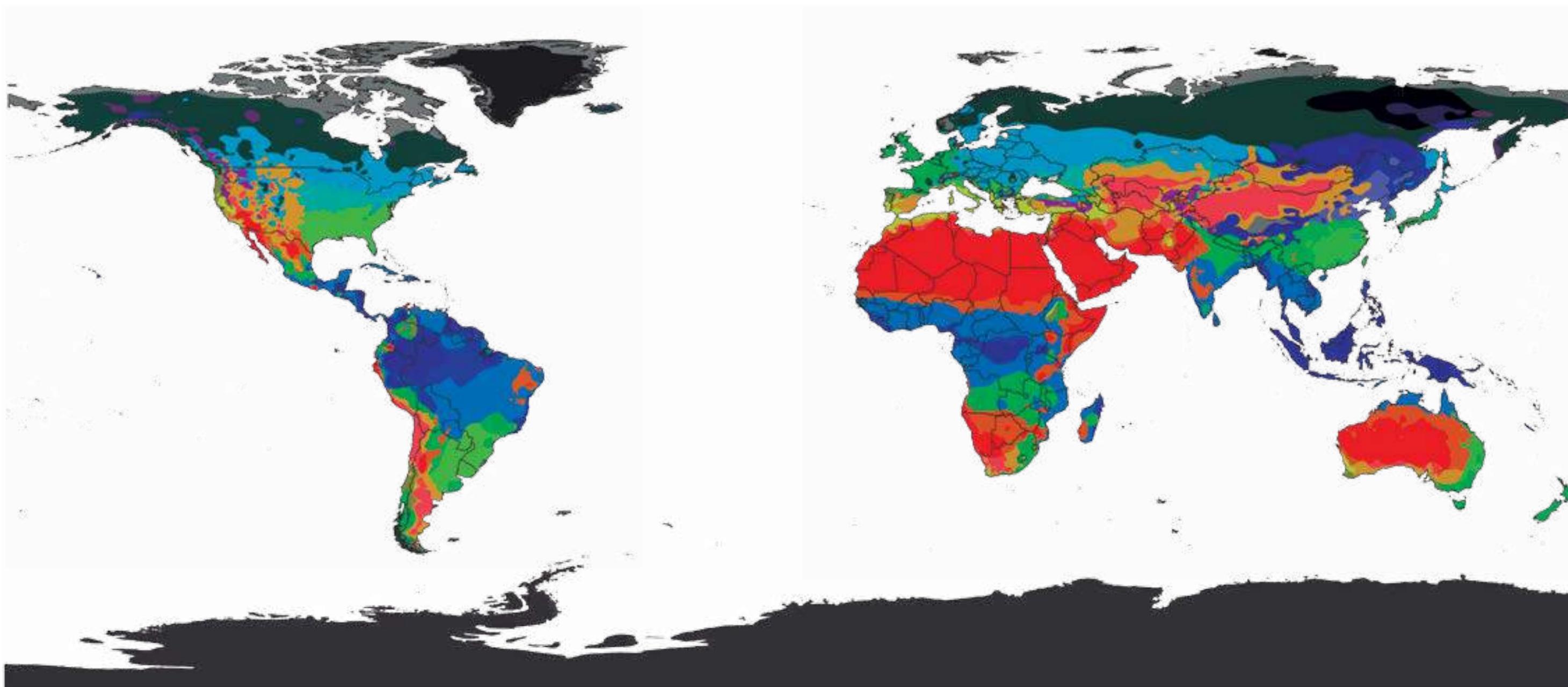


Figura 8.4. Pronóstico del tiempo en el territorio venezolano que ofrece el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Inameh.

Por su parte, el **clima** es el promedio registrado de las condiciones imperantes en el tiempo atmosférico –y de sus parámetros meteorológicos– a lo largo de extensos períodos en un lugar dado. Es el comportamiento más recurrente (que con mayor frecuencia se presenta) de los elementos meteorológicos que se tienen en un lugar.

Así se han tipificado los climas del mundo, desde los trópicos hacia las latitudes medias y altas, que se ven determinados por factores como la latitud, la forma del planeta, la inclinación del eje terrestre, la cercanía al mar, la altitud, entre otros. En la figura 8.5 te presentamos los climas del mundo usando la clasificación de Köppen-Geiger. Obsérvala con detenimiento y trata de determinar la existencia de patrones de distribución a escala planetaria de los diferentes tipos de clima.

**Climas del mundo**  
**Clasificación de Köppen-Geiger**



Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb
Aw	BSh		Cwc	Cfc	Dsc
	BSk				Dsd

Dwa	Dfa	ET
Dwb	Dfb	EF
Dwc	Dfc	
Dwd	Dfd	

**Figura 8.5.** Los climas del mundo de acuerdo con la clasificación Köppen-Geiger que establece tipos climáticos fundamentalmente con base en las temperaturas y las precipitaciones. La primera letra de cada tipo indica el régimen térmico, a saber:

A - Tropical; B - Árido; C - Templado; D - Templado frío; E - Frío.

Si ha sido posible determinar comportamientos recurrentes de los elementos meteorológicos en las diferentes áreas del mundo, ¿por qué no podríamos confiar en los resultados que se han ido recabando acerca de las desviaciones que se están registrando actualmente? ¿Acaso podríamos pronosticar los climas que sobrevendrán en el futuro?

Los **modelos climáticos** permiten someter a prueba las hipótesis sobre los cambios climáticos pasados y futuros. Hasta ahora, estos modelos se han ido perfeccionando cada vez más. Sus pruebas para reconstruir climas del pasado, han dado resultados consistentes con lo que realmente ocurrió. La comunidad científica tiene una amplia confianza en el uso de estos modelos para comprobar el funcionamiento de los procesos climáticos y para realizar predicciones sobre cómo podrían cambiar en el futuro.

Una crítica frecuente que se le hace a las predicciones climáticas consiste en señalar que, si los pronósticos meteorológicos son poco confiables, ¿cómo pueden los modelos predecir el clima con décadas de anticipación? La respuesta es que aunque ambos modelos se basan en procesos físicos similares, no predicen la misma cosa. Los pronósticos meteorológicos consideran los cambios que ocurren a diario a nivel local, mientras que las predicciones climáticas se centran en procesos de más largo plazo y a escalas globales o regionales. Debido a esas variaciones un poco fortuitas que se producen a diario en la atmósfera, los pronósticos meteorológicos a corto plazo son complejos. Los modelos climáticos se ocupan de las influencias que a largo plazo el Sol, los océanos, el suelo y el hielo tienen para la atmósfera. Predecir, por ejemplo, una temperatura para un lugar, a una hora en particular es un problema distinto a llegar a una proyección de temperaturas para una región extensa o el globo entero, y a lo largo de un año, una década o un siglo.

Volvamos ahora a la expresión “cambio climático”. Fíjate en la palabra cambio y pregúntate ¿Qué cambia? Cambia el clima ¿Qué cambia del clima?, la temperatura global promedio y es altamente probable que ella influya en el resto de los parámetros asociados ¿De qué? De la atmósfera y del agua, así como de ese sistema combinado.

De acuerdo con esto, **el cambio climático** es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Estos cambios se producen a muy diversas escalas temporales, tomando en cuenta ciertos **parámetros meteorológicos** como la temperatura, la presión atmosférica, las precipitaciones, la nubosidad, la extensión e intensidad de los períodos de lluvias y de sequías, la formación de perturbaciones atmosféricas como ciclones y huracanes, entre otras. Por lo tanto, incluyen las causas naturales y las no naturales o antropogénicas (causas de origen humano).

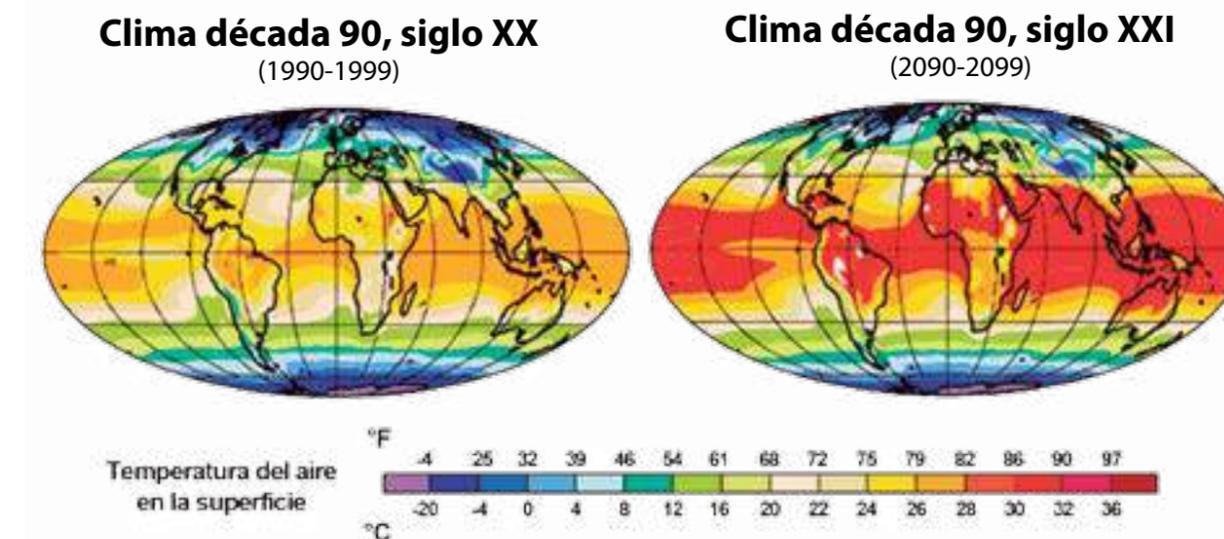
#### Para saber más...

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático usa el término “cambio climático” sólo para referirse al cambio por causas humanas. En su artículo 1, párrafo 2, indica lo siguiente: “Por ‘cambio climático’ se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”.

Hoy en día la mayoría de los climatólogos están de acuerdo en que varios signos muestran claramente que se está produciendo un cambio climático inducido por la actividad humana. Distintos estudios y documentos de organizaciones que agrupan expertos en el área, señalan que es inequívoco que se está produciendo un calentamiento de los sistemas climáticos del mundo; que el clima global está registrando menos días y noches frías; son más frecuentes los días y noches cálidas en la mayoría de las regiones terrestres; que las áreas sometidas a sequías severas han aumentado significativamente desde los años 70 del siglo XX; que la incidencia de lluvias intensas se ha incrementado; que las áreas cubiertas por hielos, banquisas y permafrost están reduciéndose dramáticamente, entre otros signos. Entonces, con lo que hemos discutido hasta aquí, podríamos concluir que **el cambio climático y el calentamiento global no son sinónimos**, sino que **uno es un signo del otro**.

Para aclarar esto aún más, podríamos usar una analogía con los signos vitales de una persona: el pulso es un signo de que el sistema circulatorio está funcionando o, la fiebre es un signo de una probable infección en el organismo. Decir lo contrario sería caer en un error: el sistema circulatorio es un signo de que el pulso está funcionando o, la infección es signo de que hay fiebre en el organismo. Estas dos últimas expresiones son incorrectas ¿Cierto? Entonces volvamos a los dos conceptos que estamos trabajando ¿Cuál sería el signo y cuál el fenómeno? Antes de responder, observa la figura 8.6 en la que se presenta uno de los escenarios obtenidos sobre el clima futuro.

#### Modelo climático mundial



**Figura 8.6.** Imágenes obtenidas a partir de un modelo climático elaborado por NCAR, sobre el clima de las décadas de los 90 del siglo XX y del XXI que se basa en la situación del clima actual, proyecciones sobre población mundial, volumen de emisiones de gases, tecnologías y combustibles en uso, entre otras variables.

Al observar esta figura podrás apreciar que la proyección del clima del futuro se caracteriza por un cambio en los valores de las temperaturas de la atmósfera. Por lo tanto, el calentamiento global parece ser uno de los signos del cambio climático.

## Calentamiento global

La percepción del cambio climático como uno de los problemas ambientales predominantes del siglo XXI se ha reforzado en los últimos años. El calentamiento global quizás sea el mayor reto que afronta nuestra civilización y, por lo tanto, nuestra planificación debe incluir todas las medidas para afrontar este desafío. Para poder planificar necesitamos conocer cuáles son las variables y cómo afectan.

Es vital basar nuestras decisiones en conocimientos. Un ejemplo muy ilustrativo de la planificación sin fundamentos, consiste en que mucha gente piensa que para combatir el calentamiento global lo que se necesita es incrementar el uso de aparatos de aire acondicionado. La realidad es que el uso desmedido de este tipo de aparato contribuye al aumento del consumo energético, un mayor consumo de agua en la generación de energía hidroeléctrica o de combustibles fósiles si es termoquímica; y una mayor emisión de  $\text{CO}_2$  al ambiente. Así, no estaríamos afrontando el desafío de reducir el calentamiento global, por el contrario, lo estamos agravando.

Sin embargo, en esta misma línea de pensamiento, resulta conveniente preguntarnos, ¿será correcto que hablemos de calentamiento global? Si volvemos a observar la figura 8.6 veríamos que el escenario del clima futuro expresa un rango de temperaturas entre  $-20$  y  $36$  °C lo cual significa que continuarán existiendo zonas en el mundo con temperaturas bajas y otras en las que sus temperaturas serán muy altas. Estas últimas parecen concentrarse en las latitudes bajas a medias y, por su parte, las más bajas temperaturas parecen retroceder hacia las latitudes superiores. También pareciera que el rango de variación de temperaturas pudiera llegar a ser más grande, en la medida que nos alejamos del ecuador. Entonces el cambio climático parece estar asociado a un cambio en las temperaturas a nivel global.

Es importante establecer que la temperatura de cualquier cuerpo es en realidad un índice de su energía. Si hablamos de las temperaturas de la Tierra, entonces nos estamos refiriendo a la energía inherente a ella. Eso quiere decir que tendríamos que hacer distinciones entre los diferentes materiales y geosferas de la Tierra porque, como ya sabes, cada uno de ellos posee un comportamiento energético distinto. Por tanto, cuando nos referimos a temperatura en esta lectura, salvo que indiquemos lo contrario, nos estaremos refiriendo a la temperatura de la atmósfera porque es la de mayor significación para el comportamiento del clima.

## Fuente del equilibrio térmico de la atmósfera

Sabemos que la fuente primordial de la energía terrestre es el Sol. Aunque la Tierra emite energía desde su interior (energía geotérmica) su influencia en el clima es desdeñable. Por lo tanto, para analizar los cambios de temperatura cuando se habla de calentamiento global, resulta indispensable conocer cómo se comporta la Tierra frente a la energía proveniente del Sol.

Ya has estudiado cómo la energía solar ingresa al planeta y sigue diversos caminos para su aprovechamiento en los diferentes procesos y fenómenos de la naturaleza. Es el balance energético terrestre, que te presentamos en la figura 8.7, el cual tiene como escenario principal a la atmósfera. En esta ilustración puedes apreciar cómo la energía proveniente del

Sol se transfiere a través de los mecanismos de convección, conducción, radiación y reflexión, para que se produzca el llamado calentamiento del aire, de las aguas y de los continentes, la formación de nubes y el movimiento de las masas de aire.

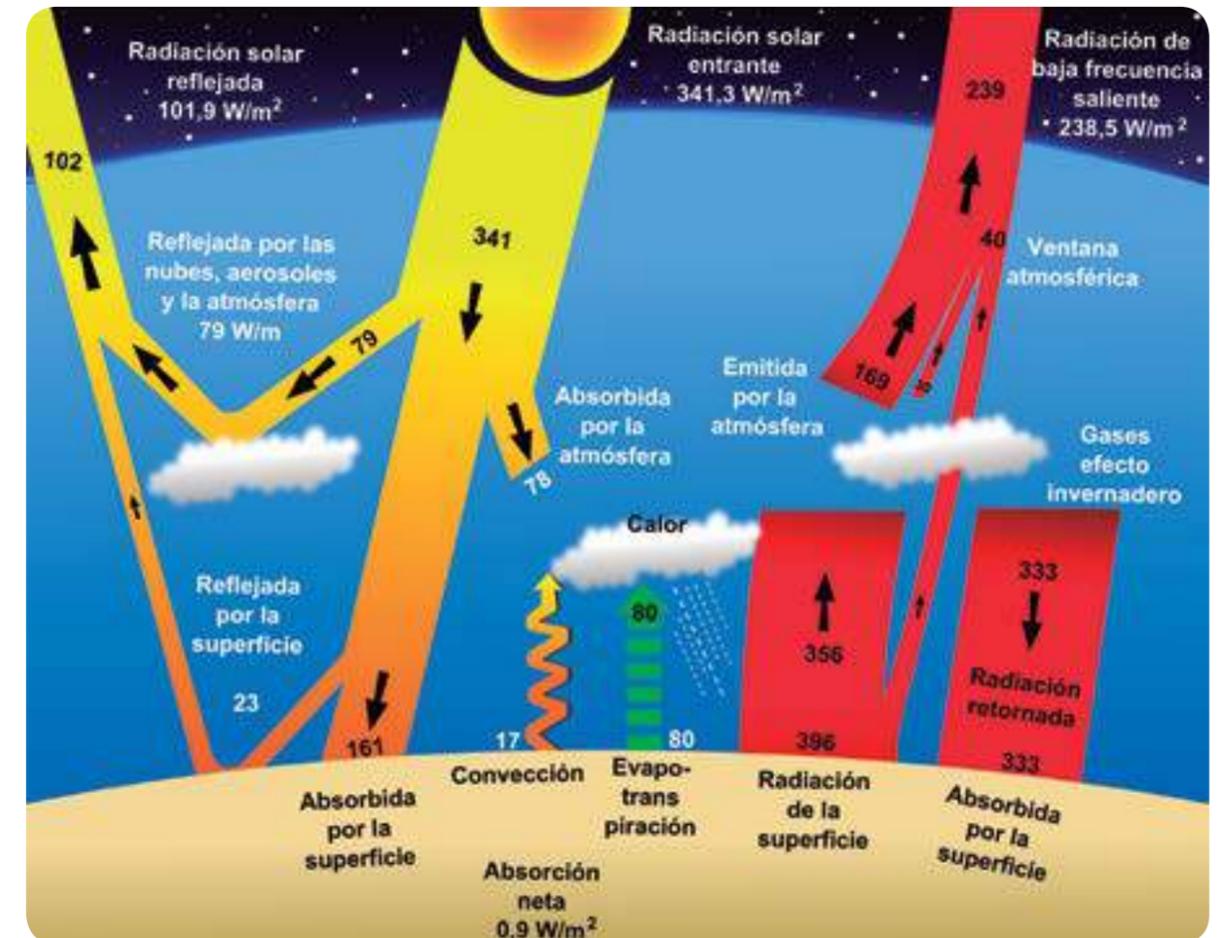


Figura 8.7. Balance energético. Los montos están expresados en vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ).

Se le denomina balance energético porque existe un equilibrio natural entre la cantidad de energía entrante y la saliente. Observa el monto de energía proveniente del Sol y compárala con la potencia de la energía saliente, tanto la que sale por reflexión, como la que se denomina de baja frecuencia o infrarroja. Observa también que la superficie de la corteza emite radiación, llamada irradiación, que se ha estimado en  $396 \text{ W/m}^2$ . Parte de esta radiación térmica, unos  $333 \text{ W/m}^2$  es capturada en la atmósfera por los gases como el vapor de agua y el  $\text{CO}_2$  y retornada a la superficie, lo que permite que las temperaturas de la Tierra sean templadas. Los responsables de este fenómeno son los gases de la atmósfera que son capaces de atrapar la radiación, a este comportamiento se denomina **efecto invernadero**, sobre el que volveremos más adelante.

La atmósfera, la superficie de la corteza terrestre, la biosfera, los mares y océanos, reciben la radiación solar y se comportan en forma diferenciada ante ella. En la tabla 8.1, hemos resumido brevemente los procesos predominantes que ocurren en cada una de las geosferas con respecto a la radiación solar y sus comportamientos diferenciados frente a ella. No se incluye a la biosfera porque su comportamiento está asociado a otros procesos fotoquímicos y metabólicos, que no son de nuestro interés en este momento.

Geosfera	Comportamiento energético
Atmósfera	<b>Comportamiento selectivo:</b> del 100% de radiación incidente, 30% es reflejada, absorbe 17%, dispersa 10% y deja pasar un 43% que llega a la superficie de mares y continentes. La radiación absorbida por la litosfera e hidrosfera es irradiada nuevamente hacia la atmósfera (en longitudes de onda mayores) donde es absorbida y se elevan sus temperaturas (se calienta). Una parte de esta radiación es devuelta a la superficie terrestre (contarradiación) y otra escapa al espacio.
Litosfera	<b>Comportamiento dual:</b> absorbe o refleja la energía entrante, dependiendo de las características de sus materiales. En general, se calienta muy rápida e intensamente y comienza a emitir radiación de onda larga (irradiación) hacia la atmósfera donde es absorbida y se elevan las temperaturas atmosféricas. Otra parte de la irradiación escapa hacia el espacio. En las horas de oscuridad se enfría rápidamente. Este ciclo se repite a diario.
Hidrosfera	<b>Comportamiento dual:</b> absorbe o refleja la energía entrante, dependiendo de sus características (turbidez, transparencia, oleaje). En general, se calienta muy lentamente por su alto calor específico. La energía entrante es utilizada primeramente en la evaporación del agua. Emite pequeños montos de radiación de onda larga (irradiación) hacia la atmósfera donde es absorbida y se elevan las temperaturas atmosféricas. En las horas de oscuridad se enfría muy lentamente. Este ciclo se repite a diario.

Tabla 8.1. Comportamiento diferencial de las geosferas ante la radiación solar.

Como podemos ver, el motor para las variaciones de las temperaturas en el planeta es la radiación solar. Sin ella no podrían existir las diferencias térmicas diarias y estacionales, ni tampoco procesos como la evaporación, la condensación, las diferencias en la densidad del aire y las diferencias de presiones. Como producto de ello, se explican los patrones de viento local, zonal y planetario, entre otros procesos que son definitorios de los fenómenos meteorológicos y climáticos. Pero, si la radiación solar no ha tenido cambios significativos en las últimas décadas, ¿por qué el fenómeno del calentamiento global se produce?

Sabemos que, en las últimas décadas, se han venido experimentando, movimientos de las masas de aire más activos, lo que ha generado comportamientos extremos del viento, de las precipitaciones y de las estaciones. Estos cambios se están apreciando a una escala temporal más corta (años) lo que refleja que las causas pudieran ser distintas a las habituales. El ritmo de calentamiento que se ha producido en los últimos 50 años no tiene precedentes en la historia de la humanidad. Ya vimos que el balance energético no ha tenido modificaciones sustanciales en largo tiempo ¿Será entonces cierto que su causa son las actividades humanas?

Observa la siguiente gráfica de la figura 8.8. En ella se te muestran las variaciones de la temperatura desde 1880 hasta el año 2010.

## Temperatura media anual sobre los océanos y continentes

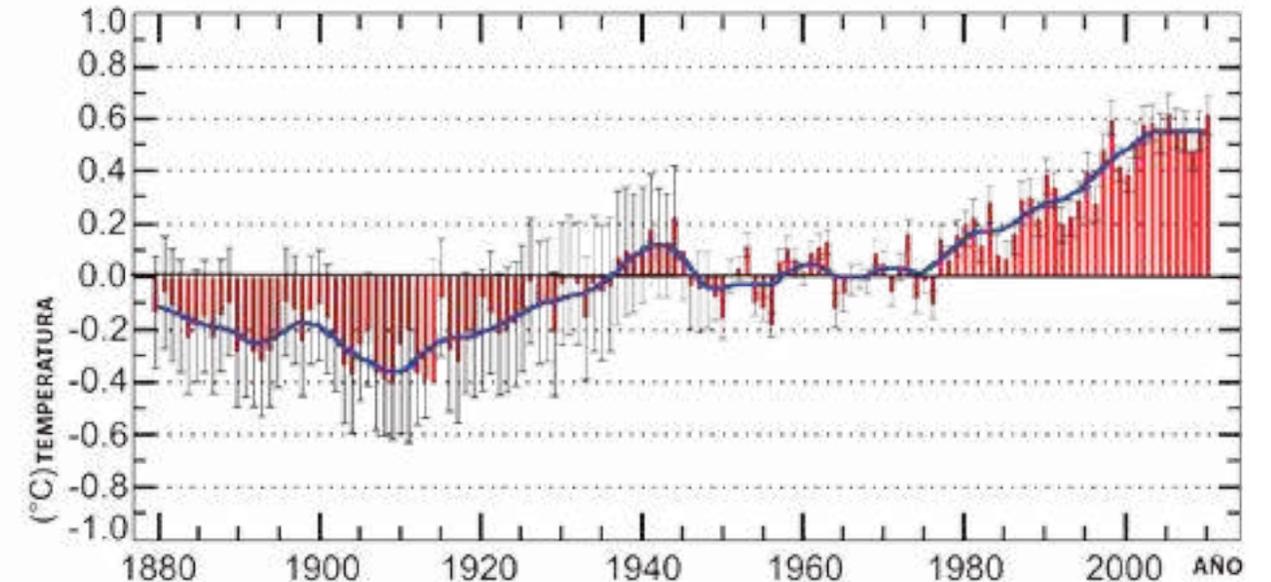


Figura 8.8. Comportamiento de las temperaturas medias anuales sobre la superficie de continentes y océanos y sus anomalías en °C. Fuente: NOAA/INDC/NESDIS.

Con estos datos no podemos menos que concluir que las temperaturas de la atmósfera terrestre están cambiando y, más específicamente, se han incrementado en las últimas décadas. Hay suficientes evidencias de que el calentamiento global es uno de los signos de este tiempo, pero recuerda, no exclusivo de él, porque ya habíamos analizado en la figura 8.3 las variaciones de la temperatura a lo largo de los 4.600 M.a del tiempo geológico.

## ¿Por qué ha variado la temperatura de la atmósfera?

Al parecer, una de las evidencias principales que revelan que se están produciendo cambios dinámicos en la Tierra, es que su atmósfera los registra, y no sólo acusa los cambios, sino que los expresa por intermedio de una serie de indicadores entre los cuales está la temperatura. Este hallazgo además de ser inusitado, es tremendamente conmovedor porque nos alerta –una vez más– de la naturaleza de objeto sistémico y vivo que tiene la Tierra.

## Ciclos de Milanković

Una de las explicaciones que se han dado para comprender los cambios de temperatura terrestre a lo largo de la historia, consiste en el **Ciclo de Milanković** que lo sintetizamos en la figura 8.9. Según esta hipótesis de trabajo, la órbita de la Tierra alrededor del Sol cambia periódicamente, lo cual afecta en forma cíclica la radiación que llega del Sol a la Tierra. Milutin Milanković fue un geofísico serbio, que calculó la periodicidad de estos cambios y sus efectos en el clima terrestre, en los llamados ciclos Milanković. En ellos, el geofísico suma varios tipos de cambios cíclicos en la órbita terrestre, como son:

- El movimiento de precesión del eje terrestre, según el cual cambia su dirección y completa un bamboleo cada ~25.700 años.
- Los cambios en la excentricidad de la órbita que ocurre en períodos de ~96.000 años.
- La inclinación del eje de rotación que cambia periódicamente cada ~41.000 años entre los valores de 21,4 y 23,4 grados en su ángulo con respecto al plano de la eclíptica.

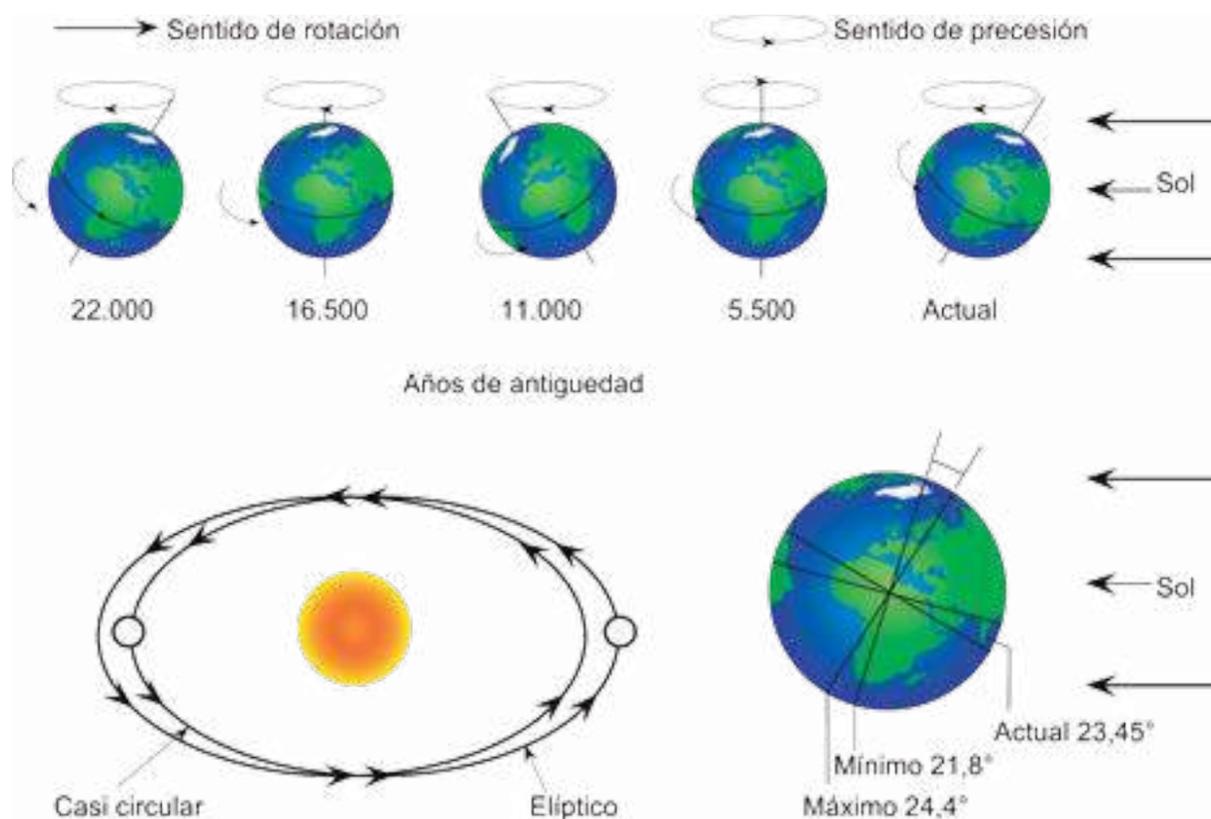


Figura 8.9. Ciclos de Milanković. Variables que afectan la cantidad de energía proveniente del Sol.

La combinación de estos factores astronómicos produce un enfriamiento periódico de la Tierra, cuyo extremo se presenta cada 40.000 años. De esta manera se explicaría la aparición de las glaciaciones. El mayor efecto sería entonces el contraste en los ciclos estacionales y no el cambio en la cantidad de energía recibida del Sol. También pudiera explicar los cambios que se suceden luego de las glaciaciones, cuando las capas de hielo retroceden hacia los polos, la vegetación se dispersa en las diferentes latitudes y la línea de costa penetra hacia los continentes.

## Efecto invernadero

Como ya vimos, la atmósfera absorbe las radiaciones de onda larga que provienen de la radiación solar y de la irradiación terrestre produciéndose así el llamado efecto invernadero para la Tierra.

Son responsables de este efecto ciertos gases que están presentes en la atmósfera, a los que se les llama GEI o gases de efecto invernadero. Los principales GEI son los siguientes:

- Vapor de agua ( $H_2O$ ): es el que mayor poder de absorción de la radiación de onda larga. Sin embargo sus concentraciones en la atmósfera son muy variables, dado que está sujeto a los cambios de estado del ciclo del agua.
- Metano ( $CH_4$ ): es producto de la combustión de biogases y la descomposición anaeróbica de vegetales en pantanos y tierras húmedas. Su concentración en la atmósfera es baja.
- Dióxido de carbono ( $CO_2$ ): ha estado presente en la atmósfera desde la formación misma del planeta. Se origina en las erupciones volcánicas y la quema de combustibles fósiles desde el carbón y la madera hasta el petróleo, gas y sus derivados.
- Óxido nitroso ( $NO_2$ ): gas atmosférico de concentración baja en la atmósfera que tiene un gran poder de absorción de la radiación de onda larga. Se origina a partir de la quema de combustibles fósiles y las prácticas agrícolas con fertilizantes y pesticidas de compuestos nitrogenados.
- Ozono ( $O_3$ ): gas que ocupa una posición marginal en la composición de la atmósfera, pero de enorme importancia para la vida en la Tierra, ya que absorbe las radiaciones UV del Sol que tendría efectos nocivos. El origen del ozono parece estar asociado a la descomposición fotoquímica del oxígeno.
- Clorofluorcarbonados (CFC): gases de origen sintético usados en los sistemas de refrigeración, como propelente de aerosoles y en la fabricación de plásticos y otros productos. Su acumulación en la atmósfera es reciente.

Dado que aún no se conocen mecanismos dentro del sistema tierra-atmósfera que contrarresten el efecto de calentamiento asociado al aumento de la concentración de los gases de invernadero, es importante establecer controles sobre las emisiones antropogénicas de estos gases y la búsqueda de sustancias alternativas que permitan su reemplazo en algunas actividades. El incremento en la concentración de los gases de invernadero debido a actividades humanas y la consecuente potenciación del efecto invernadero, es una de las causas probables del aumento de 0,6 °C de la temperatura media global.

El efecto invernadero es un proceso natural de nuestro planeta, pero debido a la intensificación de las actividades humanas, sobre todo desde la época de la industrialización (la invención de las máquinas a vapor, la extensión del uso de los automóviles, la tala y la quema indiscriminada, la construcción de grandes urbes entre otros factores); han aumentado de manera exponencial las emisiones de gases de efecto invernadero, como es el caso del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y de los CFC. Esto ha acelerado la absorción y emisión de radiación infrarroja, lo cual calienta las capas atmosféricas más cercanas a la superficie terrestre.

En la figura 8.10 se presenta gráficamente y con mayor nivel de detalle, cómo se produce el efecto invernadero en nuestro planeta, un fenómeno en principio beneficioso en la generación de temperaturas óptimas para el desarrollo de la vida.



Figura 8.10. Diagrama del efecto invernadero como parte del balance energético terrestre, que hoy se ha potenciado por las emisiones de gases de efecto invernadero.

## Incremento de los montos de CO<sub>2</sub>

Como ya hemos ido discutiendo, en la atmósfera terrestre se han incrementando los niveles de CO<sub>2</sub> a partir de las emisiones de este gas por la quema de combustibles fósiles. Antes de estos eventos, este gas había mantenido un equilibrio importante en todos los procesos relacionados con los ciclos del agua, del carbono, del nitrógeno y del azufre. Estos ciclos han mantenido a nuestro planeta azul en equilibrio. Si uno de ellos falla o se transforma, ocurren efectos sobre los demás, siempre en la búsqueda del equilibrio dinámico.

El dióxido de carbono es un gas que tiene la particular característica de absorber la radiación de onda larga (la que al llegar al planeta se refleja hacia el espacio exterior), impidiéndole abandonar la alta atmósfera. Una de las consecuencias de la retención de esta radiación, es un mayor calentamiento de la atmósfera, lo que a su vez afecta los patrones de comportamiento de los vientos, de las precipitaciones, en fin, del clima en general del planeta; ocasionando, entre otras consecuencias, el derretimiento de casquetes polares e intensificando las tormentas y las sequías.

### Para saber más...

Joseph Fourier propuso el modelo de cómo funcionaba el efecto invernadero. Svante Arrhenius; lo investigó cuantitativamente. Arrhenius ganó el Premio Nobel de Química en 1903 por sus cálculos del carbono, pero estos cayeron en el olvido. En el tiempo que ha transcurrido desde sus estimaciones originales, que son sorprendentemente cercanas a los mejores cálculos actuales, ha habido un intenso debate sobre las causas de los cambios climáticos pasados y actuales.

Aunque los gases de efecto invernadero constituyen tan sólo el 1% del total de los gases atmosféricos, su capacidad de atrapar la energía degradada es enorme. Al quemar cada día más combustibles fósiles, en la práctica estamos haciendo que el planeta se caliente más y tan rápidamente que la naturaleza y la sociedad humana a duras penas podrán adaptarse.

El ser humano produce más CO<sub>2</sub> que cualquier otro gas de efecto invernadero, y éste es un gas de muy larga duración (entre 50 y más de 1.000 años) en la atmósfera. Sin embargo, es importante recordar que no es el único gas de efecto invernadero, ni tampoco el más potente.

En la figura 8.11 se puede ver en forma comparativa cómo ocurre el efecto invernadero y cómo se ve potenciado con el incremento de emisiones de los GEI a partir de las actividades humanas. En la parte inferior de las imágenes, podrás apreciar el comportamiento de las oscilaciones térmicas registradas entre 1915 hasta el año 2000.

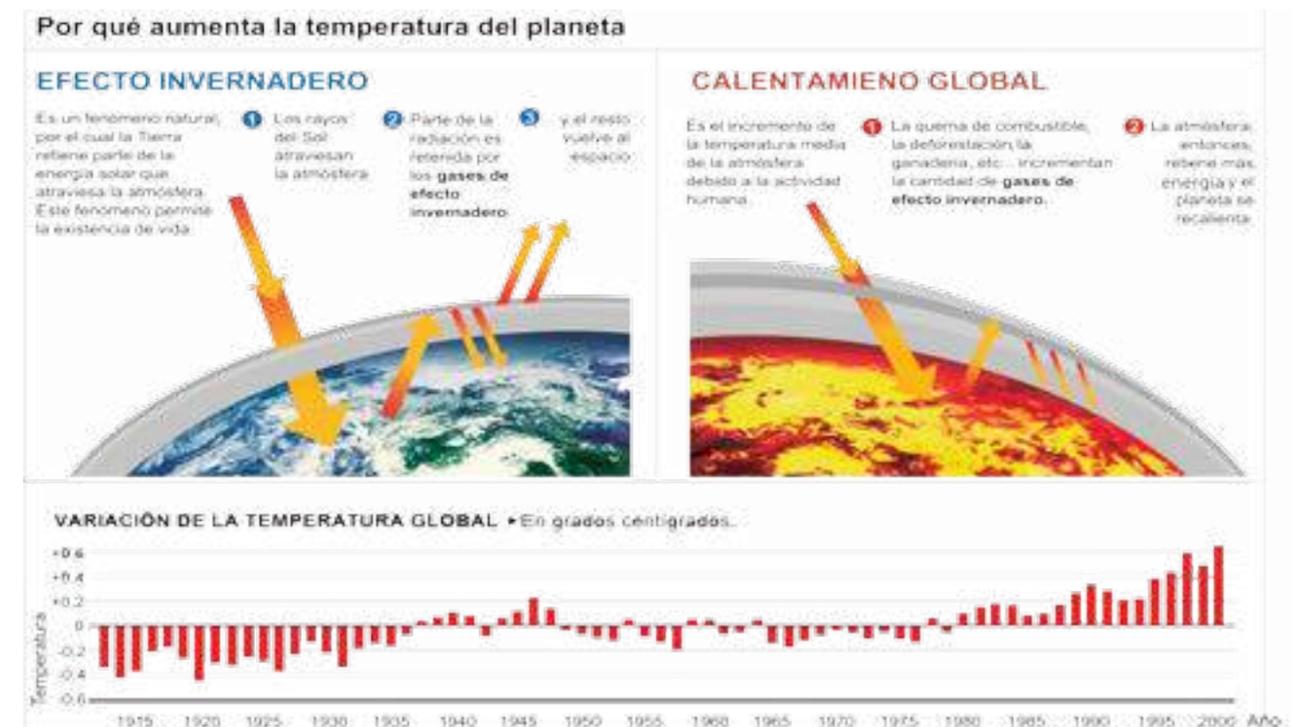


Figura 8.11. Comparación entre el comportamiento del efecto invernadero de nuestra atmósfera y los cambios en el efecto del calentamiento global. Fuente: Ipc. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Technical Summary.

Definitivamente, los patrones están cambiando y la porción de radiación que antes escapaba hacia la atmósfera se queda retenida por gases de efecto invernadero, aumentando así las temperaturas de la atmósfera, lo que a su vez modifica el patrón de vientos y ocurrencia de precipitaciones.

En la tabla 8.2 se recoge el porcentaje de aporte de CO<sub>2</sub> y otros GEI a la atmósfera por diversas fuentes de emisión.

%	Fuente de emisión	%	Fuente de emisión
24,6	Electricidad y calor	13,8	Industria y procesos industriales
18,2	Cambios del uso del suelo	9,0	Otros combustibles
13,5	Agricultura	3,8	Fugas de las maquinarias
13,5	Transporte	3,6	Rellenos sanitarios y drenajes

Tabla 8.2. Fuente de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros GEI.

El uso de los hidrocarburos como combustibles de origen fósil es la causa que subyace en todas estas actividades humanas. Por tal motivo, su utilización es clave en la generación de altos niveles de GEI hacia la atmósfera. La diferenciación de los aportes de la quema de petróleo, gas y carbón la puedes apreciar en la figura 8.12. Allí se observa que, de todos ellos, es el gas natural el combustible fósil de menor emisión ¿Entiendes por qué en nuestro país hay una política de sustitución del uso de la gasolina por gas licuado?

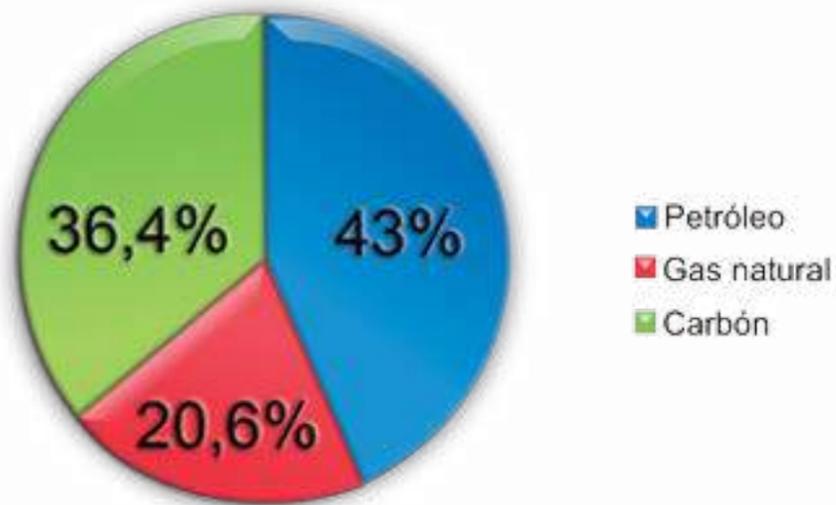


Figura 8.12. Porcentaje de emisión de gases de efecto invernadero.

La pregunta sería, ¿estamos destinados a tener que afrontar un futuro más cálido? Las tendencias, nos indican que, de continuar aumentando las emisiones al ritmo de hoy, la respuesta es afirmativa pero podemos cambiar esta realidad con nuestra actuación consciente y decidida junto a toda la sociedad.

## Acciones modificadoras y generadoras de cambio

Seis acciones humanas que impactan el ambiente y enfatizan las condiciones para propiciar el calentamiento global son: tala indiscriminada, sobreexplotación de recursos, desertificación, contaminación (agua, aire, suelo), caza sin control y cambios en el uso de la tierra. ¿Cuál de ellos afecta tu comunidad?

**La tala indiscriminada:** la mayor demanda de recursos forestales para la elaboración de pulpa de papel, la industria de la construcción y la maderera, en auge por el incremento de la población humana y su cada vez más elevada demanda de recursos para satisfacer necesidades, está dando al traste con la cobertura de bosques. A esto se han asociado otras actividades que han de afectar su estabilidad y permanencia en el planeta como la deforestación para explotación de oro en los sedimentos aluviales de la selva amazónica (figura 8.13)



Figura 8.13. La tala indiscriminada en la selva amazónica, pulmón vegetal del planeta que está en peligro, debemos hacer esfuerzos reales para evitarlo pues si no eso hará que aumenten otros peligros, como la desertificación.

**Sobreexplotación de recursos:** la exigencia de recursos de la población humana es cada vez más creciente, lo que ha generado la explotación intensiva y en ocasiones depredadora de áreas que están perdiendo su capacidad productiva. Así lo evidencia la explotación de tierras cultivables, recursos hídricos, desviación de cauces para aprovechamiento agrícola, extracción de minerales no metálicos, arena, grava para la construcción, son algunos ejemplos.

**Desertificación:** la misma limitación de espacios para la siembra, la disminución de espacios por sobreexplotación, las sequías o inundaciones, han dado paso a la explotación agrícola en áreas susceptibles de perder nutrientes por factores como pendientes abruptas, baja humedad, poca porosidad, entre otras razones, que han dejado áreas desprovistas de vegetación y han acelerado la desertificación de dichas áreas con la consecuente pérdida de recursos edafológicos de estas zonas.



Figura 8.14. Desertificación por sobreexplotación de los suelos, sobrepastoreo, cambio en los cauces de ríos y disminución de niveles de embalses.

### Para saber más...

Hay delitos ambientales vinculados a la minería que ocasionan serias afecciones a los diferentes componentes del ambiente. Un caso emblemático es el de La **Alumbrera** y el de **Abra Pampa**, ambos en Argentina, donde cerca del 80% de la población, y en particular la infantil, sufre graves problemas de salud por la contaminación provocada por los residuos de escoria de plomo generados por esta actividad.

**Contaminación (aire, agua y suelo):** la acumulación de desperdicios, pasivos ambientales, productos químicos de industrias manufactureras, entre otras razones, han incrementado la baja calidad del aire, agua y suelo de regiones importantes; entre otras evidencias, el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el deterioro del agua de ríos, embalses, lagos y del mar por el incremento de vertidos químicos y de aguas servidas que han desmejorado su calidad, lo que ha generado consecuencias como proliferación de bacterias dañinas causantes de enfermedades, baja calidad del agua para aprovechamiento agrícola, contaminación por agroquímicos, mortandad de peces y especies que dependen del equilibrio ecológico marino, disminución de nivel de ríos, incluso su desaparición, todo lo cual afecta otras formas de aprovechamiento como la producción de energía hidroeléctrica.



Figura 8.15. Disposición inadecuada de los desechos sólidos.

**Caza indiscriminada:** el irrespeto a las vedas o restricciones de caza, la pesca indiscriminada de especies marinas en peligro de extinción, la manipulación genética de especies de consumo masivo humano como la avícola, porcina, ganadera y piscícola, han cambiado la resistencia de estos animales, lo que ha generado efectos en su aprovechamiento y explotación.

### Para saber más...

La caza indiscriminada de gorilas en el Congo pone en peligro a la especie. En el 2002, el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (UNEP, en sus siglas en inglés) pronosticó que en el 2030 sólo quedaría el diez por ciento de los ejemplares originales.

**Cambios de uso de la Tierra:** la mala planificación de los espacios y la sustitución de uso agrícola por el urbanístico, es uno de los principales problemas que han generado conflictos de uso de tierras. Así, se ocupan áreas susceptibles de ser explotadas agrícolamente para la construcción de viviendas. Esto incluye a la industria hotelera-turística, que ha abordado áreas naturales que no deben ser explotadas sino preservadas por lo delicado de su equilibrio ecológico, y en cambio son destinadas al uso recreacional, turístico, hotelero, en muchas ocasiones de tipo privado lo que ha afectado fuertemente la preservación de estos espacios.

## Una responsabilidad de todas y todos

Los habitantes del mundo debemos participar activamente en las iniciativas para atajar las variables que condicionan el cambio climático y el calentamiento global y para revertir sus efectos. Para poder enfrentar esta situación hace falta, además de la voluntad y la acción de todas las personas en su actuación individual, que los estados nacionales de todo el mundo pongan en vigor legislaciones y apliquen medidas para moderar o suprimir las causas de tales fenómenos.

Para contribuir a dicho objetivo, y como resultado de un acuerdo alcanzado en la Cumbre de Río en 1992, se creó la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**, que entró en vigor en 1994. En 1997 los gobiernos acordaron incorporar una adición al tratado, conocida con el nombre de **Protocolo de Kyoto**, por el cual los países firmantes asumían el compromiso de reducir las emisiones de GEI y en particular de CO<sub>2</sub> en porcentajes que varían según su contribución actual a la contaminación del planeta, estableciendo sistemas de control de la aplicación de estas medidas.

Para que el protocolo de Kyoto entrara en vigor, se estableció un mínimo de 55 países firmantes que sumaran en conjunto al menos un 55% de las emisiones correspondientes a los 39 países implicados en el acuerdo. Aún existen países como Estados Unidos que no asumen el protocolo de Kyoto y por lo tanto no se comprometen a aplicar las medidas que en él se plantean. Examinemos en la siguiente figura el aporte de CO<sub>2</sub> por región a nivel mundial.

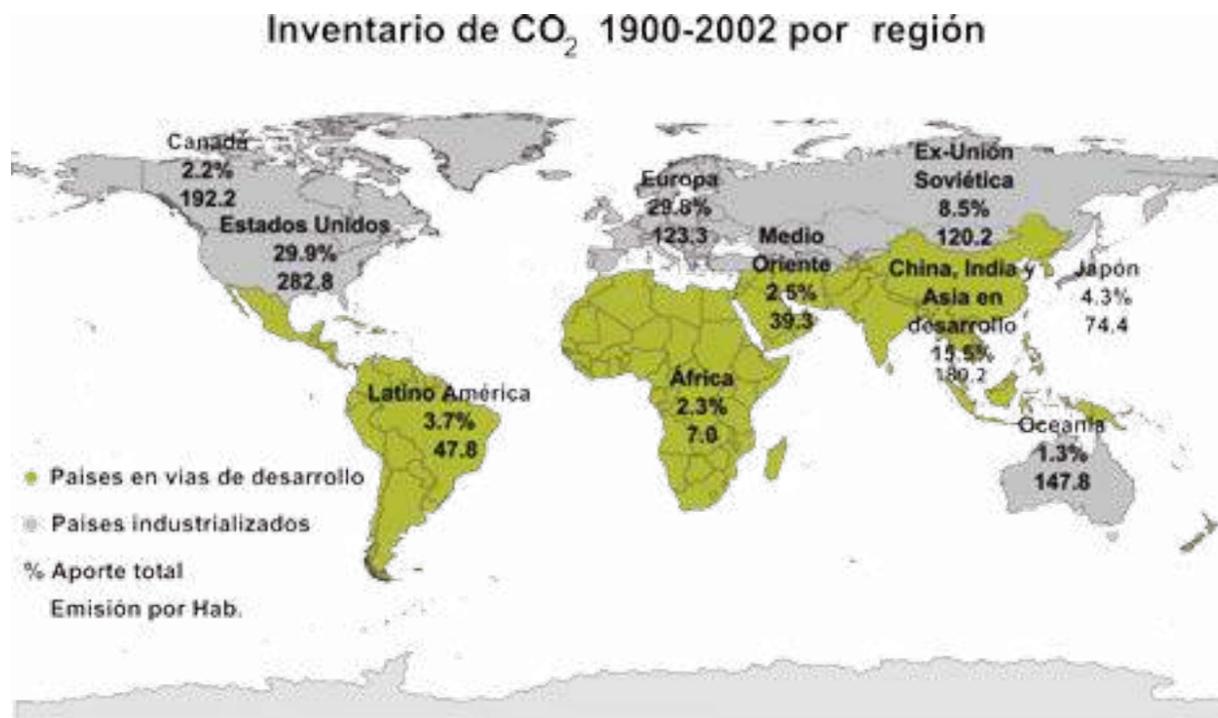


Figura 8.16. Inventario de las emisiones de CO<sub>2</sub> por región, entre 1900-2002 en % y por habitante en términos absolutos.

Como puedes observar, se precisa un acuerdo justo y vinculante para los países con mayores niveles de emisión, que consiga la reducción de gases de efecto invernadero a escala planetaria, y sea más ambicioso que el Protocolo de Kioto. Un acuerdo que no ha sido posible alcanzar todavía ni en la Cumbre del Clima de Naciones Unidas realizada en Copenhague 2009, ni en la de Cancún 2010, tampoco en Durban 2011 ni en la reciente Rio +20 en 2012.

Afortunadamente, surgen nuevas iniciativas para presionar sobre la comunidad internacional como es el caso de la primera Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y los Derechos de la Madre Tierra, celebrada en Cochabamba, Bolivia, en el año 2010. En su declaración final, denominado **Acuerdo de los Pueblos**, se destaca el desarrollo del concepto de **deuda climática**, como componente de la deuda ecológica contraída con la Madre Tierra por los países desarrollados y el conjunto de la humanidad, a causa de la emisión irracional de gases efecto invernadero. Los principales responsables de esta son los países llamados desarrollados, donde habita el 20% de la población mundial, y desde donde históricamente se emitieron el 75% de gases de efecto invernadero. Un acuerdo justo de reducción de gases de efecto invernadero habrá de tener en cuenta ésta deuda climática. Sí se lograron avances para la protección de la capa de ozono con el Convenio de Viena 1985, con el protocolo de Montreal 1987 para la prohibición del uso de los CFC, la humanidad ha sido capaz de atajar una amenaza de primer orden de carácter antropogénico. Esta es una esperanza.

## Afectaciones en nuestra región

Se desconocen con seguridad las manifestaciones del cambio climático que se hayan agudizado en nuestra región. Estas suelen asociarse los períodos de sequías intensos, alternados con períodos de lluvias extraordinarias. Estudiemos el fenómeno de El Niño y el de La Niña. Estos dos fenómenos inciden en los patrones de sequía y lluvias de Nuestra América, y se explican en gran medida, por la asociación entre la hidrosfera y la atmósfera como sistemas en interacción. Los indicadores de la presencia de estos fenómenos son las oscilaciones de la temperatura de las aguas del Pacífico ecuatorial, las presiones atmosféricas y el sentido y dirección de las corrientes oceánicas y de las masas de aire cargadas de humedad (figura 8.17)

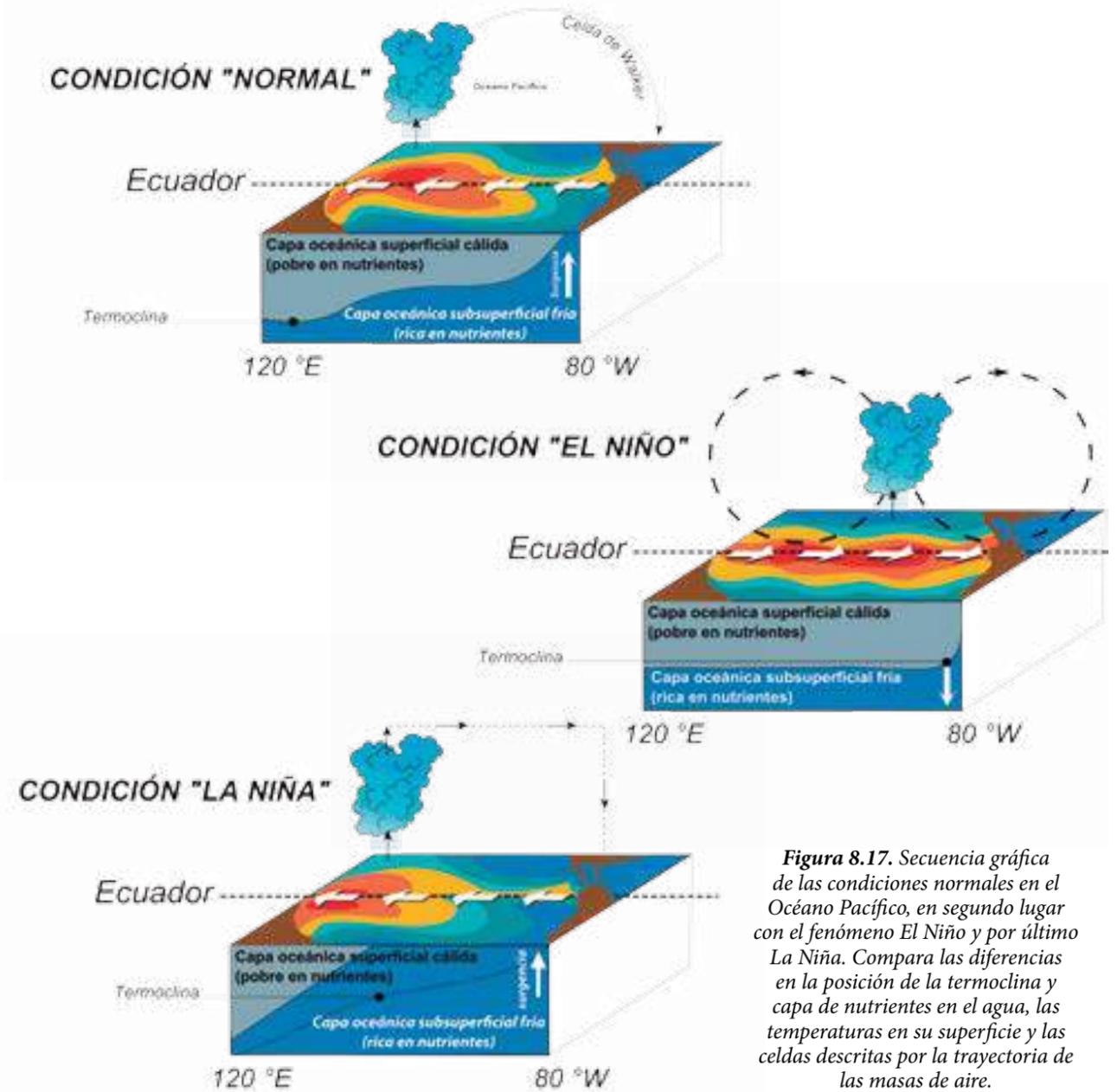


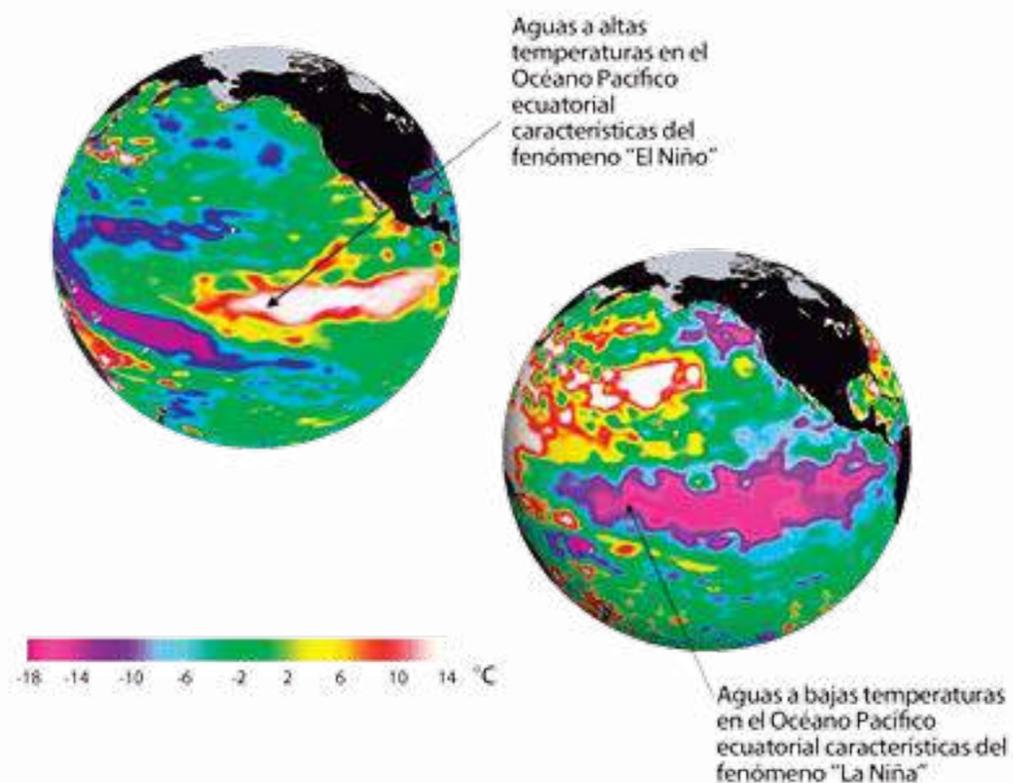
Figura 8.17. Secuencia gráfica de las condiciones normales en el Océano Pacífico, en segundo lugar con el fenómeno El Niño y por último La Niña. Compara las diferencias en la posición de la termoclina y capa de nutrientes en el agua, las temperaturas en su superficie y las celdas descritas por la trayectoria de las masas de aire.

Al fenómeno de El Niño, se le identifica con la llegada de “el Niño Jesús”, pues por regla general se manifiesta en fechas navideñas a lo largo de las costas peruanas. Es una expresión de la variabilidad climática, conocida como ENSO, por sus siglas en inglés, que significan Oscilación del Sur. El fenómeno El Niño, es el producto de las interacciones entre la atmósfera y las aguas oceánicas tropicales oceánicas.

Las consecuencias de este fenómeno son: a) sequías en áreas en las que normalmente llueve en forma abundante y b) fuertes lluvias e inundaciones en zonas normalmente áridas o desérticas. Se dice que el fenómeno es cuasi-cíclico, pues su periodicidad que varía entre dos y siete años no guarda un patrón regular en el tiempo.

Por otra parte, el fenómeno de La Niña, antiniño o El “Viejo”, como también se le conoce, suele ir acompañado de un descenso en las temperaturas en la superficie de las aguas de las costas del Pacífico y provoca fuertes sequías en las zonas costeras de la región.

El análisis de los datos recabados desde la última edad de hielo y el inicio del calentamiento global relacionado con las actividades humanas, parece indicar que el patrón de estos fenómenos ha sido modificado, sobre todo se han reportado cambios abruptos a partir de 1820 en los patrones del sistema ENSO, a lo largo del litoral pacífico de Nuestra América. Estos cambios del patrón de ENSO se han relacionado con una mayor explotación de recursos y servicios, como agua potable, aguas servidas, alimento, salud, industria, entre otros, los cuales han presionado más el ambiente, un mayor impacto o transformación de lo que antes existía (figura 8.18)



**Figura 8.18.** Imágenes del planeta en las que se representan las variaciones térmicas de las aguas superficiales del Pacífico. Observa en la escala las temperaturas correspondientes en cada caso. Es el fenómeno conocido como ENSO u oscilación térmica del sur en sus dos expresiones llamadas El Niño y La Niña.

Con todo lo que hemos discutido en esta lectura, ya debes estar en capacidad de comprender que pese a que el clima de la Tierra ha cambiado de manera natural, la actividad humana es, probablemente, la principal causa que en la actualidad afecta este proceso, con consecuencias graves para la existencia de la humanidad.

El calentamiento global ha comenzado a afectar a todos los países sin distinción y si no logramos mitigarlo, la humanidad entera está en peligro. Por esto, enfrentar los problemas ambientales globales es un reto que nos debe involucrar a todos los pueblos y sus gobiernos. El costo para implementar acciones de mitigación es insignificante si lo comparamos con los daños que ocasionaría la inacción. La biodiversidad y la especie humana corren serio peligro ante esta seria amenaza. Tenemos que actuar de manera inmediata ¿Tu que opinas?

El tema del cambio climático y del calentamiento global se han convertido en un campo de batalla y contradicciones entre visiones del mundo. Las controversias entre las causas antropogénicas vs otras causas naturales no atribuidas a la civilización; los límites a la industrialización vs la necesidad que los países del llamado “3er mundo” a desarrollar sus procesos productivos; y hasta la mercantilización de las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de incentivos y bonos de intercambio que canjean los países que son grandes emisores de este gas. Este mecanismo “tarifario” conlleva aspectos políticos, éticos y morales que forman parte de todo el tema, sobre el cual hay todavía mucho por esclarecer. Te invitamos a mantenerte informado para generar una posición racional y crítica ante este complejo asunto.



El Roto@inicia.es



## Tras la pista de signos del cambio climático

Organizados en equipos de trabajo, van a seleccionar –de acuerdo con lo considerado en esta lectura– algunas variables asociadas a la probabilidad de ocurrencia del cambio climático, e indagarán sobre la presencia de estas variables en su entorno inmediato.

### ¿Cómo lo harán?

- Elaboren una matriz con las variables seleccionadas que sean susceptibles de observar, importantes en el comportamiento climático de un lugar determinado.
- Busquen información y recaben artículos de medios impresos o de la red de internet, cuya temática esté relacionada con eventos hidrometeorológicos ocurridos en su localidad o en el territorio nacional; o bien que traten de problemáticas ambientales vinculadas.
- Preparen un guión de entrevista para consultar a informantes de su comunidad (especialmente adultos mayores y cronistas) sobre sus impresiones acerca de los eventos registrados y sus percepciones en torno de los conceptos fundamentales del cambio climático (calentamiento global, cambio en las temperaturas, períodos de lluvias y sequías, reducción de la capa vegetal, incendios forestales, entre otras).
- Sistematicen la información obtenida en las entrevistas. Pueden realizar tablas, gráficas y cualquier otra forma de organización de la información obtenida. Analíenla.
- Posteriormente, preparen y ejecuten un trabajo de campo y con una lista de chequeo verifiquen o constaten los problemas ambientales que se hayan registrado en la parte anterior. Localicen en mapas los hechos constatados. Si les es posible, tomen fotografías de los fenómenos observados.
- Averigüen si en su localidad hay una estación meteorológica. Si la hay, planifiquen y realicen una visita para conocer su funcionamiento, los equipos que utiliza y el tipo de datos que recoge. Indaguen sobre su conexión a la red meteorológica nacional.
- Realicen una cronología de los eventos adversos que han afectado a Venezuela en los últimos 10 años. Establezcan cuáles han sido los más frecuentes y relaciónenlo con los fenómenos del cambio climático que se están desarrollando en el escenario mundial.
- Busquen datos históricos y registros estadísticos (podría ser en el portal del INAMEH u otro organismo como el INIA) de variables como precipitaciones, temperaturas, humedad, caudales de ríos, entre otras, de la región y elaboren climogramas u otros gráficos de series de años. Mientras más años y más extensa la serie (últimos 50 años) será mejor.
- Analicen el comportamiento de las variables, determinen si hay evidencias de cambios. Establezcan posibles vinculaciones con eventos climáticos extraordinarios acontecidos en los últimos años.

Con toda la información recabada y los análisis efectuados, elaboren un portafolio y preparen una actividad para dar a conocer en la comunidad los resultados de su investigación.



## Actividades de autoevaluación

1. Organicen una serie de video foros en los que proyecten películas y documentales sobre el cambio climático. Pueden invitar para estas actividades a algunas personas de las que conocieron en su trabajo con las actividades de investigación, construcción e innovación (AICI). Recuerden que un video foro no sólo prevé la proyección, también supone que se discuta acerca de los planteamientos e ideas comunicadas en el material audiovisual.

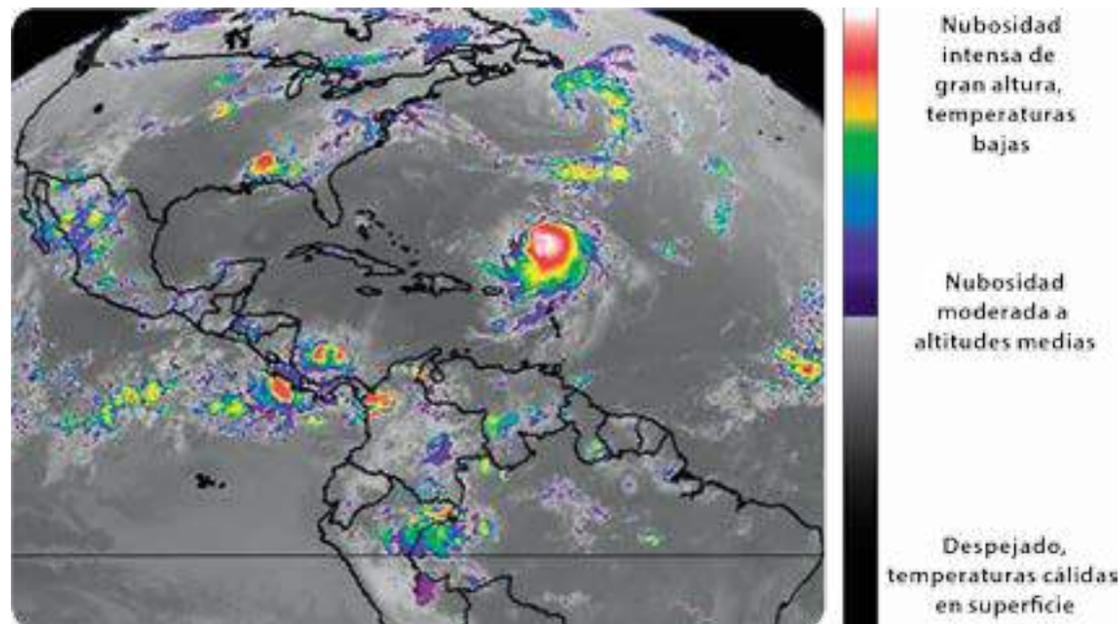
Algunos títulos sugeridos: *La gran estafa del calentamiento global* (2007, Martin Durkin); *Una verdad incómoda* (2007, Al Gore); *La era del calentamiento* (2007, Scott Pelley); *La crisis como una oportunidad: vivir mejor en un planeta más cálido* (2007, Elisabeth Sathouris); *La historia de la Tierra: la gran helada* (1998, BBC); *Secretos del milenio: El hombre contra la naturaleza ¿Quién ganará?* (1999, Roger Evans).

2. Las curvas del O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> mostradas en la figura 8.3 de este capítulo, indican que los niveles de estos dos gases han variado en su concentración durante el tiempo geológico. Analiza las tendencias en el comportamiento de ambos gases. La tendencia del primero es la de aumentar, mientras que el segundo tiende a disminuir. Elabora una línea de tiempo donde destagues los eventos que han sido significativos para aumentar o reducir los niveles de estos gases y establece posibles correlaciones entre estos eventos y el comportamiento de los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

3. Realiza la lectura de la Carta de la Tierra, cuyo resumen se encuentra en este libro entre las lecturas adicionales. Busca el contenido completo de dicho documento e indaga sobre los procedimientos de consulta efectuados para su construcción. Propicia y participa en debates comunitarios sobre el contenido de la Carta de la Tierra y fija posición sobre lo planteado en ella.

4. Para saber más, indaga sobre cuándo aparecieron los gases CFC, quién descubre la amenaza que representan estos gases y qué legislaciones existen en el mundo y en nuestro país sobre la emisión de CFC y su prohibición.





**Figura 9.1.** Imagen infrarroja del satélite GOES 3/09/12, en la que se aprecia la tormenta tropical, antes huracán, Isaac a las 3:15 UTC (tiempo universal coordinado, siglas en inglés). Las imágenes infrarrojas captan la radiación de este tipo emitida por las nubes y la superficie de continentes y mares. Son medidas de temperatura. Las zonas más calientes, estables y despejadas aparecen más oscuras que las frías, inestables y con alta nubosidad. Imagen disponible en <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/GOES/goeseastnheir.html>

Los problemas planteados con la ocurrencia de fenómenos naturales, sus peligros ambientales y la prevención de los riesgos asociados a los mismos, constituyen en la actualidad uno de los temas centrales de las Ciencias de la Tierra.

En el análisis del riesgo de desastres ocasionados por fenómenos naturales, se utiliza una serie de técnicas y herramientas para su estudio temporal y espacial, de forma de obtener un entendimiento global del evento como producto de un sistema dinámico y complejo de interrelaciones entre la Tierra –como medio físico natural– y la población que sustenta y alberga.

La imagen de la figura 9.1 fue captada el 3 de septiembre de 2012 por un satélite ubicado sobre nuestro continente. Como puedes darte cuenta, las coloraciones que se aprecian en ella ofrecen información sobre los movimientos del aire y la nubosidad. Observa que hay un área al Norte de Venezuela donde estas coloraciones se concentran. Es el huracán Isaac desplazándose y ya convertido en tormenta tropical. Días antes, una parte del territorio venezolano estuvo sometida muy tangencialmente a esta inestabilidad, lo que ocasionó lluvias intensas.

La conjunción de estos y otros factores, configuró una situación de emergencia por huracán en otros lugares, principalmente en Haití, República Dominicana, Cuba, el Golfo del México y Estados Unidos, donde 45.000 personas fueron afectadas por suspensión del servicio de electricidad, inundaciones repentinas, fuertes lluvias y rachas de viento de 130 km/h, con los consiguientes efectos adversos.

Aunque este fenómeno no ocasionó mayores daños en Venezuela, en otras oportunidades nuestro país ha estado afectado por eventos adversos que han puesto en riesgo a las personas y a los recursos materiales, provocando interrupciones de las actividades sociales, económicas y ambientales. En esta lectura, te invitamos a explorar el mundo de la gestión integral de riesgos y a conocer las acciones en las que puedes y debes participar, porque hay mucho por hacer frente a las amenazas y los riesgos a los que podemos estar expuestos todas y todos.

## Mantener la memoria colectiva despierta

La República Bolivariana de Venezuela, por su ubicación geográfica es una región tropical, con fachadas caribeña, atlántica, andina y amazónica. Esto la hace propensa a distintos eventos con efectos adversos, tanto de origen natural como antrópicos, de diferente índole y magnitud.

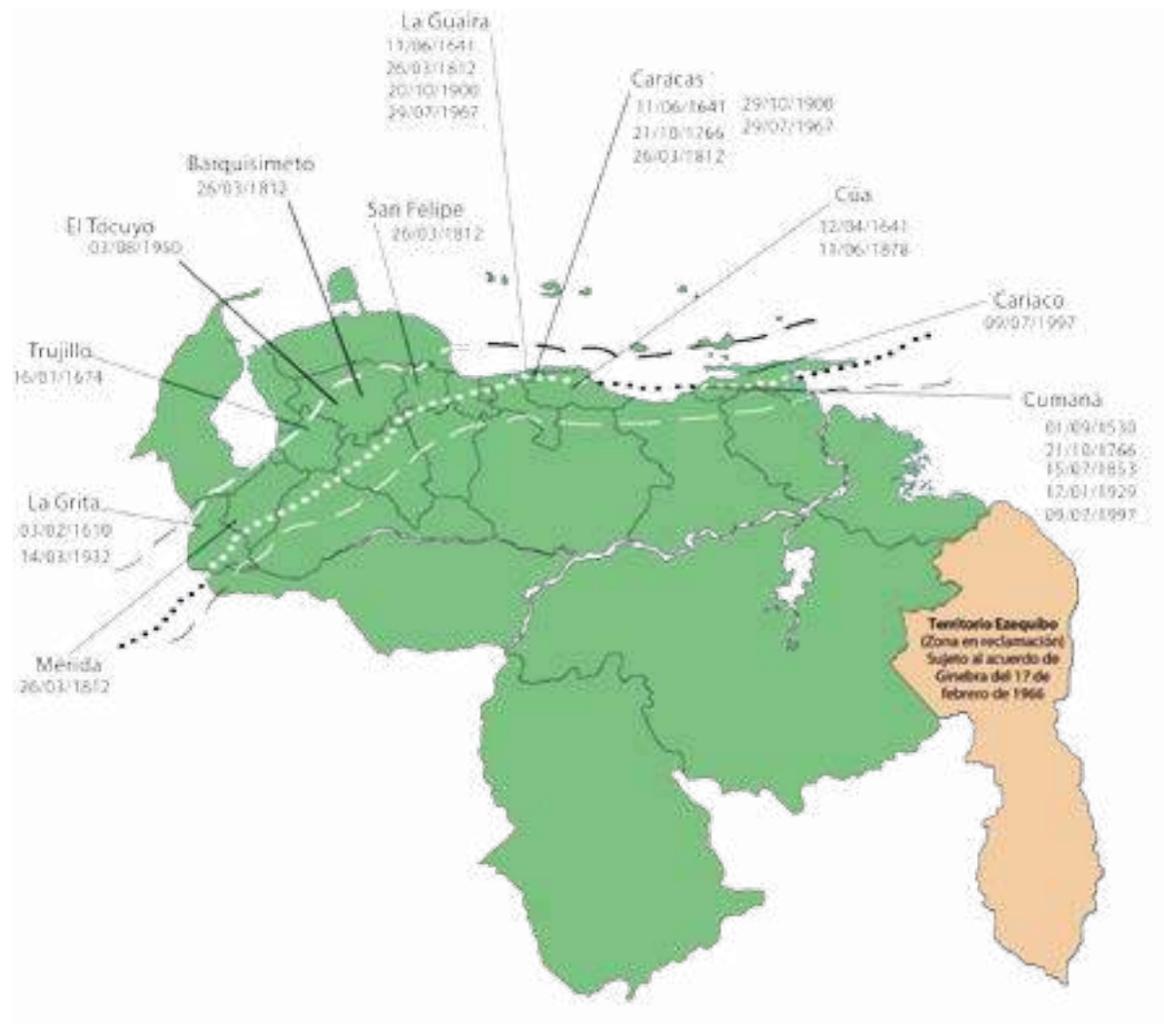
Sus mayores asentamientos poblacionales se ubican en zonas propensas a eventos de origen natural como: ciclones tropicales, precipitaciones intensas, sequías, inundaciones, incendios forestales, maremotos, sismos, enfermedades endémicas, movimientos en masas, entre otros; así como eventos de origen antrópico: accidentes terrestres, aéreos, marítimos, conmoción social, accidentes por materiales peligrosos, incendios en estructuras, violencia familiar, escolar y comunitaria, entre otros.

La historia de nuestro país ha estado marcada por una serie de eventos con efectos adversos que dejaron un intenso impacto en la población, con pérdida de vidas y daños materiales de consideración, a continuación señalamos sólo algunos de ellos:

- Terremotos como los ocurridos el 26 de marzo de 1812 en Caracas, Barquisimeto y Mérida; el más antiguo del que se tiene registro, ocurrió en Cumaná el 1 de marzo de 1530; además de otros como los dos más recientes, en Caracas el 29 de julio de 1967; y el de Cariaco, estado Sucre, el 9 de julio de 1997 (ver figura 9.2)
- Aludes torrenciales sucedidos en el estado Vargas durante los años 1955, 1999 y 2005.
- Desbordamiento del Río El Limón, estado Aragua, 6 de septiembre de 1987.
- Las severas sequías provocadas por el fenómeno El Niño en los años: 1997, 1998 y 2010 (período enero - agosto).
- Inundaciones en Santa Cruz de Mora, estado Mérida, 12 de febrero de 2005.
- Aludes torrenciales sucedidos en Distrito Capital, Falcón, Miranda, Vargas, Zulia, Anzoátegui, Mérida, Nueva Esparta, Sucre y Trujillo durante los últimos cuatro meses del año 2010.

Además de otros eventos de menor magnitud, pero de mayor frecuencia que han dejado como consecuencia pérdidas de vidas y bienes materiales.

## Venezuela, país sísmico. Visión geohistórica de eventos sísmicos en nuestro territorio



*Figura 9.2. Venezuela país sísmico. Infografía elaborada por Funvisis basada en sus investigaciones de sismología histórica.*

También han acaecido otros eventos por causas no naturales, como la explosión ocurrida en el Centro de Refinación Paraguaná del estado Falcón, específicamente en la refinería de Amuay, el 25 de agosto de 2012, la cual nos hace recordar otros siniestros similares que se han producido a lo largo de nuestra historia reciente como el incendio del Complejo de Generación Eléctrica de Arrecifes, conocido como la planta de Tocoa, en el estado Vargas en 1982; y la explosión de un gasducto el 28 de septiembre de 1993, en la autopista Regional del Centro a la altura de la población de Tejerías en el estado Miranda.



*Figura 9.3. Refinería de Amuay, agosto 2012. Una fuga de gas en una de las esferas que almacenan olefinas, dio origen a una explosión que afectó tanques de combustible, instalaciones, comercios y viviendas aledañas; con el lamentable saldo de 42 personas fallecidas y más de 100 heridos.*

Pero estas situaciones no son exclusivas de nuestro país, sirvan como ejemplo la tragedia de Bhopal (India) en 1984, en la que se produjo un escape de gas tóxico en una fábrica de pesticidas, operada por la empresa Union Carbide Corporation, que originó una nube tóxica que causó la muerte de 8.000 personas y dejó 150.000 afectadas con enfermedades respiratorias crónicas. El otro ejemplo es el derrame petrolero conocido como Exxon Valdez, el cual se produjo cuando el buque del mismo nombre encalló y derramó más de 38.000 toneladas de crudo en las costas de Alaska. Este evento ocurrió en 1989, ocasionando la muerte de miles de aves marinas, serias afectaciones en las poblaciones costeras y deterioro ambiental del ecosistema marino. Las labores de limpieza se extendieron hasta el año 1992, y todavía en el 2012 no se había logrado que el petróleo derramado se dispersara del área. Los daños son irreversibles.

Resulta importante destacar que estos ejemplos tienen causas no naturales, vinculadas a las características de las actividades productivas. Los procesos industriales en los que se manejan sustancias peligrosas, inflamables, radioactivas por entre otras, conllevan amenazas que exigen la preparación de planes ante eventuales accidentes y problemas operacionales.

En todos estos y otros acontecimientos, el denominador común fue la afectación de las comunidades que fueron sorprendidas por eventos no deseados, cuya aparición pareciera ser, un suceso inesperado. Es por esto necesario desarrollar en nosotros la capacidad de observación y evaluación constante del entorno donde vivimos e interactuamos, mantener la memoria viva de que estamos sujetos a la probabilidad de ocurrencia de eventos en su mayoría previsibles, para los cuales debemos construir capacidades y así evitar ser víctimas de nuestras eventuales vulnerabilidades.



**Figura 9.4.** Imagen del estallido en abril de 2010 de la plataforma Deepwater Horizont, operada por la empresa BP en el golfo de México, frente a las costas de EE.UU. Se vertieron unos 60.000 barriles diarios por 55 días, cuando después de muchos intentos, el derrame pudo ser controlado. Los daños al ecosistema son incalculables. Fuente de la imagen: [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2010/06/07/album/1275861602\\_910215.html#1275861602\\_910215\\_0000000004](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2010/06/07/album/1275861602_910215.html#1275861602_910215_0000000004)

## El riesgo es un concepto humano

¿Podemos considerar los fenómenos naturales como riesgosos? ¿Cuándo podemos decir que los procesos y fenómenos que ocurren habitualmente –como parte de la dinámica de la Tierra– representan una amenaza? La primera gran idea que queremos plantearte, es la naturaleza humana de la definición del riesgo.

Todos estos fenómenos naturales, como ya hemos visto, se vienen produciendo desde el origen del planeta. En realidad, no se habla de riesgo cuando se presentan fenómenos naturales en zonas que pudieran estar deshabitadas. Sólo cuando las personas y sus actividades se ven o pudieran verse afectadas, se habla de riesgo.

### Riesgos y civilización

Es muy lejana la aparición de la noción de riesgo en la civilización, la necesidad de prever el porvenir y encontrar orientaciones sobre las decisiones y su impacto en el futuro, llevó a los pueblos antiguos a consultar los astros, oráculos y consejeros para conocer qué eventos podrían sobrevenir más adelante. Poco a poco, esta noción de anticipar los eventos ante las incertidumbres que signaban la vida de las personas, dio paso a otras formas de conocer y proyectar lo que estaba por suceder. Así, uno de los cometidos de las ciencias –sean estas

naturales o sociales– no es otro que crear modelos para proyectar y anticipar los cambios y situaciones futuras a partir del conocimiento de los fenómenos. Por tanto, el riesgo y todas sus variables están determinados por los procesos históricos de los grupos humanos.

Para tratar el tema, es importante conocer que los fenómenos que pueden representar riesgo para la población se suceden en el tiempo y el espacio. Lo que queremos decir con esto es que, para poder determinar si un fenómeno conlleva riesgo, es indispensable conocer cuándo, y dónde ocurrirá y, si se produjo un evento semejante en el pasado, cómo fue, dónde ocurrió y qué consecuencias ocasionó. Por lo tanto, la dimensión temporal y la escala espacial son de enorme importancia para la definición de la noción de riesgo.

### Construyendo el concepto de riesgo

Pero hemos venido conversando sobre riesgo, asumiendo que estamos de acuerdo en el significado de este término. Reflexiona por un momento y pregúntate ¿Qué es riesgo? Una cosa es riesgo para las compañías aseguradoras de vehículos; otra muy distinta para los deportistas de disciplinas extremas y otra para los nobles bomberos que arriesgan su vida al salvar la de otras personas.

Para efectos de esta lectura debemos considerar que el **riesgo** es la probabilidad de daños a la vida, bienes o al ambiente, en un momento determinado y lugar particular, siendo el resultado de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Esto quiere decir que cuando nos sintamos amenazados ante la probabilidad de que un suceso se presente, que éste exceda nuestra capacidad de respuesta ante él, y ocasione daños sociales, ambientales y económicos en un lugar dado y durante un tiempo determinado de exposición, podemos afirmar nuestra condición de riesgo.

Pero no siempre estamos en capacidad de anticipar o sentirnos bajo amenaza ante un evento adverso. Al contrario, la mayoría de los accidentes y emergencias suceden por desconocimiento de las personas de estar expuestos a sufrir daños o porque no logran percibir que están ante un probable evento adverso.

Un ejemplo de ello, son las víctimas de la explosión de fuegos artificiales y otros juegos pirotécnicos. Esta es una actividad humana que involucra riesgos, porque la combustión de tales dispositivos es una amenaza potencial. La mayoría de las personas desconoce esta situación. Si a este desconocimiento de la amenaza le sumamos la impericia de quien manipula, que es la vulnerabilidad, entonces, la probabilidad de daños a las personas y las cosas es muy alta, o lo que es lo mismo decir, el riesgo es muy alto.

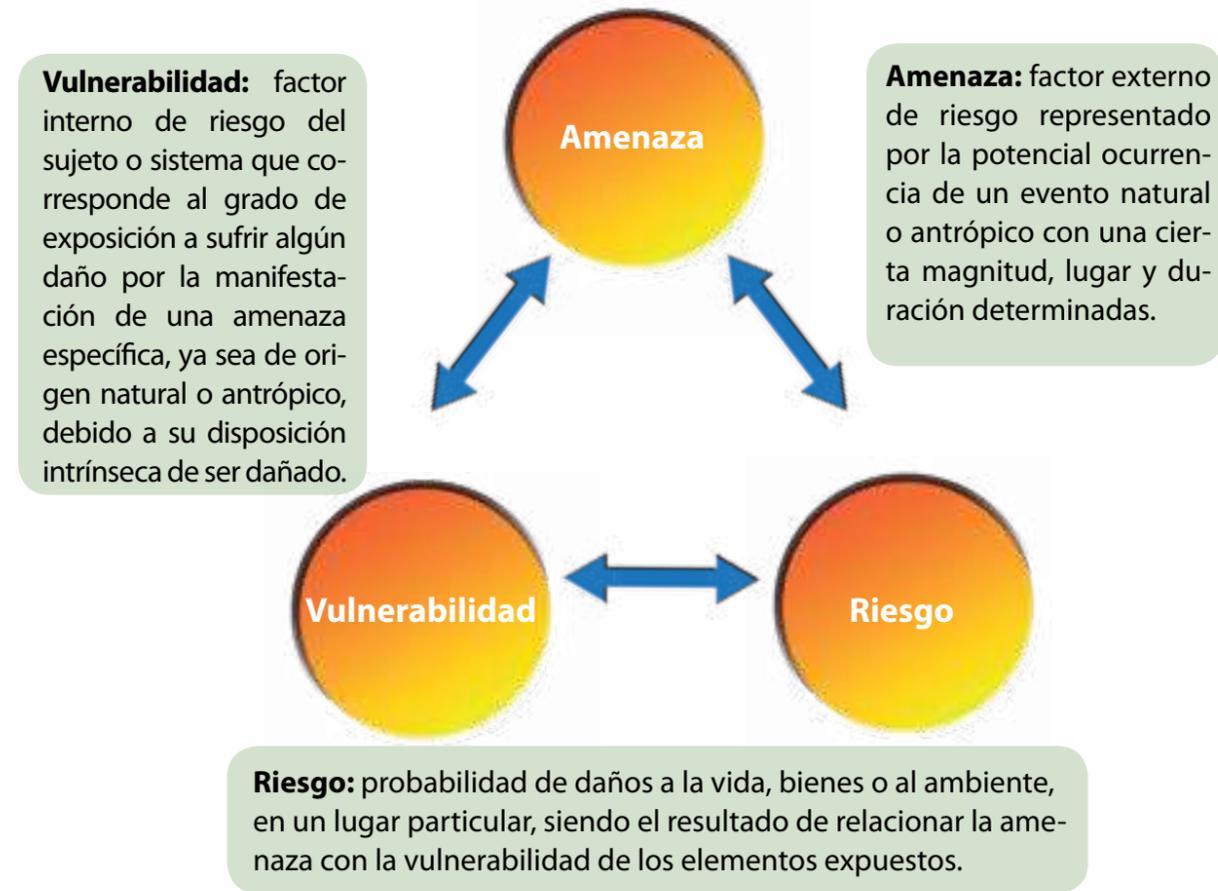
Hasta aquí entonces hemos visto que el riesgo está asociado a las probabilidades de ocurrencia de un evento y para eso debemos conocer dónde reside la amenaza y cuál es nuestra capacidad o vulnerabilidad para enfrentarla. Observa la figura 9.5 donde se representa esta relación.

### Triada riesgo-vulnerabilidad-amenaza

Puede establecerse una clara relación entre estos tres conceptos, puesto que son complementarios. En la medida que uno de ellos disminuya así lo hará el riesgo y viceversa. No obstante, las cosas en la realidad no funcionan tan linealmente, es muy difícil –si no imposible– actuar sobre algunas amenazas y simultáneamente sobre las vulnerabilidades.

Por ejemplo, controlar algunos eventos naturales que originan amenazas, como pueden ser los movimientos sísmicos, hasta el momento no es posible. Sin embargo, es mucho lo que podemos saber sobre esta amenaza sísmica: si son frecuentes en una zona, el rango de magnitudes con las que se presentaron en el pasado y la probabilidad de ocurrencia en el futuro. Con esta información sí estaríamos en capacidad de identificar y actuar sobre las potenciales debilidades y fortalezas para enfrentar un evento adverso similar.

De esta manera estaríamos modificando el factor de la vulnerabilidad, para obtener como resultado la reducción del riesgo. Además, estaríamos fortaleciendo otra noción, de importancia capital para la protección de la vida de las personas, de sus bienes y para el desenvolvimiento social, económico, ambiental y cultural de la sociedad: **Todas y todos estamos expuestos a riesgos, pero todos los riesgos se pueden anticipar.** Si conocemos bien las amenazas a las que estamos expuestos y conocemos nuestras capacidades y vulnerabilidades, estaremos logrando así una **gestión integral de los riesgos** y con ella, la protección de todas y todos.



**Figura 9.5.** El riesgo es una función de la amenaza y de la vulnerabilidad. Algunos autores denotan esta relación como  $RIESGO=AMENAZA + VULNERABILIDAD$ ; otros la indican como  $RIESGO=AMENAZA \times VULNERABILIDAD$ . ¿Qué piensas tú al respecto?

### De la amenaza a la vulnerabilidad

Hasta aquí hemos venido conversando sobre el riesgo y su relación con la amenaza y la vulnerabilidad. Pero veamos qué son las amenazas y cómo se clasifican de acuerdo con el agente o fenómeno que las origina. En la tabla 9.1 se presenta una clasificación de ellas.

Amenaza	
Origen	Fenómenos/ejemplos
Factor externo de riesgo, representado por la potencial ocurrencia de un evento de origen natural o generado por la actividad humana, que pueda causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental.	
<b>Amenazas naturales</b> Amenazas que tienen origen en procesos o fenómenos de la dinámica terrestre que pueden resultar en un evento perjudicial, causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental.	
<b>Amenazas hidrometeorológicas</b> Amenazas de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico, que pueden causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundaciones, flujo de lodo y detritos.</li> <li>• Ciclones tropicales, huracanes, marejadas, vientos, lluvias y otras tormentas y ventiscas severas.</li> <li>• Sequías, temperaturas extremas, tormentas de arena, tifones.</li> <li>• Heladas, avalanchas y aludes de nieve.</li> </ul>
<b>Amenazas geológicas</b> Amenazas de origen terrestre, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos, tsunamis.</li> <li>• Actividad y erupciones volcánicas.</li> <li>• Movimientos de masas, flujos y deslizamientos, subsidencia, desprendimiento de bloques de rocas.</li> <li>• Colapso de estructuras, actividad de fallas geológicas.</li> </ul>
<b>Amenazas biológicas</b> Amenazas de origen orgánico o transportadas por vectores biológicos, incluidas la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brotes de enfermedades epidémicas, pandemias, contagio de animales y plantas.</li> <li>• Proliferación de vectores portadores de enfermedades.</li> </ul>

### Amenazas tecnológicas

Amenazas antrópicas originadas por accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructuras, o de ciertas actividades humanas que pueden resultar en un evento perjudicial y causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental. Ejemplos: contaminación industrial, actividades nucleares y radiactividad, desechos tóxicos, accidentes de transporte terrestre, aéreo o acuático, explosiones, derrames, entre otros accidentes industriales o tecnológicos.

### Amenazas inducidas o concatenadas

Amenazas antrópicas que favorecen la activación de un proceso natural que resulta en un evento perjudicial y causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de actividades sociales, económicas o degradación ambiental. Ejemplos: obras de carreteras que ocasionan el deslizamiento del terreno; o la construcción de represas que ocasionan inundaciones tras lluvias extraordinarias.

### Degradación ambiental

Disminución de la capacidad del ambiente para responder a necesidades y objetivos sociales, culturales, económico-productivos y ecológicos. De efectos potenciales variados que contribuyen al incremento de la vulnerabilidad, frecuencia e intensidad de las amenazas. Ejemplos: degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad, contaminación atmosférica, terrestre y acuática, explotación irracional de recursos, entre otros.

**Tabla 9.1.** Las amenazas, su clasificación y el impacto ambiental.  
Adaptación del documento "Vivir con el riesgo" EIRD (2004).

Es muy importante que sepas reconocer que los fenómenos en sí mismos no son las amenazas. Éstas residen en la eventual posibilidad de que dichos fenómenos o procesos, al producirse, lleguen a provocar daños. Así que para poder comprender el significado de las amenazas, se precisa conocer la enorme variedad de fenómenos naturales y asociados a las actividades humanas que tienen lugar en el planeta en la localidad y región donde vivimos. En consecuencia, así como la Tierra es un sistema dinámico que se mantiene activo y en interacción permanente, así pues, las amenazas también son dinámicas, sus eventuales impactos son diversos y su magnitud, frecuencia e intensidad también lo son.

## De la anticipación a la mitigación

Otro aspecto de significación relacionado con las amenazas, es que prácticamente todas pueden anticiparse. **Anticipación** significa que la ocurrencia de un evento adverso se puede establecer con un cierto grado de certidumbre, en la medida en que se conozcan la ocurrencia, tendencias y frecuencias de otros fenómenos semejantes en un área determinada. Por ejemplo, si observas nuevamente la figura 9.2, verás que hay dos ciudades en Venezuela en las que existen registros de por lo menos 5 terremotos en cada una de ellas, ¿Sabes a qué ciudades nos estamos refiriendo? Estos datos, aunque no permiten saber con exactitud cuándo llegará a producirse un nuevo evento sísmico, nos informa muy claramente de la situación de riesgo sísmico que tienen ambas urbes. **Si las amenazas se pueden prever, entonces los riesgos se pueden anticipar para evitar que se conviertan en desastres.**

Ahora bien, ¿cuándo una amenaza puede conducir a un desastre? Si bien es cierto que las amenazas en su mayoría no se pueden evitar porque su origen no está bajo nuestro control, los desastres, por su parte, sí pueden llegar a ser evitados, reducido su riesgo y minimizado su impacto. ¿Por qué? Porque un **desastre** es todo aquel evento violento, repentino y no deseado, capaz de producir grandes daños materiales y numerosas pérdidas de vidas humanas, que sobrepasa la capacidad de respuesta de los organismos de atención primaria o de emergencia para atender eficazmente sus consecuencias. Es por ello que si se toman medidas preventivas y de protección, conocidas las amenazas a las que estamos expuestos, y los organismos de atención se encuentran preparados para responder con eficacia a un determinado evento repentino pero previsto, entonces la posibilidad de un desastre será menor que si esas acciones no se hubiesen emprendido.

Veamos un ejemplo de esto. Japón (país con amenazas latentes de sismos de magnitud considerable y actividad volcánica) sufrió el 11 de marzo de 2011 un terremoto de magnitud 9 MW seguido de un tsunami con olas de más de 40 m de altura que destruyeron todo a su paso. Se trataba evidentemente de un desastre. Pero habría que preguntarse: ¿cuál hubiese sido la magnitud del desastre si su población no estuviese preparada –como lo está– para este tipo de eventos? ¿Qué hubiese pasado si las poblaciones litorales no tuviesen los muros de contención de oleaje que tienen, o si las edificaciones no fueran hechas con materiales y técnicas sismorresistentes? La respuesta sin dudas es que estaríamos frente a una de las mayores catástrofes de la historia y aunque algunas amenazas no se pueden evitar, los desastres se pueden reducir.

Otra interesante enseñanza del terremoto y posterior tsunami de Japón 2011, es el hecho de que las amenazas no siempre vienen solas o aisladas. Si bien es cierto que la asociación entre sismos y maremotos es ya conocida, hubo otro lamentable evento de origen tecnológico. Fue el daño a las instalaciones de las centrales nucleares y una cadena de accidentes, incendios y explosiones, hasta la fusión de núcleo del reactor y el vertido de líquido radiactivo hacia el mar. Estas emisiones al mar y al aire no han podido ser controladas del todo, y se refiere que desde el evento se han producido al menos tres roturas y fugas de agua radiactiva hacia el mar.



**Figura 9.6.** Central nuclear de Fukushima en Japón, siniestrada luego del terremoto de marzo de 2011.

Este lamentable siniestro nos enseñó que deben implementarse medidas de seguridad más estrictas en el diseño y construcción de las centrales en sitios con riesgo sísmico. También se ha generado una polémica muy profunda acerca del uso de la energía nuclear y la amenaza que representa.

En nuestro país, el accidente nuclear de Fukushima trajo consecuencias importantes: el programa nuclear que se venía estudiando para ser implementado, con fines de generación de energía y otros usos no bélicos, fue suspendido. Así, nos hemos evitado el riesgo de un desastre nuclear, usando un razonamiento válido: ante la duda, es mejor actuar con cautela. Venezuela es un país sísmico al igual que Japón, tener centrales nucleares convencionales como Fukushima en Venezuela es tan riesgoso como tenerlas en Japón.

## Algunos factores que condicionan la vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** es todo aquel factor de riesgo interno del sujeto o sistema, que se corresponde con el grado de exposición a sufrir algún daño por la manifestación de una amenaza específica, ya sea de origen natural o antrópico, debido a su disposición intrínseca de ser dañado. En el caso específico del ejemplo de la catástrofe de Fukushima, en primera instancia, las vulnerabilidades estaban en los sistemas de refrigeración y en las instalaciones de los reactores nucleares, también estaban en los trabajadores de la central y en los habitantes de 30 km a la redonda, todos expuestos a la radiación. ¿Sabes qué y quiénes son vulnerables en una segunda instancia? Para que te des una idea de la respuesta a esta interrogante, podemos decirte que a los días del accidente, el agua potable de Tokio, a 250 km de allí, tenía niveles elevados por encima del rango normal de yodo radiactivo y se detectaron altos niveles en la atmósfera de España y Finlandia (a miles de kilómetros de Japón).

Así, el riesgo se intensifica y profundiza en condiciones de mayor vulnerabilidad. Ésta es un reflejo de las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales de las personas, instalaciones o sistemas, expuestos a las amenazas y por tanto a los riesgos.



**Figura 9.7.** Algunos factores condicionantes de las vulnerabilidades. Otros no señalados serían de índole cultural, psicológica y educativa (individuales y colectivos) de los sujetos y los correspondientes a las dimensiones institucional, jurídica y política de los sistemas expuestos a riesgo.

Las vulnerabilidades son dinámicas al igual que las amenazas. Se construyen permanentemente porque son influenciadas por una serie de factores que son internos de las personas y sistemas, como lo son las pautas de conducta, las creencias, la cultura y los modos de ver la realidad y producir respuestas para transformarla. Por tanto están determinadas social e históricamente, como lo está la sociedad portadora de tales vulnerabilidades. Para ejemplificar un poco esta idea, pongamos el caso de la creencia de que las catástrofes son inevitables y de llegar a una situación adversa se verá qué hacer.

Esta forma de pensar parece estar asociada a una visión fatalista, culturalmente arraigada, que además va acompañada de un escaso nivel educativo y una forma de actuación que no toma en cuenta la planificación como modo de anticipar las acciones. Esto configura una vulnerabilidad para aquellas personas que se comporten de ese modo frente a los riesgos.

Desde luego, no queremos decir con esto que las vulnerabilidades son inherentes y de exclusiva responsabilidad de las personas en lo individual. No, como hemos dicho antes se trata de vulnerabilidades que se producen como parte de un proceso que es necesario develar.

Factores de la vulnerabilidad	Descripción
<b>Físicos</b>	Se asocian con las condiciones de la infraestructura, los materiales y técnicas de construcción. También implican otros rasgos relacionados con la ubicación de la población, su densidad, acceso a servicios, condiciones de sus viviendas, su movilidad, entre otros.
<b>Sociales</b>	Comprende aspectos relacionados con el nivel educativo, condiciones sanitarias, inclusión social, participación y organización comunitaria, asuntos de equidad de género, diversidad cultural, lingüística y étnica, entre otros.
<b>Económicos</b>	Se refiere tanto a las condiciones económicas de la población como a las de la sociedad y el Estado nacional. Son decisivas a la hora de enfrentar eventos adversos y su recuperación posterior.
<b>Ambientales</b>	Representan el grado de degradación de recursos naturales y ecosistemas para recuperarse de un fenómeno que lo impacta.

**Tabla 9.2.** Descripción de algunos factores que condicionan la vulnerabilidad de sujetos y sistemas.

Si somos conscientes de estas situaciones y desarrollamos estrategias deliberadas para encontrar y explicar las causas de las vulnerabilidades, estaremos en condiciones de poder construir capacidades.

## De las capacidades a la resiliencia

Las **capacidades** representan las formas de encarar y asumir las adversidades. Son susceptibles de ser desarrolladas, pues el conocimiento y la evaluación de los riesgos están relacionados con la manera en que puedan seleccionarse las opciones disponibles para enfrentar un evento no deseado.

El reconocimiento del riesgo, en sí mismo, es una capacidad porque prepara y dispone a adoptar actitudes y prever impactos adversos. Por tanto, las capacidades son un factor clave en la gestión del riesgo.

Por su parte, los factores de las vulnerabilidades, como el nivel socioeconómico, el educativo y el cultural, son también condicionantes de las capacidades, pues ellos inciden en la manera como las personas y las instituciones hacen uso de sus recursos materiales y no materiales para enfrentar las amenazas y para recuperarse de un evento en el que se haya podido concretar una amenaza. De allí, surge otro concepto muy importante para la gestión de riesgos que se conoce como **resiliencia**. Ella representa la capacidad de un sistema, comunidad, sociedad o persona en condición de riesgo, a adaptarse a una situación adversa resistiendo

y/o cambiando su forma de vida con el fin de alcanzar y mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura. Si eliges un ejemplo de cualquier evento adverso, ¿podrías aplicar este concepto? Pongamos por caso, el terremoto de Haití de 2010 que seguramente recuerdas ¿Cuál es tu opinión acerca de la resiliencia y las capacidades de la población y de las instituciones? Para poder evaluar tales aspectos, se requiere de información y estar conscientes de que ambos también están determinados por procesos históricos y sociales. Es aquí donde cobra particular relevancia la gestión integral de los riesgos que vamos a ver en el siguiente apartado.

## Gestión integral del riesgo

Mundialmente existe consenso acerca de la importancia de sensibilizar y educar a la población con el fin de fortalecer una cultura de prevención basada en la Gestión Integral del Riesgo, en donde la protección individual y colectiva sea un valor indispensable para la vida, y a su vez sirva de herramienta para dar respuesta a la planificación y desarrollo en todos los ámbitos.

La **gestión integral del riesgo** exige la integración de esfuerzos en forma sistemática, para garantizar que se tomen las medidas a todos los niveles, desde el Estado hasta las comunidades y cada núcleo familiar, destinadas a asegurar aquellas capacidades que permitan reducir al máximo los riesgos y potenciales efectos adversos de fenómenos de origen natural, antrópico o ambos concatenados. El desafío es lograr la articulación necesaria de todas estas instancias para lograr la reducción de los desastres y una verdadera cultura preventiva en toda la población.

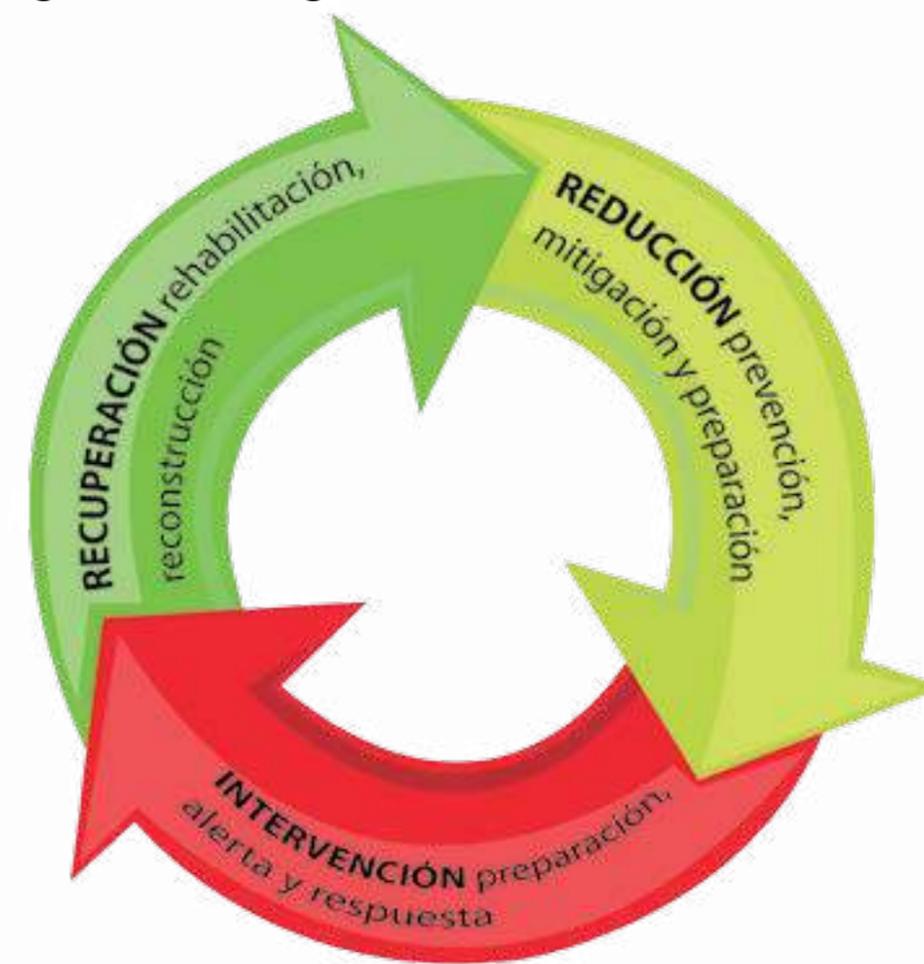
### Para saber más...

En nuestro país tenemos la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, aprobada en 2009, cuyo objeto es conformar y regular esta materia, estableciendo los principios y lineamientos que orientan la política nacional hacia la armónica ejecución de las competencias de los poderes públicos, los planes y acciones a desarrollar por los órganos del Estado y los particulares, para prevenir o evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, atendiendo a sus realidades particulares.

En el marco de la Ley de Gestión Integral de Riesgos, es indudable el papel de la educación de todas las personas sin distinción de ninguna índole para prevenir o evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, atendiendo a sus realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales y económicas. En las situaciones de emergencias y desastres, la educación hace posible la protección física, psicosocial y cognitiva que puede salvar y mantener vidas. Las acciones educativas previas, paralelas y posteriores a los eventos adversos de origen natural o antrópicos suministran a las personas, las familias y las comunidades, la estabilidad necesaria tanto en el plano psicosocial como socioeconómico.

La restauración de las labores educativas después de una emergencia, proporciona a la niñez, adolescencia y la población afectada en general, una sensación de restablecimiento de la vida en comunidad, facilitando el proceso de recuperación emocional y social posterior a las situaciones traumáticas producidas por los eventos de origen natural y antrópicos.

## Ciclo de gestión de riesgos



**Figura 9.8.** Diagrama del ciclo de gestión de riesgos, mediante el cual se establecen las grandes áreas de acción sobre las cuales se interviene para garantizar las labores de reducción, intervención y recuperación ante eventos adversos de origen socionatural o tecnológico.

El ciclo de gestión integral de riesgos se entiende como el proceso continuo y sistemático para la planificación, organización, dirección y control de las acciones encaminadas a la reducción, intervención, manejo de desastres y recuperación de eventos ya sucedidos.

En la siguiente tabla 9.3 se indica el significado de cada una de las fases del ciclo de gestión de riesgos. Es muy importante que observes que dichas etapas no son lineales, sino que se trata de acciones concurrentes que se pueden y deben realizar en forma simultánea para garantizar el objetivo primordial de salvaguardar la vida de las personas, la protección de los recursos materiales y la reconstrucción de las actividades que pudieran haber sido afectadas en un evento adverso.



Tabla 9.3. Etapas del ciclo de gestión integral del riesgo.

## ¿Cómo podemos participar en la gestión integral de riesgos?

La preparación ante las situaciones adversas es un derecho de todas y todos. Garantizar este derecho permite la consecución del desarrollo pleno de las personas y su integración a la sociedad como ciudadanas y ciudadanos útiles al país. Por lo tanto tenemos el derecho y el deber de participar en la gestión integral de riesgos. En la figura 9.9, se presentan las acciones básicas que podemos emprender de forma inmediata.



Figura 9.9. Acciones para la participación en la gestión de riesgos.

Como puedes apreciar, todas estas acciones son factibles de realizar en las comunidades con una dosis de disposición por aprender, junto a la motivación que representa el objetivo de reducir o eliminar los riesgos a los que estamos expuestos. Estas acciones conducen a mitigar el impacto de los eventos adversos que podrían sobrevenir y a proteger a la población, servicios, áreas y estructuras particularmente vulnerables, mediante la previsión de respuestas oportunas. Se trata de una manera de ir desarrollando capacidades en la gente, para enfrentar en la forma más eficiente y armónica, la aparición de eventos no deseados, pero sí anticipados previamente.

Una de las formas como tú puedes participar en la gestión de riesgos, como estudiante de Ciencias de la Tierra, es entre muchas otras, en la elaboración de los mapas de riesgos comunitarios. Para ello te sugerimos realizar al menos los siguientes pasos y recabar las informaciones básicas que te permitirán elaborar un mapa de riesgos.

La información básica que debes incluir en la elaboración del mapa es la siguiente:



Figura 9.10. Elementos necesarios en mapas de riesgos.

Toda esta información se verificará en la comunidad, en el campo, y se colocará sobre croquis o mapas sencillos donde puedas priorizar la información. Recuerda que si hay demasiada información a la vez, esto puede convertirse en una restricción para identificar claramente los riesgos. Con lo cual, te recomendamos que puedes hacer mapas temáticos para las amenazas, las vulnerabilidades y las capacidades y luego podrías obtener un mapa síntesis de riesgo. En la figura 9.11 se resume el proceso de elaboración de los mapas en tres pasos.

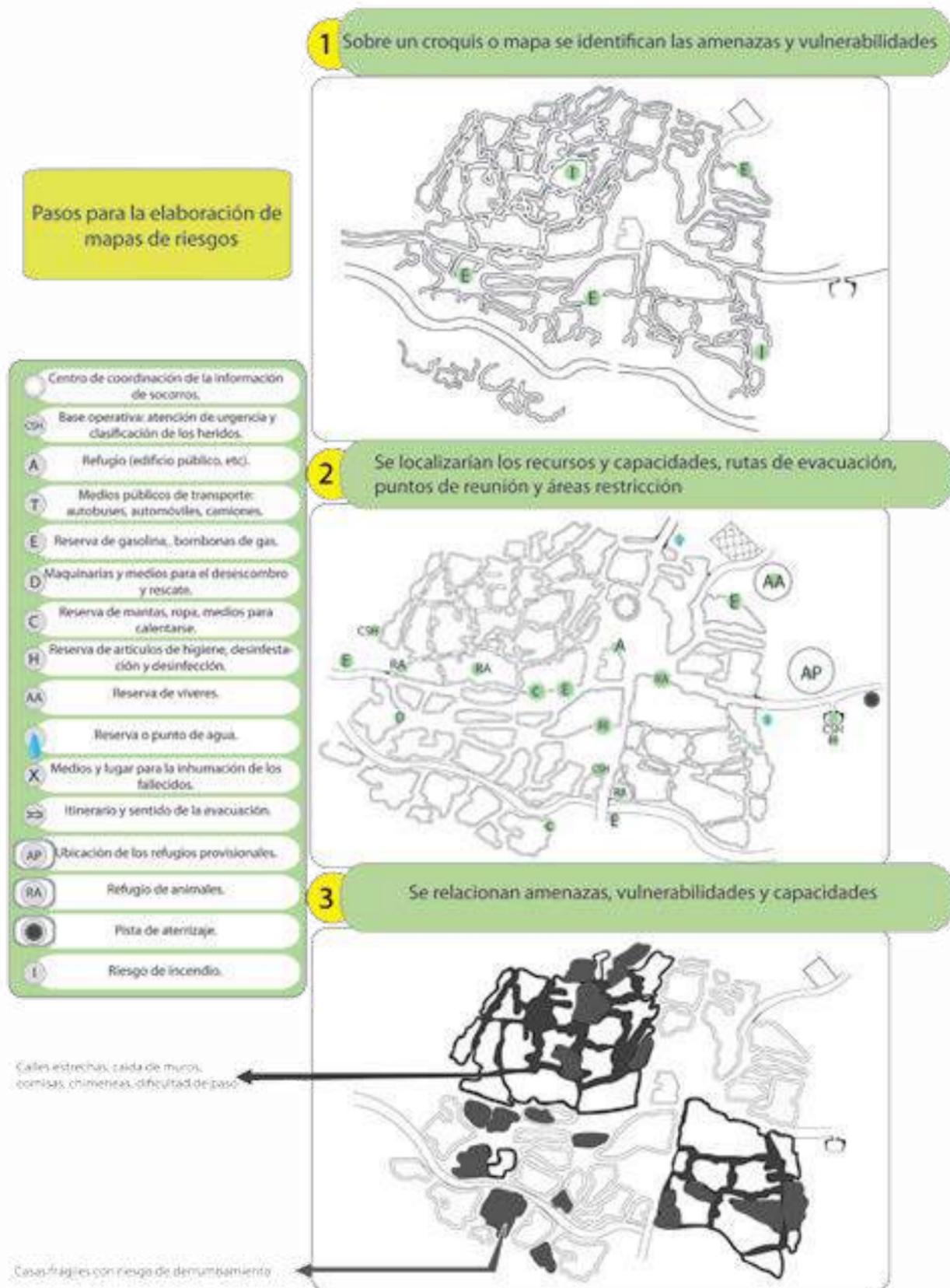


Figura 9.11. Pasos para elaborar mapas de riesgos.

## Las amenazas en nuestro país

Como te puedes haber dado cuenta, nuestro país no está exento de enfrentar amenazas, tampoco podemos decir que se encuentre libre de vulnerabilidades. Aunque nuestras capacidades existen y se está en el camino de incrementarlas, el trabajo por hacer aún es inmenso. Venezuela, como el resto del mundo, está expuesta a riesgos de muy diverso origen. Veamos cuáles de ellos son los de mayor incidencia en la figura 9.12.



Figura 9.12. Principales riesgos en Venezuela. Fuente DNPAC.

En la figura se pueden observar los diferentes factores que generan riesgo en Venezuela. Se indican los riesgos geológicos (vinculados a los procesos sísmicos, erosivos y movimientos de masas), los riesgos hidrometeorológicos (lluvias torrenciales, vaguadas y huracanes), riesgos oceánicos (tsunamis, mar de fondo, incremento del nivel del mar), riesgos forestales (incendios forestales, deforestación y desertificación), riesgos sanitarios (endemias, vectores de enfermedades y disposición de desechos y vertederos), tecnológicos (eléctricos, químicos, radiológicos, industriales, laborales, infraestructura y de construcción). Conocer bien estas amenazas, puede ayudar a la preparación para enfrentar estos riesgos, reduciendo al mínimo la pérdida de vidas, los daños al ambiente y a los bienes, y atendiendo las vulnerabilidades que se puedan detectar frente a la probabilidad de un evento adverso.

Conocidas las eventuales amenazas a las que nos encontramos expuestos, es necesario profundizar el análisis de cada una de ellas. En nuestro país tenemos una serie de organismos encargados de monitorear, vigilar y atender las situaciones relacionadas con estas amenazas, que producen información permanente de conocimiento y acceso libre para toda la población. A continuación te ponemos algunos ejemplos extraídos de Funvisis y de Inameh. El primero, está encargado de proporcionar las referencias de los sismos registrados históricamente en las zonas consideradas como vulnerables, datos geofísicos y sismológicos, y divulgar conocimientos para la prevención en esta área de indudable riesgo en Venezuela. Por su parte, Inameh regula y coordina las actividades en el campo de la hidrometeorología y la divulgación de información relacionada, de forma confiable y segura. Veamos entonces los ejemplos.

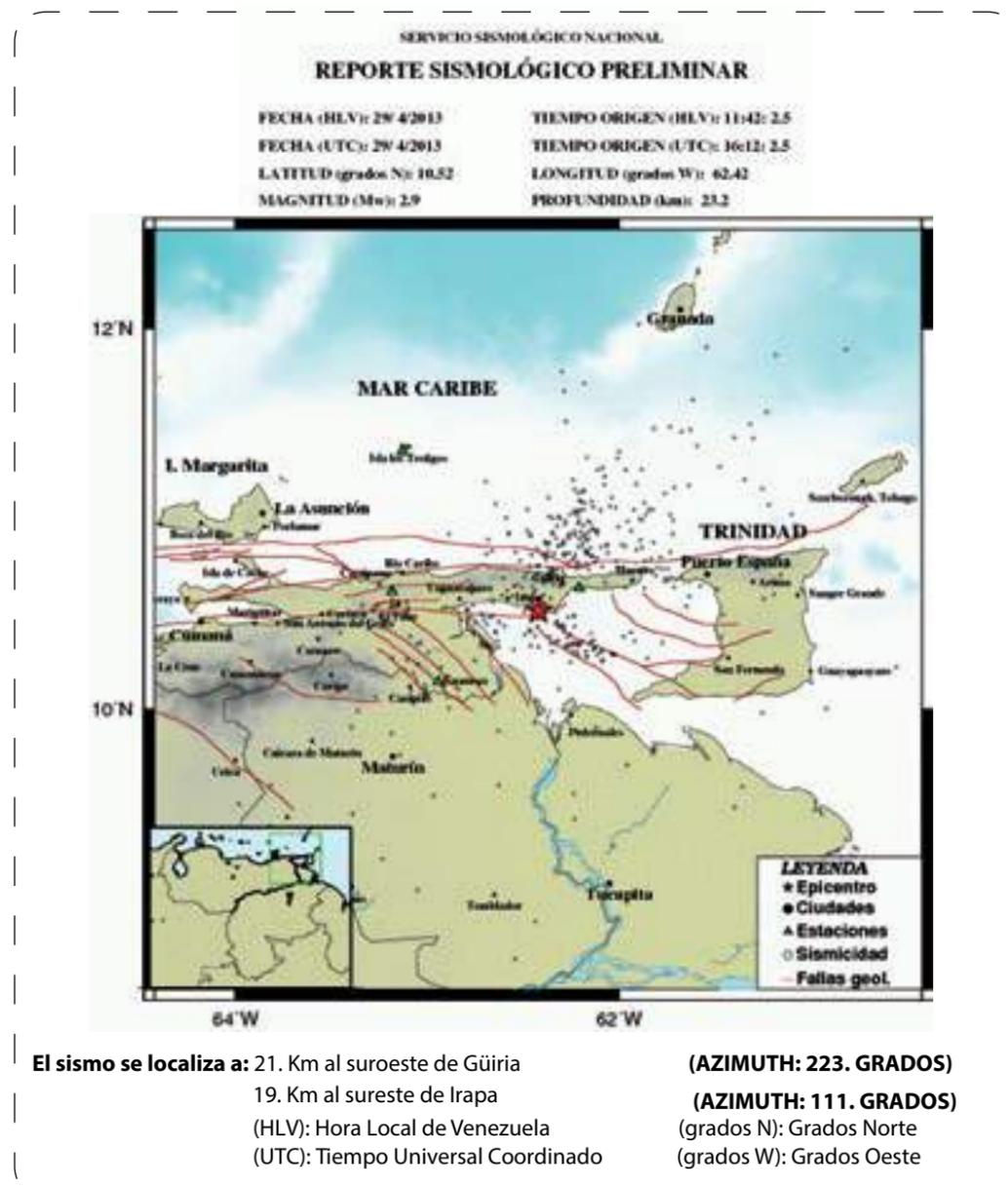


Figura 9.13. Informe preliminar de sismicidad reciente, en el que se indican datos sobre fecha, hora de ocurrencia, la localización y otros datos de interés. Esta información puede ser consultada en <http://www.funvisis.gob.ve>

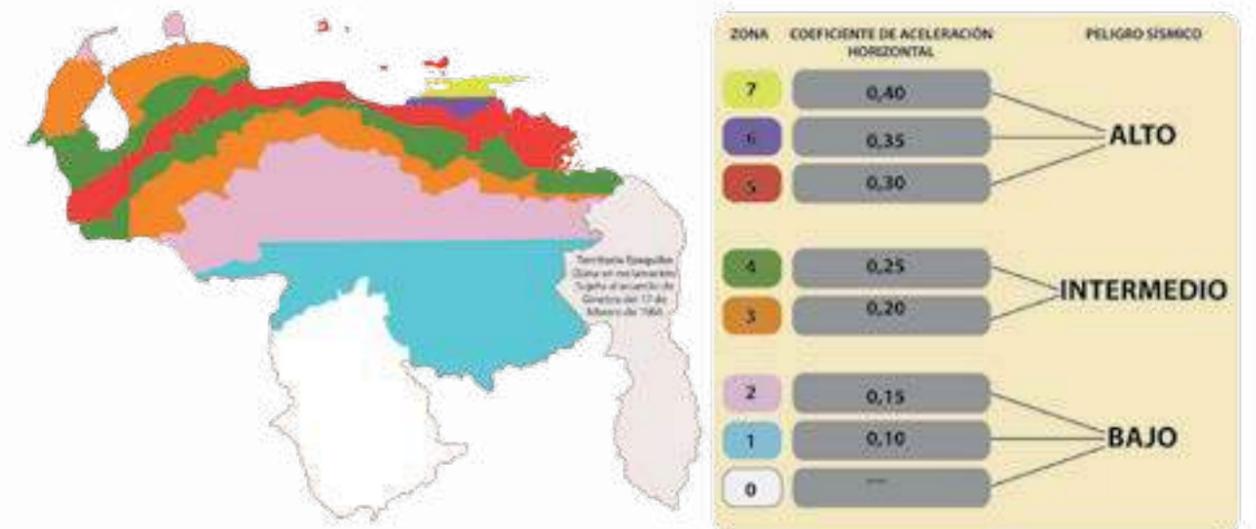


Figura 9.14. Zonificación Sísmica de Venezuela, según Covenin 1756-2001. Fuente: [http://www.funvisis.gob.ve/archivos/mapas/norma1756\\_2001.jpg](http://www.funvisis.gob.ve/archivos/mapas/norma1756_2001.jpg)

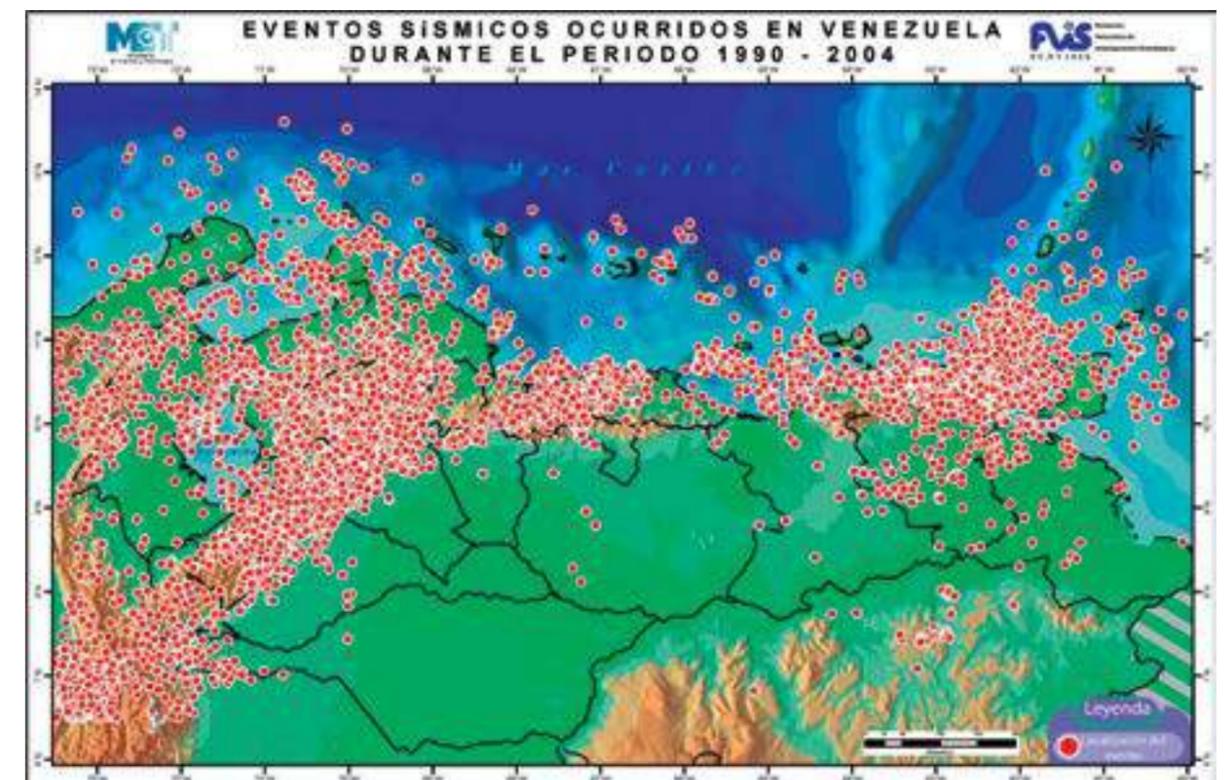


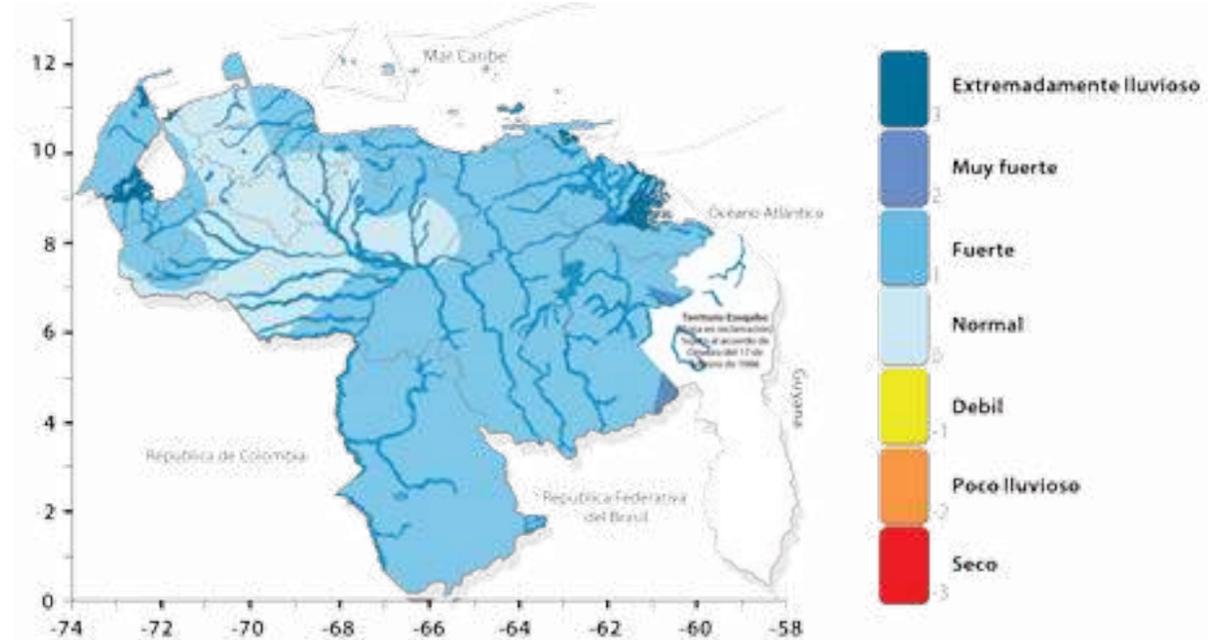
Figura 9.15. Mapa síntesis de los eventos sísmicos ocurridos en el período (1990-2004) donde puede apreciarse claramente las entidades federales más expuestas a esta amenaza.

Con esta información y otra muy valiosa que puedes obtener en este organismo, será posible preparar las actividades asociadas a los proyectos de gestión de riesgos que se emprendan en tu comunidad.

Ahora veamos qué puedes encontrar sobre los eventos hidrometeorológicos en Inameh. Además del pronóstico diario del tiempo meteorológico previsto para todo el territorio nacional, hay mucha información útil para anticipar las condiciones hidrometeorológicas futuras. En las figuras 9.16 y 9.17 puedes observar algunas de ellas.



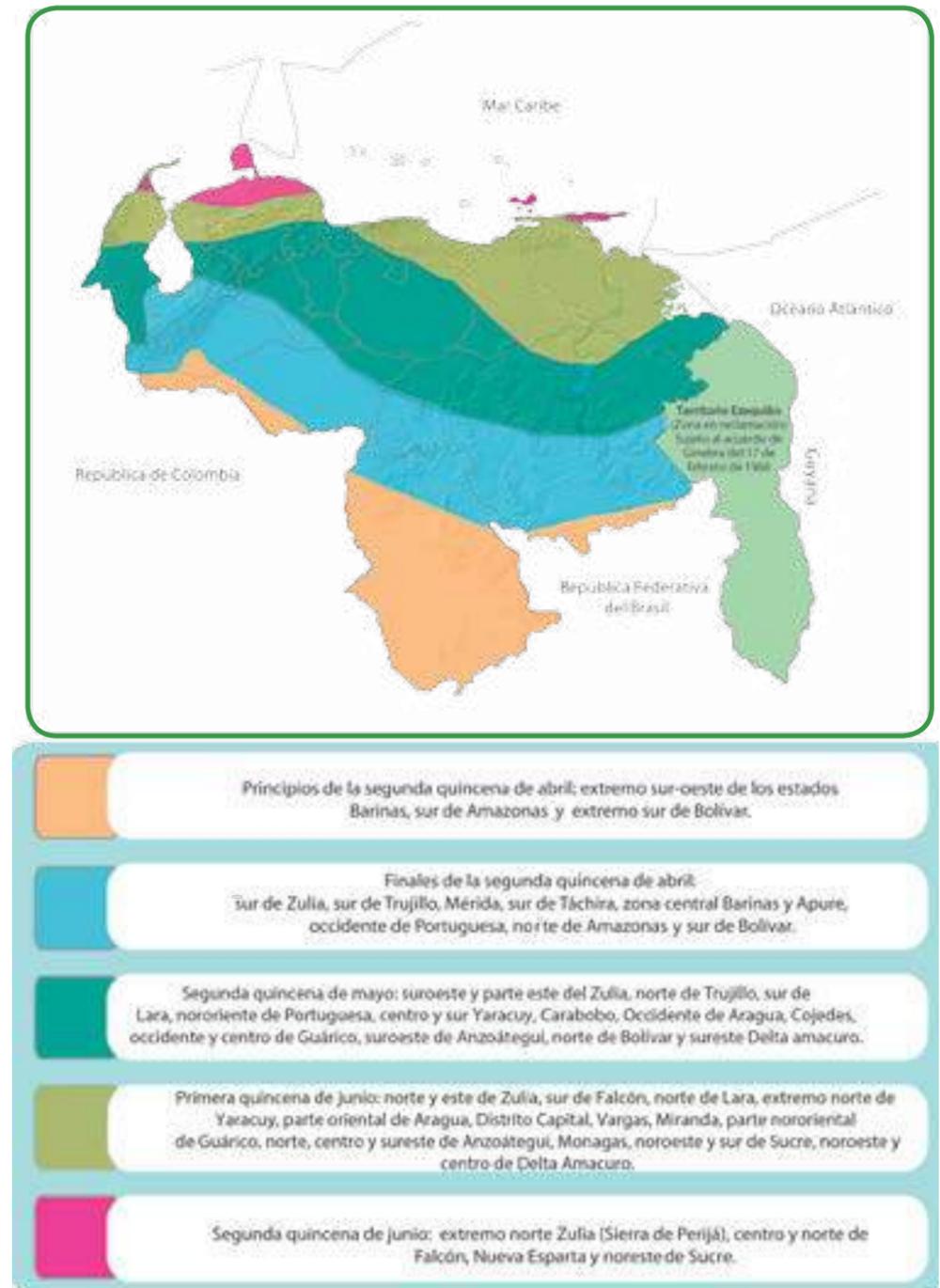
**Figura 9.16.** Seguimiento de las perturbaciones atmosféricas. Semana del 8 de noviembre 2010. Hemos escogido esta imagen porque capta las perturbaciones causantes de recientes situaciones de emergencia en nuestro país. Se aprecia del recorrido el huracán (1) "Tomas" debilitándose, progresivamente, hasta convertirse en baja presión el día 7/11/2010 a unas 500 millas al sur – suroeste de Bermuda.



Características de la precipitación durante la temporada lluviosa (mayo - octubre) 2012 según método de Cuevas.

**Figura 9.17.** Otra información relevante. Pronóstico de la temporada de lluvias para cada año. En este caso corresponde al año 2012. Fuente: Inameh.

Esta estimación de precipitaciones para el territorio nacional empleando el índice de Invierno (Método de Cuevas) es de enorme importancia porque permite prever la ocurrencia de precipitaciones entre normales a excesos y eventuales sequías, ambos factores de singular interés para la gestión de riesgos. Por ejemplo, en este caso, el pronóstico previó un escenario para el año 2012 de excesos de precipitaciones durante el período mayo–julio, lo cual efectivamente se produjo, comprobándose lo pronosticado..



**Figura 9.18.** Mapa del inicio de la temporada de lluvias año 2012 para las diferentes entidades federales. Información necesaria para tomar las previsiones relacionadas con eventuales crecidas de caudales, las fechas de inicio de recuperación de embalses y otros reservorios de aguas así como para otras actividades socioproductivas vinculadas al calendario de lluvias y sequías.

Para finalizar, incorporamos en las figuras 9.19 y 9.20 información que está asociada a la distribución poblacional de nuestro país, que se configura en una vulnerabilidad, en tanto dicha población está concentrada en el cinturón costa-montaña, área donde se presentan las amenazas de origen geológico e hidrometeorológica.

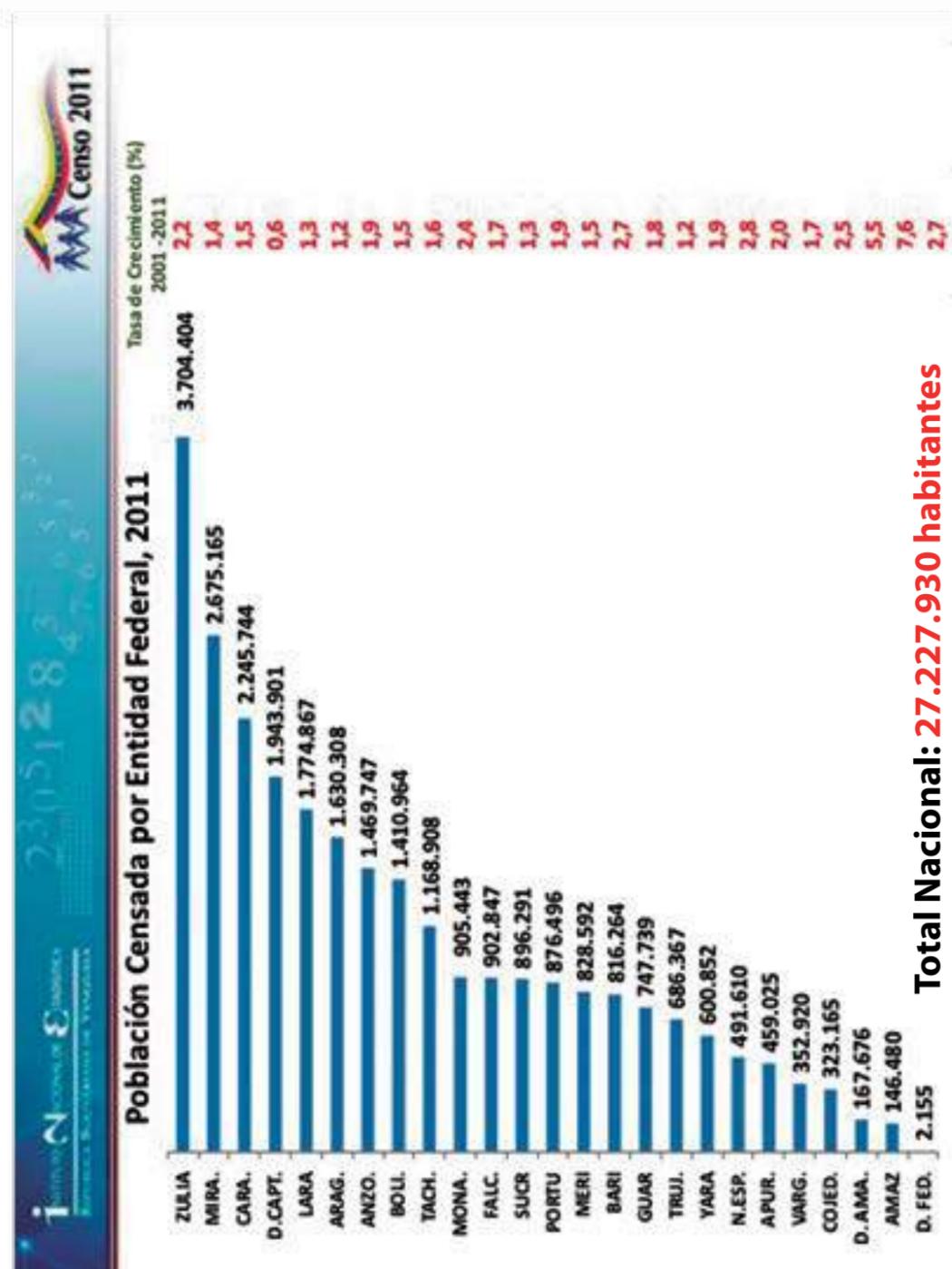


Figura 9.19. Datos estadísticos aportados por el Censo 2011. La población se concentra mayoritariamente en las entidades federales ubicadas en el corredor centro norte costero y la región andina.

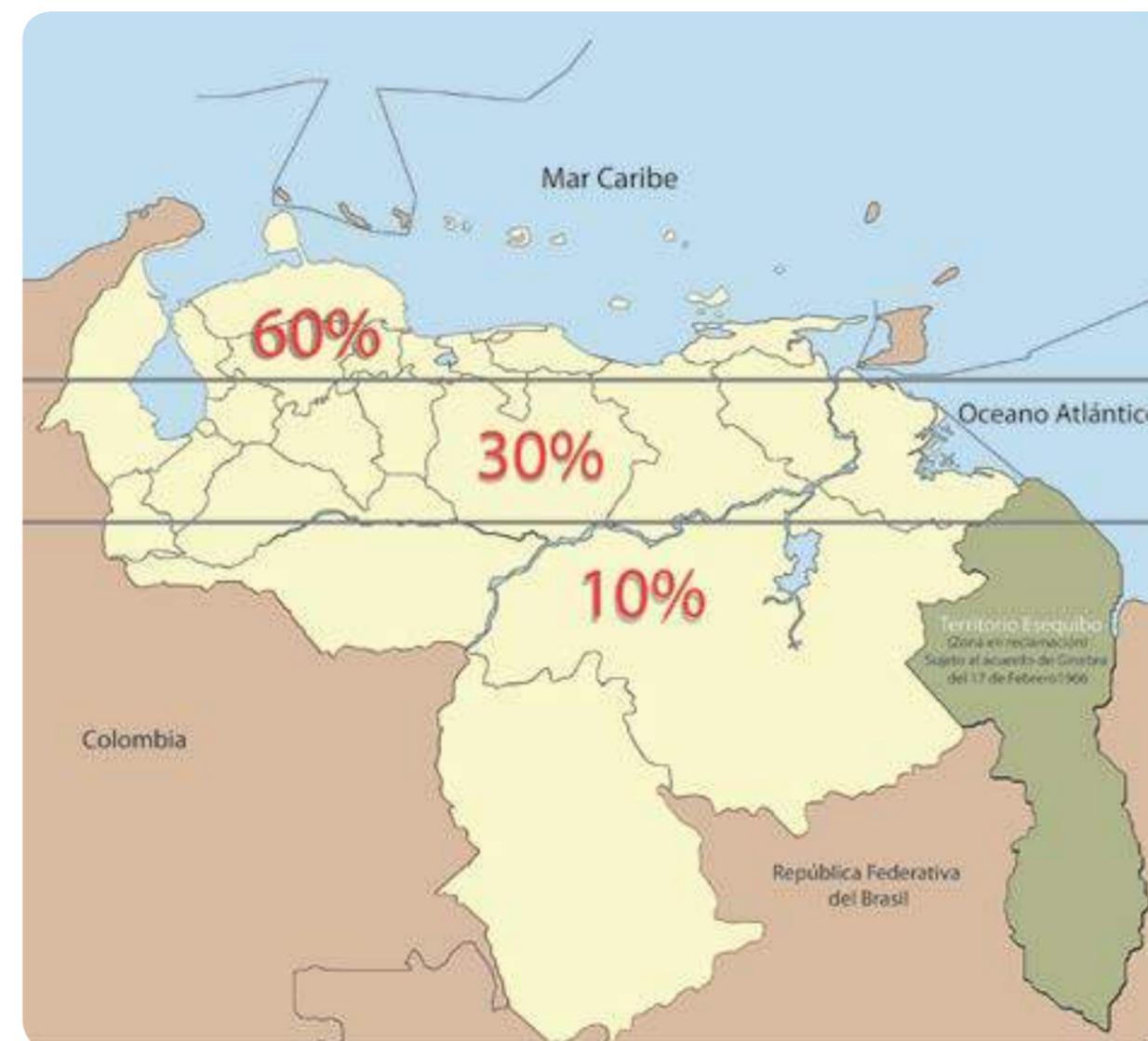


Figura 9.20. Distribución porcentual de la población en el territorio venezolano. Observa que el 90% de la población se ubica en la franja norte del país. Mapa realizado con base en los datos del censo de 2001.

Como puedes observar en la figura 9.20 la población se concentra mayoritariamente (60%) en la zona norte costera, el 30% en la zona central y sólo un 10% en la zona sur del país, con lo cual puede afirmarse que el 90% de la población se encuentra emplazada en el cinturón costa montaña y en la región de los Llanos altos occidentales, centrales y orientales, lo que equivale a una superficie del 50% del área territorial. Este comportamiento demográfico, se corresponde con el emplazamiento del aparato económico y productivo, así como la infraestructura de servicios.

Ahora bien, conocida esta característica forma de ocupación territorial y sabiendo qué ocurre en relación con las amenazas que existen sobre el territorio venezolano, estaremos en capacidad de comprender la urgente e inaplazable necesidad de incorporarnos en las acciones y medidas con visión integral de la variable riesgo que se desarrollan en nuestro país. Te invitamos a asumir este compromiso.



## Vamos a construir un mapa de riesgos de una localidad

### ¿Quiénes lo harán?

Con la participación de todos los estudiantes del curso, así como sus profesoras y profesores de la institución, pues exige la integración de varias disciplinas, desde la historia del lugar, pasando por la geografía humana y física del mismo, características geológicas, edafológicas, biológicas, las obras de infraestructura, área comercial, de salud, entre otras, que puedan nutrir el trabajo.

### ¿Cómo lo harán?

De acuerdo con las experiencias que el colectivo tenga en el diseño de mapas, pueden hacer los croquis ustedes mismos, o apoyarse en mapas disponibles en portales institucionales como el del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) o en el Instituto Nacional de Estadística (INE).

- Preparen un inventario de elementos de riesgos y recursos en su comunidad e institución educativa.
- Incorporen la información que anexamos en la lectura relacionada con las amenazas sísmicas e hidrometeorológicas y datos demográficos clasifiquen las amenazas halladas en naturales y estructurales.
- Busquen el instrumento denominado Matriz de Evaluación para Instituciones Educativas de FEDE y evalúen su escuela conforme a los criterios allí señalados. Identifiquen cada sector utilizando los íconos y colores más apropiados para identificar riesgos y recursos disponibles.
- Elaboren el diseño final del Mapa Comunitario de Riesgos y Recursos de la zona de trabajo.
- Presenten los resultados y aportes de la investigación a la comunidad educativa, para el posterior desarrollo de nuevas investigaciones.

### ¿Qué necesitarán?

Requieren materialmente de todo aquello que ayude a la construcción del mapa: Mapas topográficos, estructurales, cartas y planos de la edificación entre otros.

Libreta de campo, cámaras, brújula (de ser posible), bolsitas plásticas para toma de muestras (de ser necesario).

Una vez se tengan todos los insumos, realizar jornadas de trabajo por sectores, es decir, seccionar el área de acuerdo con cada criterio temático histórico, población, accesos, estructural, geológicos, hidrológico, riesgos de incendios, derrumbes, sismos, delincuencia, entre otros.

Se elaboran cada uno por separado, luego se integran con la leyenda acordada y se coloca en sitio visible para que todos sepan los recursos y riesgos a los que se someten diariamente. Conociendo, controlan las variables y la resiliencia es mayor.



## Actividades de autoevaluación

1.-Elabora un cuadro resumen donde señales al menos tres riesgos a los que está sometida Venezuela y establece algunas de las características y consecuencias de los mismos.

Riesgo	Características	Consecuencias

Busca información sobre medidas de prevención y mitigación de estos riesgos, realizadas por los entes del poder público en tu comunidad.

2.-¿Cuál es la diferencia entre riesgo, vulnerabilidad y amenaza? Aplica los conceptos a partir de un ejemplo real de un fenómeno adverso de tu elección.

Conceptos comparados	Diferencias	Semejanzas
Vulnerabilidad - Amenaza		
Vulnerabilidad - Riesgo		
Amenaza - Riesgo		

3.- De acuerdo con la clasificación de las amenazas, selecciona ejemplos reales de eventos adversos que se hayan presentado en nuestro país y explícalos brevemente. Señala sus causas, características y consecuencias. Identifica las acciones de recuperación que se hayan emprendido en cada uno de los casos y las acciones de preparación que se hayan realizado ante la eventual recurrencia del fenómeno.

Amenazas	Características	Causas	Consecuencias
Acciones de recuperación			
Acciones de preparación para eventos futuros			



Cuando los seres humanos surgieron, producto de la evolución de sus antepasados, hace unos 2.000 M.a. no ocasionaban prácticamente ningún efecto en el planeta rebotante de vida silvestre.

Lentamente, los seres humanos desarrollaron su facultad para aprender y para extender sus capacidades de transformación del medio circundante, haciendo uso de herramientas construidas por ellos mismos en la solución de los obstáculos que impedían la satisfacción de sus necesidades de alimento y vivienda.

Los recursos de la Tierra han sido la base de las civilizaciones. Las poblaciones humanas se han concentrado históricamente en sitios que son geológicamente ventajosos para la agricultura, la producción, el comercio e incluso para el resguardo ante eventuales enemigos.

Desde entonces hasta hoy, la especie humana se ha convertido en la más dominante sobre la Tierra. Una de las razones de este dominio tiene que ver con el número de individuos que forman parte de ella. En septiembre de 2011 el número de habitantes de nuestro planeta alcanzó la cifra de 7.000 millones de personas. El ritmo de crecimiento demográfico es intenso, al punto que se estima su crecimiento en 80 millones de personas al año.

Te recomendamos buscar en Internet algunos de los relojes como el de la imagen, a fin de que puedas apreciar la velocidad con la que cambian los números. Estos contadores, informan sobre los registros de nacimientos y el total de población mundial en el momento de la consulta.

La humanidad se ha convertido en un agente geológico que debe ser tomado en cuenta al igual que los eventos y amenazas naturales. Los seres humanos influimos sobre los elementos bióticos y abióticos que forman el ambiente.

En esta lectura vamos a dar un breve recorrido sobre los efectos que producen a escala planetaria las actividades desarrolladas con la inventiva humana ¿Esa inventiva nos podrá sacar de esta nueva situación que amenaza a la especie?

## ¿Era Antropozoica?

Se ha propuesto que el tiempo desde la dispersión del *Homo sapiens* por todo el planeta y también desde que comenzó a llenarlo de residuos de todo tipo, se considere como una nueva unidad cronológica del tiempo geológico. Los partidarios de esta propuesta la llaman la **era Antropozoica**. La polémica que ha despertado esta idea ha conducido a sus proponentes a identificarla como la época Antropocena.

El principal argumento de los seguidores de la época Antropocena se basa en que el hombre es un agente modificador del relieve, de la atmósfera, de la hidrosfera y de la biosfera, incluso a niveles que puede llegar a causar impactos al ambiente de mayor dimensión que los ocasionados por los agentes naturales y por los procesos geológicos.

¿Recuerdas en qué consisten los criterios de organización del tiempo geológico?

Si haces un poco de memoria, seguramente recordarás que para dividir el tiempo geológico se emplean las rocas y los fósiles indicadores de los ambientes predominantes en ellas. Para definir que se ha pasado de una unidad a otra, debe haber ocurrido un cambio poderoso y persistente, quedando registro de él en los sedimentos y las unidades estratigráficas. En realidad, el espesor de sedimentos acumulados desde la aparición de la especie humana hasta nuestros días es bastante insignificante para poder decir que se tiene un período geológico bien diferenciado.

Realmente esta discusión continúa, y por ahora no se ha arribado a ninguna conclusión al respecto. Pero no deja de ser interesante pensar en cuáles serán las huellas que están quedando en los sedimentos que se acumulan actualmente cuando observamos la cantidad de desechos que la humanidad disemina en el ambiente. En la figura 10.1 tienes un buen ejemplo de la acumulación de desechos tecnológicos.



A medida que la población crece, el consumo por persona de los recursos naturales como el agua, los combustibles fósiles, los minerales, los alimentos, entre otras materias primas para la satisfacción de las necesidades, también se incrementa. Esto hace que a medida que el consumo crece, también lo hace el impacto sobre los sistemas de la Tierra. Así, las actividades humanas cambian considerablemente las pautas de muchos procesos de la superficie terrestre.

Las evidencias de tales cambios se encuentran en todas partes, veamos algunas de ellas.

**Figura 10.1.** Cementerio tecnológico. Una nueva amenaza ambiental. El volumen de aparatos tecnológicos con escaso tiempo de vida útil, representa un nuevo problema de nuestra época.

## Evidencias de emergencia planetaria

El planeta ha brindado las mejores condiciones para que la especie humana proliferara. Los seres humanos han agregado valor a los recursos naturales con su trabajo, su ciencia y su tecnología. Sin embargo, su incomprensión sobre el delicado funcionamiento del planeta ha causado el deterioro y la devastación indiscriminada de sus recursos y han puesto a la Tierra en serio peligro.

Vivimos una situación de auténtica **emergencia planetaria** marcada por toda una serie de graves problemas estrechamente relacionados: contaminación y degradación de los ecosistemas, agotamiento de recursos, crecimiento incontrolado de la población mundial, desequilibrios insostenibles causados por conflictos bélicos destructivos, pérdida de diversidad biológica y cultural, entre otras muchas amenazas originadas por las actividades humanas. Esta realidad tiene que sacudirnos, para poder comenzar a pensar que la Tierra no es la que nos amenaza. ¿Por qué no pensar en que es la incomprensión humana de la Tierra la verdadera amenaza? Veamos algunos ejemplos que pueden evidenciar la existencia de presiones de origen humano.

### La escasez y falta de agua potable en el mundo

Se entiende por escasez de agua la disposición de volúmenes insuficientes para satisfacer el consumo diario de una persona, el cual se estima en 20 litros. Esta escasez puede estar dada por la dificultad para acceder a fuentes de agua seguras o por encontrarse muy alejada de los lugares donde se concentra la población. Por falta de agua se entiende una restricción permanente al derecho del agua potable que no puede ser subsanado con obras de infraestructura o canalización, porque sencillamente el agua dulce no existe o no está disponible por tratarse de lugares afectados por sequías extremas, en los que el agua de acuíferos se ha agotado. En la figura 10.2 se refiere la situación para el año 2000 y la que se proyecta para el futuro 2050, la severidad de la escasez y falta de agua futuras nos tiene que llamar la atención acerca de esta problemática.

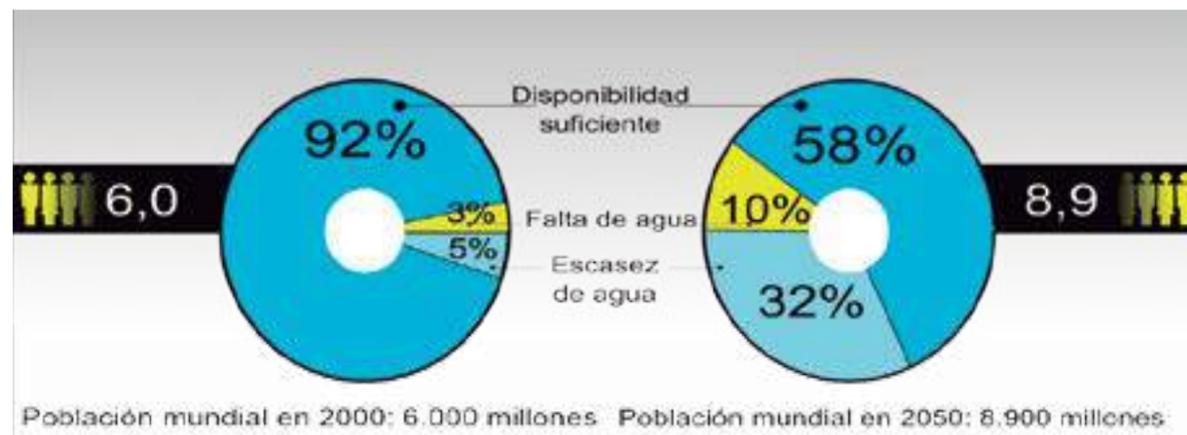


Figura 10.2. La escasez y falta de agua para el 2000 y la proyectada para 2050.

## La degradación de los suelos

Los suelos están en la base de la seguridad alimentaria de la población mundial. Los suelos fértiles y en buenas condiciones ofrecen oportunidad de alimentos cultivados en tierras agrícolas, manejadas con criterios racionales que impidan su destrucción.

Pero cada año se pierde una enorme cantidad de tierra agrícola debido a la erosión, la salinización, usos de técnicas intensivas y la urbanización incontrolada, todas ellas son formas de degradación de los suelos. Menos suelos suponen menos alimentos y un rendimiento agrícola reducido para una población que crece sin cesar, representa un serio problema para todos. Los estudiosos de los suelos señalan –con mucha razón– que esta es la verdadera raíz de todos los problemas socioeconómicos de las naciones del mundo. En la figura 10.3 puedes observar la extensión del problema de la degradación de los suelos.

### Océanos y biodiversidad marina en peligro

Los océanos que cubren las 2/3 partes de la superficie del planeta son quizás unos de los ecosistemas más incomprendidos y, los que corren más peligro no perceptible. Casi el 60% de los arrecifes coralinos que son fuente de biodiversidad y productividad marina, están amenazados por la degradación. Mas del 70% de las especies de peces comerciales se ha agotado, la contaminación visible y difusa de las aguas con el uso de agroquímicos y toda clase de desechos químicos que se acumulan en los mares, además 2 de cada 5 habitantes del mundo viven en zonas costeras, lo cual genera una enorme presión sobre las costas y sus ecosistemas. En la figura 10.4 te ofrecemos “una curiosidad” de reciente aparición en los océanos. Son las islas de basura, principalmente materiales no biodegradables arrojados al mar, que se han concentrado favorecidos por la “cinta transportadora” que son las corrientes oceánicas. Con estos ejemplos, esperamos haber contribuido a la reflexión acerca de cuál es nuestra responsabilidad para garantizar el restablecimiento del equilibrio del planeta.



Figura 10.3. Severidad de la degradación de los suelos.

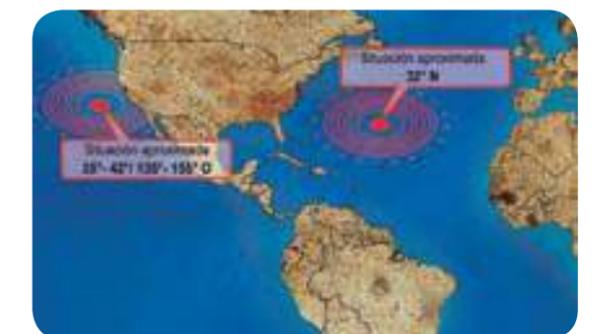
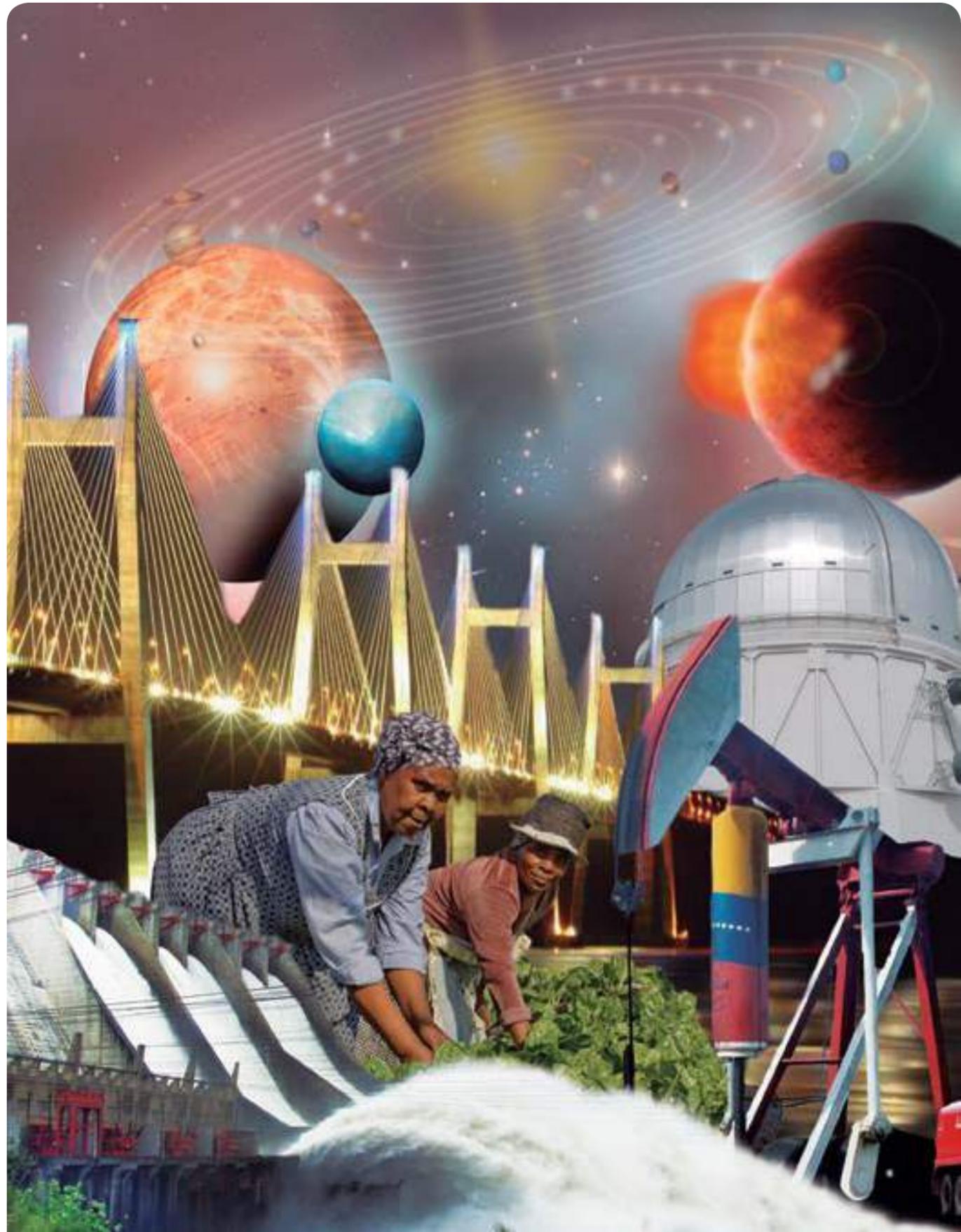


Figura 10.4. Islas de basura en los océanos Atlántico y Pacífico.

El principal obstáculo para detener esta situación de emergencia planetaria está en la capacidad de la especie humana para comprender la naturaleza activa y dinámica del planeta. Te invitamos a investigar otras evidencias de deterioro y degradación ambiental, para que, con conciencia acerca de ellas, participes en la asunción de compromisos que contribuyan a detener sus causas. Sólo así, será posible la permanencia de la especie humana y salvar a la Tierra del habitante más hostil que la ocupa.

## PARA SABER ALGO MÁS SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA



### Carta de la Tierra

La Carta de la Tierra es una declaración de principios fundamentales para construir una sociedad más justa, pacífica y sostenible. Ha sido elaborada con la participación de miles de personas, innumerables movimientos sociales, así como intelectuales y miembros de la comunidad científica, preocupados por el destino del planeta. A pesar de ser producto de un amplio consenso, no ha conseguido su reconocimiento formal en los foros como la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002) y Cumbre de Río<sup>+20</sup> (2012), pues algunos jefes de Estado y de Gobierno asistentes no la han acogido.

Por su parte, los pueblos del mundo que la consideran un documento vital para la protección de los derechos ambientales de toda la comunidad que habita el planeta, la divulgan, la defienden y sobre todo, la asumen actuando conforme a sus principios éticos. A continuación hemos realizado un resumen de sus planteamientos fundamentales. Para ampliar tu conocimiento de este documento, te invitamos a leerlo y analizarlo en su totalidad.

### Preámbulo

Estamos en un momento crítico de la historia de la Tierra, en el cual la humanidad debe escoger su futuro.

Somos una sola familia humana y una sola comunidad terrestre. Declaremos nuestra responsabilidad de unos hacia otros y hacia las generaciones futuras.

La Tierra, nuestro hogar, ha brindado condiciones esenciales para la evolución de la vida. Protegerla es un deber sagrado.

Los patrones dominantes de producción y consumo están causando devastación ambiental, agotamiento de recursos y extinción masiva de especies. Estas tendencias son peligrosas, pero no inevitables.

La elección es nuestra: cuidar la Tierra y unos a otros, o arriesgarnos a la destrucción de nosotros mismos y de la diversidad de la vida.

Debemos vivir de acuerdo a un sentido de responsabilidad universal. Compartimos la responsabilidad hacia el bienestar presente y futuro de la familia humana y del mundo viviente.

### Principios

#### I - Respeto y cuidado de la comunidad de la vida

- Respetar la Tierra y la vida en toda su diversidad.
- Cuidar la comunidad de la vida con entendimiento, compasión y amor.
- Construir sociedades democráticas, que sean justas, participativas, sostenibles y pacíficas.
- Asegurar que los frutos y la belleza de la Tierra se preserven para las generaciones presentes y futuras.

## II - Integridad ecológica

- Proteger y restaurar la integridad de los sistemas ecológicos de la Tierra, con especial preocupación por la diversidad biológica y los procesos naturales que sustentan la vida.
- Evitar dañar, como el mejor método de protección ambiental y cuando el conocimiento sea limitado, proceder con precaución.
- Adoptar patrones de producción, consumo y reproducción que salvaguarden las capacidades regenerativas de la Tierra, los derechos humanos y el bienestar comunitario.
- Impulsar el estudio de la sostenibilidad ecológica, promover el intercambio y la extensa aplicación del conocimiento adquirido.

## III - Justicia social y económica

- Erradicar la pobreza como un imperativo ético, social y ambiental.
- Asegurar que las actividades e instituciones económicas, a todo nivel, promuevan el desarrollo humano de forma equitativa y sostenible.
- Afirmar la igualdad y equidad de género como requisito para el desarrollo sostenible y asegurar el acceso universal a la educación, el cuidado de la salud y la oportunidad económica.
- Defender el derecho de todos, sin discriminación, a un entorno natural y social que apoye la dignidad humana, la salud física y el bienestar espiritual, con especial atención a los derechos de los pueblos indígenas y las minorías.

## IV - Democracia, no violencia y paz

- Fortalecer las instituciones democráticas en todos los niveles y brindar transparencia y rendición de cuentas en la gobernabilidad, participación inclusiva en la toma de decisiones y acceso a la justicia.
- Integrar en la educación formal y en el aprendizaje a lo largo de la vida, las habilidades, el conocimiento y los valores necesarios para un modo de vida sostenible.
- Tratar a todos los seres vivos con respeto y consideración.
- Promover una cultura de tolerancia, no violencia y paz.

## El camino hacia delante

Como nunca antes en la historia, el destino común nos hace un llamado a buscar un nuevo comienzo. Tal renovación es la promesa de estos principios de la Carta de la Tierra. Para cumplir esta promesa debemos comprometernos a adoptar y promover los valores y objetivos en ella expuestos.

El proceso requerirá un cambio de mentalidad y de corazón, requiere también de un nuevo sentido de interdependencia global y responsabilidad universal. Debemos desarrollar y aplicar imaginativamente un modo de vida sostenible a nivel local, nacional, regional y global.

Nuestra diversidad cultural es una herencia preciosa y las diferentes culturas encontrarán sus propias formas de concretar lo establecido. Profundizar y ampliar el diálogo global que generó la Carta de la Tierra, porque tenemos mucho que aprender en la búsqueda de la verdad y la sabiduría.

La vida a menudo conduce a tensiones entre valores importantes. Ello puede implicar situaciones difíciles; sin embargo, se debe buscar la manera de armonizar la diversidad con la unidad; el ejercicio de la libertad con el bien común.

Todo individuo, familia, organización y comunidad tienen un papel vital que cumplir. Las naciones del mundo deben cumplir con las obligaciones bajo los acuerdos internacionales existentes y apoyar la implementación de la Carta de la Tierra como instrumento vinculante sobre el medio ambiente y el desarrollo.

Que el nuestro sea un tiempo que se recuerde por el despertar de una nueva reverencia ante la vida; por la firme resolución de alcanzar la sostenibilidad; por el aceleramiento en la lucha por la justicia y la paz y por la alegre celebración de la vida en la Tierra.

## Oportunidades de estudio en Ciencias de la Tierra

### Una forma de contribuir con la preservación de la vida y del planeta

¿Has pensado alguna vez en trabajar en la industria petrolera, en las empresas básicas o en la petroquímica? ¿Sabes la importancia que tiene para el país contar con profesionales cuya formación esté basada en una relación armónica entre el ser humano y la naturaleza? ¿Te gustaría contribuir con la preservación de la vida en el planeta y protegerlo del impacto de las actividades humanas?

Seguramente en esta etapa de tu vida, te encuentras con incertidumbre acerca de tu futuro, sobre todo si conoces poco acerca de las oportunidades que tienes para proseguir estudios universitarios. Es probable que te preguntes: ¿qué carrera elegir?, ¿dónde estudiar?, ¿qué oportunidades de empleo tendré?, entre otras interrogantes. Lo más importante es que consideres tus intereses, capacidades y aptitudes –y si ellas se orientan hacia las Ciencias de la Tierra– toma en cuenta que en nuestro país existen múltiples opciones para tu formación profesional, acordes con tus preferencias, incluidas en áreas prioritarias para el desarrollo del país, con gran demanda de personal calificado y a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas.

Para ayudarte a despejar estas inquietudes, te presentamos una selección de carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra, por área de conocimiento, en la que se indican las instituciones universitarias que las ofrecen y sus campos de trabajo. Así podrás considerarlas en el momento de escoger tus opciones de estudio futuro. Te invitamos a consultarla y a visualizarte como ciudadana o ciudadano protagonista de una nueva relación armónica y sostenible con la vida, el planeta que la alberga y sus recursos naturales.



## Arquitectura, Ingeniería, Tecnología

### Carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra a nivel nacional

Área de conocimiento: Ingeniería, Arquitectura y Tecnología

Carrera	Institución que la ofrece	Campo de trabajo
<b>Carreras largas equivalentes a licenciaturas</b>		
<b>Ingeniería de gas</b> Título a obtener: ingeniero de gas	Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV)	Industria del gas, industria petrolera, industria petroquímica, industria química. Empresas nacionales, gran nacionales y privadas.
<b>Ingeniería de petróleo</b> Título a obtener: ingeniero de petróleo	UBV Instituto Politécnico Santiago Mariño (IUPSM) Universidad Central de Venezuela (UCV) Universidad de Oriente (UDO) Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ) Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional (UNEFA)	Industria petrolera; centros de investigación; docencia en educación universitaria.

Ingeniería en hidrocarburos mención: Petróleo Título a obtener: ingeniero en hidrocarburos, mención Petróleo.	UNELLEZ	Ministerios del Poder Popular: Energía y Petróleo, Ambiente, Ciencia, Tecnología e Innovación, Trabajo y Seguridad Social, Infraestructura. Universidades, laboratorios especializados y empresas relacionadas.
Ingeniería en hidrocarburos mención: Gas Título a obtener: ingeniero en hidrocarburos, mención Gas	UNELLEZ	Ministerios del Poder Popular: Energía y Petróleo, Ambiente, Ciencia, Tecnología e Innovación, Infraestructura. Empresas adscritas al Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Universidades y laboratorios especializados y empresas relacionadas con la actividad petrolera.
Ingeniería Petroquímica Título a obtener: ingeniero petroquímico	UNEFA	Refinerías de Petróleo y Gas, plantas de gas natural, ministerios de: Energía y Petróleo, Industrias básicas y minería, Ciencia y Tecnología, Producción y Comercio, empresas en el área de producción de petroquímicos y derivados.
Ingeniería en Refinación y Petroquímica Título a obtener: ingeniero en refinación y petroquímica	UBV	Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo, Industrias Básicas y Minería, Petroquímica, centros de investigación.
Ingeniería de Minas. Título a obtener: ingeniero de minas	UCV UDO	Industrias de la construcción; empresas hidráulicas, agroindustria, centros de investigación, docencia en educación superior.
Ingeniería Geológica. Título a obtener: ingeniero geólogo	UCV Universidad de Los Andes (ULA) UDO	Industrias de la construcción empresas hidráulicas, agroindustria, centros de investigación, docencia en educación superior.
Ingeniería Geodésica Título a obtener: ingeniero geodesta	UCV Universidad del Zulia (LUZ)	Industrias petroleras, del agro; constructoras; Geografía y Cartografía Nacional; empresas especializadas en vialidad y movimientos de tierra, promotoras de desarrollo urbanístico, consultoras o proyectistas en grandes obras de ingeniería.

Ingeniería hidro-meteorológica Título a obtener: ingeniero hidro-meteorólogo.	UCV	Industrias de la construcción; empresas hidráulicas; agroindustria; centros de investigación; docencia en educación superior.
Ingeniería Geofísica. Título a obtener: ingeniero geofísico	UCV Universidad Nacional Experimental Simón Bolívar (USB)	Industria petrolera y minera; empresas constructoras; centros de investigación; empresas agronómicas o agroindustria; docencia en instituciones de educación superior.
Ingeniería Química. Título a obtener: ingeniero químico	IUPSM UCV Universidad de Carabobo (UC) ULA UDO LUZ Universidad Metropolitana (UNIMET) Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM) Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) USB Universidad Rafael Urdaneta (URU)	Industria química y farmacéutica Industria petrolera, petroquímica; industrias de alimentos, bebidas, cueros y tabacos. Empresas públicas y privadas que se dedican al estudio y distribución del agua para consumo humano.
Ingeniería de Materiales. Título a obtener: ingeniero de materiales	USB Universidad Nororiental Privada Gran Mariscal de Ayacucho (UGMA)	Industrias metalúrgicas, metalmecánica, cerámica y del plástico; fábricas de productos textiles; industrias química y siderúrgica; industria del aluminio; fábricas de pintura, de productos plásticos y metálicos; industrias petroleras, petroquímica, automotriz y naval.

Ingeniería metalúrgica. Título a obtener: ingeniero metalúrgico	UCV UNEXPO	Industrias metalúrgica de fundición, metalmecánica, petrolera y petroquímica, energética y de la construcción; obras sanitarias; docencia en instituciones de educación superior.
Geología. Título a obtener: geólogo	UDO	Industrias metalúrgica, de fundición, metalmecánica, petrolera y petroquímica, energética y de la construcción; obras sanitarias; docencia en instituciones de educación superior.
Geoquímica. Título a obtener: licenciado en geoquímica	UCV	Industria petrolera, petroquímica y centros de investigación.

#### Carreras cortas equivalentes a Técnico Superior Universitario (TSU)

Petróleo Título a obtener: TSU en petróleo	Instituto Universitario de Nuevas Profesiones (IUNP)	Industria petrolera; centros de investigación.
Procesos de refinación de Petróleo. título a obtener: TSU en procesos de refinación de petróleo	Instituto Universitario de Tecnología de Cumaná (IUT-Cumaná). Instituto Universitario de Tecnología de Valencia (IUTV)	
Tecnología de Gas. Título a obtener: TSU en tecnología de gas	Instituto Universitario de Tecnología de Administración Industrial (IUTA) UBV	
Tecnología Petrolera. Título a obtener: TSU en tecnología petrolera.	IUTA	

Geología (Técnica). Título a obtener: TSU en geología	Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo (IUTM)	Industrias constructoras, mineras, siderúrgicas, petroleras; centros de investigación.
Geología y Minas. Título a obtener: TSU en geología y minas.	Instituto Universitario de Tecnología Agroindustrial Región los Andes (IUTAIRA) Instituto Universitario de Tecnología del estado Bolívar (IUTEB).	
Minería. Título a obtener: TSU en minería.	Instituto Universitario de Tecnología de Ejido (IUTE)	
Tecnología Minera Título a obtener: TSU en tecnología minera.	Instituto Universitario de Tecnología del Mar (IUTEMAR)	
Topografía (Técnica). Título a obtener: TSU en topografía	UNELLEZ	



## Ciencias del agro y del mar

### Área de conocimiento: Ciencias del Agro y del Mar

Carrera	Institución que la ofrece	Campo de trabajo
<b>Carreras Largas equivalentes a Licenciaturas</b>		
Agroecología. Título a obtener: licenciado en agroecología	UBV	Centros rurales donde se promuevan los procesos colectivos y participativos, que permitan actuar como educador/ educando.
Ingeniería de Producción en Agroecosistemas. Título a obtener: ingeniero de producción en agroecosistemas	ULA	Ministerios del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Comercio, Ambiente, Alimentación, Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Instituciones de Educación Superior, Centros de Investigación, Fondo de Inversiones Agropecuarias.
Gestión Ambiental. Título a obtener: licenciado en gestión ambiental	UBV	Comunidades, redes y organizaciones sociales; instituciones públicas y privadas, organismos y organizaciones nacionales e internacionales, empresas, instituciones educativas, centros de investigación.

Ingeniería ambiental. Título a obtener: ingeniero ambiental.	Universidad de Falcón (UDEFA) Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) Universidad Nacional Experimental Marítima del Caribe (UMC)	Ministerios del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Comercio, Ambiente, Alimentación, empresas privadas de planificación e implementación de proyectos ambientales, forestales; instituciones de educación superior.
Ingeniería de recursos naturales renovables. Título a obtener: ingeniero de recursos naturales renovables	UNELLEZ	Ministerios del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Comercio, Ambiente, Alimentación, Banco de Desarrollo Agropecuario, Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Fondo de Inversiones Agropecuarias, instituciones de educación superior, tabacaleras, fábricas de concentrados de frutas y hortalizas, fábricas de productos químicos, asociaciones de productores agropecuarios, empresas de planificación e implementación de proyectos agropecuarios o agroindustriales y empresas de productos rurales.
Ingeniería del ambiente. Título a obtener: ingeniero del ambiente	UGMA	
Ingeniería del ambiente y de los recursos naturales. Título a obtener: ingeniero del ambiente y de los recursos naturales	UGMA	
Ingeniería Forestal. Título a obtener: ingeniero forestal.	ULA	Ministerios del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Comercio, Ambiente, Alimentación, empresas de planificación e implementación de proyectos ambientales, forestales, instituciones de educación superior.

### Carreras Cortas equivalentes a Técnico Superior Universitario (TSU)

<p><b>Animación ambiental</b> Título a obtener: técnico superior en animación ambiental</p>	<p>Colegio Universitario Jean Piaget</p>	<p>Gobernaciones, alcaldías, concejos municipales, organizaciones no gubernamentales.</p>
<p><b>Tecnología ambiental</b> Título a obtener: técnico superior universitario en tecnología ambiental</p>	<p>Instituto Universitario de Tecnología Industrial Rodolfo Loero Arismendi (IUTIRLA)</p>	<p>Ministerios del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Comercio, Ambiente, Alimentación, Banco de Desarrollo Agropecuario, Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Fondo de Inversiones Agropecuarias, instituciones de educación superior, tabacaleras, fábricas de concentrados de frutas y hortalizas, fábricas de productos químicos, asociaciones de productores agropecuarios, empresas privadas de planificación e implementación de proyectos agropecuarios o agroindustriales y empresas de productos rurales.</p>
<p><b>Tecnología de conservación de los recursos naturales renovables</b> Título a obtener: técnico superior en tecnología de conservación de los recursos naturales renovables</p>	<p>UGMA</p>	
<p><b>Tecnología forestal</b> Título a obtener: técnico superior universitario en tecnología forestal</p>	<p>Instituto Universitario Jesús Obrero</p>	



### Área de conocimiento: Ciencias de la Educación

Carrera	Institución que la ofrece	Campo de trabajo
<b>Carreras largas equivalentes a licenciaturas</b>		
<p><b>Educación Mención Ciencias Físico Naturales</b> Título a obtener: licenciado en Educación: mención Ciencias Físico-Naturales</p>	<p>ULA</p>	<p>Instituciones centros de investigación, centros de adiestramientos, unidades de planificación y administración educativa, entre otros.</p>
<p><b>Especialidad: Ciencias de la Tierra</b> Título a obtener: profesor. Especialidad: Ciencias de la Tierra</p>	<p>UPEL</p>	
<p><b>Mención Geografía e Historia</b> Título a obtener: profesor. Especialidad de Geografía e Historia</p>	<p>UPEL</p>	
<p><b>Educación mención Geografía</b> Título a obtener: licenciado en educación Mención Geografía</p>	<p>LUZ</p>	
<p><b>Educación mención Geografía y Ciencias de la Tierra</b> Título a obtener: licenciado en Educación Mención Geografía y Ciencias de la Tierra</p>	<p>ULA</p>	

## Ciencias sociales

### Área de Conocimiento: Ciencias Sociales

Carrera	Institución que la ofrece	Campo de trabajo
<b>Carreras largas equivalentes a licenciaturas</b>		
Administración de desastres Título a obtener: licenciado en Administración de desastres	UNEFA	Entidades públicas y privadas que deben intervenir. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, alcaldías, gobernaciones, Cruz Roja, Defensa Civil, organizaciones de ayuda y socorro.
Geografía Título a obtener: licenciado en Geografía	UCV ULA	Ministerios del Poder Popular para el Ambiente, Educación, Cultura, Comunicación e Información, Agricultura y Tierras, Energía y Petróleo, docencia en educación a todos los niveles.
<b>Carreras Cortas equivalentes a Técnico Superior Universitario (TSU)</b>		
Ecoturismo Título a obtener: técnico superior en Ecoturismo	Instituto Universitario de Tecnología Amazonas	Corpoturismo, Corporaciones Regionales de Turismo, Centros de Recreación, Embajadas y Consulados, Ministerios del Poder Popular para el Turismo, el Ambiente y todas aquellas instituciones tanto públicas como privadas del área turística y hotelera.
Administración de Empresas Petroleras Título a obtener: técnico superior en Administración de empresas petroleras	Instituto Universitario de Tecnología Coronel Agustín Codazzi Instituto Universitario de Tecnología José Leonardo Chirino	Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo, empresas petroleras, docencia en educación superior.

Actualmente además de las opciones antes mencionadas existe una nueva modalidad de inserción en estudios universitarios, son los Programas Nacionales de Formación (PNF) que se crean con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje de las carreras universitarias y de la función social de las instituciones universitarias. Con los PNF se ha propuesto principalmente la solución de problemas en interacción con el entorno comunitario, así como el desarrollo integral y tecnológico del país.

El diseño de los PNF permite incorporar a bachilleres, técnicos y licenciados que deseen formarse en estas áreas, para responder en corto plazo a las necesidades de formación profesional requeridas por proyectos estratégicos. Los PNF son una oportunidad para los bachilleres y estudiantes de Educación Media General interesados en cursar estudios universitarios en conexión directa con la comunidad, a través de una educación flexible con modalidad presencial o semipresencial según la carrera. Para ingresar en esta modalidad, es necesario que te registres en el Registro Único del Sistema Nacional de Ingreso a la Educación Superior (RUSNIES) y participar en la prueba vocacional prevista por el CNU-OPSU.

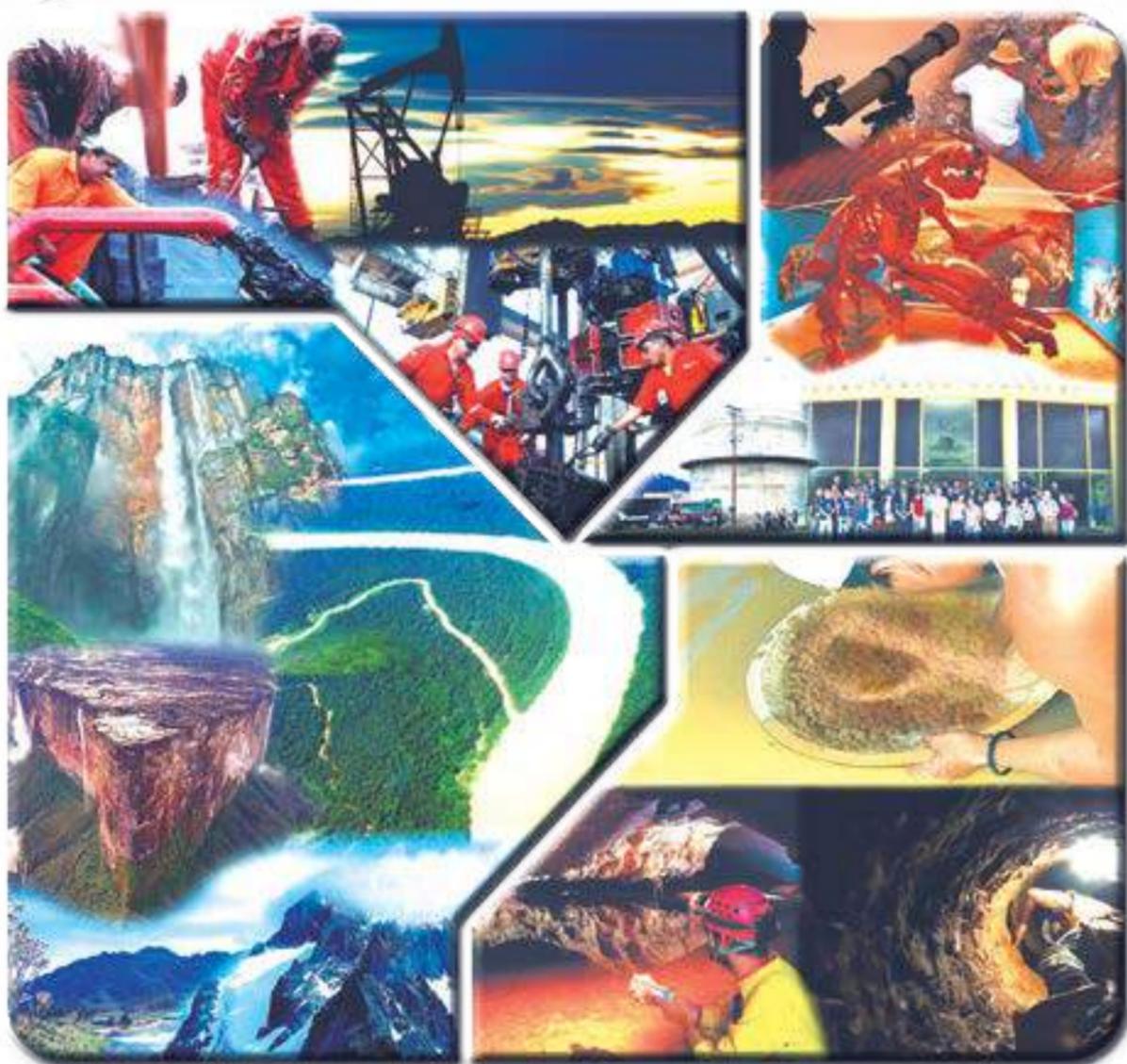
A continuación anexamos un cuadro-resumen de los PNF que guardan estrecha relación con las Ciencias de la Tierra.

Carrera PNF	Institución que la ofrece	Título que se otorga
Manejo de emergencias y acción contra desastres	IUTE	Técnico superior universitario en manejo de emergencias y acción contra desastres.
Geociencia	IUTE IUTEB.	Ingeniero en Geociencia. Técnico superior universitario en Geociencia.
Sistemas de calidad y ambiente	IUTEB Instituto Universitario de Tecnología Dr. Federico Rivero Palacio Universidad Politécnica Territorial del estado Lara "Andrés Bello"	Técnico superior universitario en sistemas de calidad y ambiente Ingeniero en sistemas de calidad y ambiente.

Además de estas opciones puedes visitar las páginas web de Venezuela que brindan información de oportunidades estudio y así orientas tu futuro:

- <http://www.misionalmamater.gob.ve/index.php>
- <http://www.mppeu.gob.ve>
- <http://loe.opsu.gob.ve/carreras.php>

También existen portales que facilitan algunos test de orientación vocacional, los cuales pueden ayudarte en el proceso de selección de carreras



## La mujer en la astronomía venezolana

Tradicionalmente se ha pensado que las ciencias se deben más al esfuerzo de los hombres y, si hacemos referencia a la astronomía, inmediatamente pensamos en los nombres de Eratóstenes, Ptolomeo, Copérnico, Kepler, Galileo Galilei, Newton y muchos más. Sin embargo, al revisar la historia de la humanidad, nos encontramos con valiosas mujeres en el desarrollo de las ciencias naturales.

Si examinamos el quehacer científico de la química y la física tendríamos a Marie Curie, quizás la mujer más importante de todos los tiempos por su descubrimiento de la radioactividad en el núcleo del átomo. En biología a Bárbara McClintok, ganadora de un Nobel en Medicina por sus investigaciones en citogenética; y así, a Sophie Germain en matemáticas; Ada Lovelace en ciencias de la computación; y Rosalind Franklin en biofísica, entre otras.

¿Y en astronomía? Pregunta interesante, cuya respuesta encontrarás en esta lectura.

La astronomía marca un campo de igualdad de género. Esta ciencia fascinante, llamada la madre de todas las ciencias, es vinculante con todas las demás áreas del conocimiento: matemáticas, física, química, biología, ciencias de la Tierra, geofísica, meteorología, ecología, arqueología, y todas aquellas que tengan relación con las ramas humanísticas como la filosofía, derecho, historia, geografía, literatura, psicología. Vaya epíteto: la madre de todas las ciencias.



Figura 13.1. Hipatia de Alejandría.

Muchas son las mujeres que aportaron sus conocimientos para el desarrollo de esta ciencia y para el beneficio de la humanidad. Gracias a ellas hoy tenemos una clara concepción de nuestro Universo.

Cómo no nombrar a Hipatia de Alejandría, nacida en el siglo IV en la ciudad de Alejandría, Egipto. Esta mujer escribió tratados sobre matemáticas y astronomía, siendo una gran investigadora de los trabajos de Claudio Ptolomeo. Además, manipuló y mejoró instrumentos astronómicos como el astrolabio, sin dejar de lado el uso de planisferios.

Caroline Lucretia Herschel, alemana nacida en 1750, fue la primera mujer en la historia en descubrir un cometa y es considerada la primera astrónoma profesional.

Pero además, podríamos nombrar a Fátima de Madrid (España), Sofía Brahe (Dinamarca), Marie Cunitz (Polonia), María Winkelmann Kirch (Alemania), Nicole-Reine Lepaute (Francia), Wang Zhenji (China), Mary Somerville (Escocia), María Mitchell (USA), Williamina Fleming (Escocia), Annie Cannon (USA), Antonia Maury (USA), Henrietta Leavitt (USA), Cecilia Payne-Gasposchkin (Inglaterra), Dorrit Hoffleit (USA), Paris Pismis (Turquía), Ruby Payne-Scott (Australia) y Beatrice Tinsley (Nueva Zelanda), entre muchas. Te invitamos a que indagues sobre la biografía de estas mujeres astrónomas y estamos seguros que te emocionará su historia.

En nuestro país también tenemos mujeres astrónomas. Mujeres que han dejado su huella indeleble en la historia astronómica.

Una de ellas, de referencia sin igual en la astronomía venezolana, es **Blanca Betulia Silveira Barrios**. Esta mujer barquisimetana nació el 12 de julio de 1905, justo cuando la mayoría de la gente cree que despunta el Sol.

La observación de fenómenos astronómicos naturales como un eclipse del Astro Rey y luego, cuando tenía cinco años, maravillarse con el paso del cometa Halley, le sirvieron de pretexto para dedicarse enteramente a su pasión por la astronomía. El estar en una silla de ruedas, debido a la poliomielitis, no la amilanó y sobreponiéndose, inició su aprendizaje en idiomas, que combinaba con observar el cielo y sus fenómenos astronómicos. Logró tal destreza que, y con la compañía de su hermana María, se convirtió en una maestra de muchos jóvenes, en quienes supo cultivar la curiosidad científica y que luego llegaron a ser destacados astrónomos profesionales, como por ejemplo el Dr. Humberto Campins y el Dr. Nelson Falcón. No contenta con esos logros, se convierte en pilar fundamental de la Sociedad Astronómica de Venezuela, seccional Barquisimeto, institución larense que guarda con celo sus escritos. Entre esos trabajos se cuentan el Reporte del eclipse total de Sol de 1916 al Dr. Luis Ugueto; artículos de ocultaciones de estrellas y estrellas variables; y numerosos informes entregados a la Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables (AAVSO).



Figura 13.2. Blanca Silveira Barrios.

Otra venezolana insigne es **Nuria Calvet**, la primera mujer astrónoma profesional del país, quien logra su licenciatura en Física en la UNAM (México) en el año 1973 y su doctorado en Astronomía en Berkeley UC en el año 1981. También es la primera mujer en obtener el Premio Polar en el año 1987. Sus estudios en astronomía están basados en la evolución de estrellas en edad temprana y formación y evolución de discos protoplanetarios. Laboró, entre los años 1981 y 1996, en el Centro de Investigaciones de Astronomía Fundación "Francisco J. Duarte", Mérida, máxima institución científica venezolana dedicada a la astronomía y la astrofísica. Actualmente se desempeña como profesora en el Departamento de Astronomía de la Universidad de Michigan.



Figura 13.3. Dra. Nuria Calvet.



Figura 13.4. Dra. Katherine Vieira.

El Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA) de Venezuela, cuenta con un cuerpo científico, de relevancia mundial. Actualmente ese cuerpo científico lo dirige una mujer: su nombre **Katherine Vieira**. La Dra. Vieira, nacida el 14 de noviembre de 1974, barquisimetana, y de padre oriundo de Portugal y madre venezolana, ha dedicado gran parte de su vida a la astronomía. Su área de investigación está centrada en los estudios de movimiento de diferentes poblaciones estelares en la Vía Láctea (movimiento solar, corrientes estelares en la vecindad solar, bulbo galáctico), dirigidos a entender la cinemática de los diferentes componentes galácticos, la dinámica de la galaxia, el movimiento de las galaxias cercanas (Nubes de Magallanes), con el objetivo de sondear los efectos gravitacionales galácticos y para explorar las dinámicas de interacciones galaxia-galaxia en los suburbios galácticos.

La Dra. Vieira es una excelente astrómetra, es decir, aplica los principios fundamentales de la astronomía de posición. Adicionalmente, esta científica ha dedicado tiempo a actividades artísticas. Estuvo en la escuela de música "Vicente Emilio Sojo" en la ciudad de Barquisimeto, cursando hasta el cuarto año de flauta y tercer año de teoría y solfeo, siendo segunda flauta de la Orquesta Sinfónica Juvenil del estado Lara por espacio de casi tres años y también fue miembro de la Agrupación Musical Trampolín de Cuerdas donde ejecutaba la flauta, el cuatro y la mandolina.

Otra importante investigadora en el área de la astronomía, es la Dra. **Anna Katherina Vivas Maldonado**, graduada de licenciada en Física, Mención Cum Laude en la Universidad de Los Andes, en el año 1995. Su trabajo de grado lo basó en la descomposición fotométrica de Galaxias Lenticulares Barradas. Posteriormente obtiene los grados M. Sc. Astronomía (1999), M. Phil. Astronomía (1999) y Ph. D. Astronomía (2002) en la Universidad de Yale. Su tesis doctoral versó sobre el estudio de las estrellas RR Lyrae en el halo de la Vía Láctea. En 2004, logra el reconocimiento Dirk Brouwer Prize, que es el premio otorgado por la Universidad de Yale como mérito a su tesis doctoral en el área de astronomía. En nuestro país obtuvo el Premio "Lorenzo Mendoza Fleury", en junio de 2009.



Figura 13.5. Dra. Anna Katherina Vivas Maldonado.

Otra venezolana dedicada a la astronomía y con publicaciones científicas importantes es la **Dra. Gladis Magris Crestinis**, quien nació en Caracas en 1961. A través de sus estudios en física, logra su licenciatura en la Universidad Simón Bolívar, con una tesis realizada en el CIDA, en la cual desarrolla un modelo para estudiar los efectos del polvo interestelar en el espectro integrado de galaxias de disco. En 1987, inicia su doctorado en la Universidad Central de Venezuela, y en 1993, presenta su tesis doctoral con un modelo para las líneas de emisión en galaxias con formación estelar y el estudio detallado de las propiedades espectrales ultravioleta de galaxias elípticas. Ingresa al CIDA en 1991 dedicándose a la investigación y a la administración del sistema de computación, para luego incorporarse al cuerpo de investigadores de la institución, una vez que culmina su doctorado. Su área de investigación está dedicada a la astronomía extragaláctica.



Figura 13.6. Dra. Gladis Magris Crestinis.

Y si de astrobiología se trata, tenemos a Leticia Carigi, venezolana, licenciada en Física de la Universidad Simón Bolívar en el año 1983; y doctora en Ciencias, Mención Física, de la Universidad Central de Venezuela, en 1994. Actualmente, es coordinadora de la maestría y el doctorado de la Universidad Nacional Abierta de México (UNAM). La Dra. Carigi es investigadora titular en el Instituto de Astronomía de la UNAM, y dedica sus investigaciones al área de la cosmoquímica, es decir, la evolución química de galaxias espirales, irregulares y enanas; y al estudio de las poblaciones estelares, específicamente en la evolución espectral de galaxias. Hoy en día es una astrobióloga de renombre internacional. Es importante saber que la astrobiología se encarga de estudiar las zonas de habitabilidad galáctica. Su aporte científico está reflejado en 18 artículos arbitrados (1994-2008) y 37 artículos en memorias de congresos (1983-2007).



Figura 13.7. Dra. Leticia Carigi.

Con este recuento es posible apreciar que hoy la mujer –y en especial la mujer venezolana– ocupa un sitio de honor en las ciencias, y por lo tanto vale decir que aplicar el principio de igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres nos hará una mejor sociedad.

## Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar



¿Quién no ha necesitado y usado un mapa alguna vez? Ya sea en tus actividades cotidianas, al buscar una dirección desconocida, cuando realizas tus labores escolares, al consultar folletos turísticos, visitar parques nacionales o para usar los servicios del Metro. En todas estas actividades de la vida diaria y muchas más, usamos esta herramienta imprescindible que facilita la ubicación y el posicionamiento de una forma rápida y fácil, con tan sólo conocer algunos elementos gráficos y poseer la habilidad para extraer la información que estamos buscando.

Te has preguntado, ¿cómo es posible que los mapas tengan tanta semejanza con la realidad? ¿Cómo se logra que los mapas guarden las proporciones, al punto que sea posible hacer mediciones sobre ellos, que concuerdan con las distancias reales? La respuesta está en la cartografía y la geodesia, ciencias que permiten la elaboración de mapas con gran fidelidad y confiabilidad. Para ello, emplean procedimientos y técnicas especializadas que permiten obtener cartas, mapas y mosaicos del territorio, a partir de mediciones hechas en el terreno y a través de imágenes captadas en vuelos de registro o desde plataformas de observación satelital.

Gracias a los avances tecnológicos, los mapas pueden llegar a comunicar una gran cantidad de información diversa relacionada con la cartografía básica como los centros poblados, la hidrografía, la vialidad, la topografía, entre otras informaciones. Además, hoy es posible acceder a aplicaciones con información temática georeferenciada en capas combinables, de acuerdo con la elección del usuario. Se puede escoger información acerca de los tipos de suelos, las cuencas hidrográficas, la ocupación y uso del espacio, disponibilidad de recursos, entre otros aspectos de interés. ¿De dónde se obtiene la información para representarla en el papel? ¿Quién lo hace? y ¿Cómo se hace? En nuestro país existe una institución encargada de esta tarea, es el **Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB)**.

El IGVSb es un organismo adscrito al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente que en el año 2012 arribó a su XII aniversario. Tiene entre sus funciones, generar proyectos que promueven el desarrollo del país, por ser el organismo encargado de dirigir, producir, resguardar y proveer la información territorial oficial en materia de Geografía, Cartografía y Catastro, es decir, no sólo elabora los mapas nacionales, también provee al público mapas dinámicos de Venezuela, antiguos y actuales (descargables e imprimibles en formato pdf) con los que podrás conocer el territorio venezolano y te servirán de apoyo en tus actividades escolares.

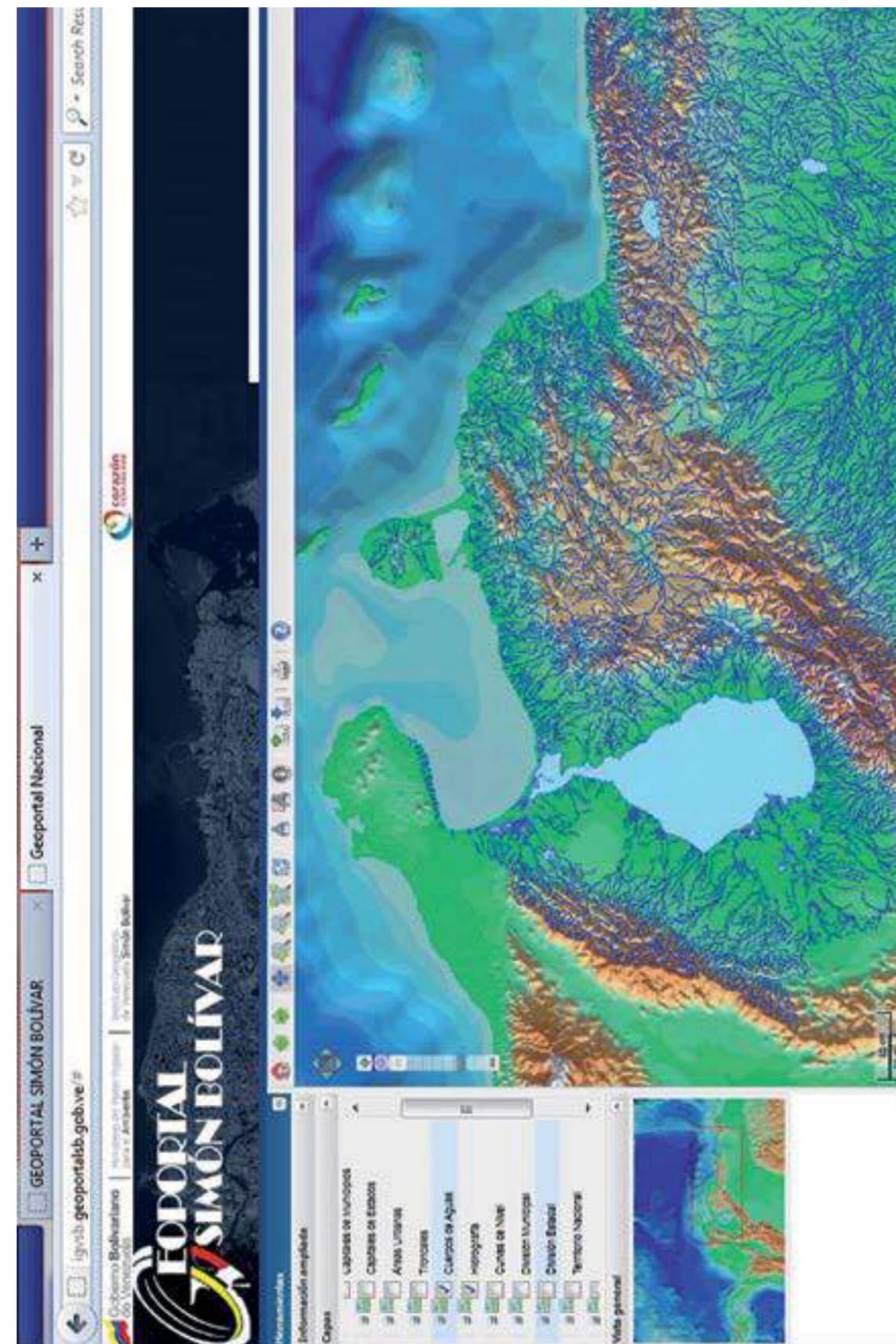
El IGVSb tiene a la disposición del público, mapas actualizados de todo el territorio venezolano en virtud que, por ley, esta información es de carácter nacional, de interés público y el acceso a ella se considera un derecho humano. El Instituto coordina y asesora diversas actividades, como por ejemplo: el levantamiento o captura de imágenes, las cuales son procesadas para elaborar mapas, y para realizar talleres de cartografía dirigidos tanto a instituciones del Estado, como a particulares y consejos comunales, todo esto con la visión de ser una institución de vanguardia tecnológica, importante para el desarrollo sustentable de la Nación a través de la aplicación de estrategias y técnicas para el adecuado estudio y uso del territorio venezolano.

Si deseas saber cómo obtener los servicios gratuitos que ofrece la institución puedes visitar su página web: <http://www.igvsb.gob.ve>. También ofrece servicios de consulta presencial en el Centro de Documentación, en su sede central, ubicada en el edificio Camejo, piso 2, avenida Esté-6 en la urbanización El Silencio. Caracas. Es posible solicitar información de los materiales que tienen disponibles al público en general, a través del correo electrónico [mapaven@igvsb.gob.ve](mailto:mapaven@igvsb.gob.ve). Y como otros organismos públicos, está en las redes sociales, así que puedes seguirlo en Twitter en la cuenta @IGVSb.



Entre los diversos recursos que el Instituto tiene disponibles, merece mención especial su **Geoportal Nacional Simón Bolívar**, éste contiene diversas herramientas para la generación e información de mapas con capas de cartografía básica: centros poblados; capitales de municipios y estados; áreas urbanas; vías troncales; cuerpos de agua; hidrografía; curvas de nivel; información geopolítica de delimitación política-administrativa por estados y municipios, entre otras. Cuenta con una serie de herramientas para calcular áreas y medidas lineales, e incluso es posible incorporar nuevas capas de información que se obtengan en servidores externos. Nos parece importante también dar a conocer que el IGVSb suministra asistencia técnica a los consejos comunales para el establecimiento de sus poligonales y mapas, necesarios para la ejecución de proyectos del poder comunal.

El **Geoportal Simón Bolívar** es un proyecto para la difusión de mapas con carácter oficial, al que puedes acceder en la dirección: <http://www.igvsb.gob.ve/>. Una vez allí, seleccionas el ícono que identifica al Geoportal, allí accederás de forma gratuita a información de nuestro país en cuanto a datos físicos, económicos y geográficos, entre otros.



El soporte tecnológico que usa el portal es suministrado por la **Infraestructura de Datos Espaciales de Venezuela** (IDEVEN) con el objetivo de facilitar el acceso y uso de los datos dispuestos a través del portal de forma gratuita para el público en general, brindando la posibilidad de tener información a nivel nacional de cuencas hidrográficas, playas y zonas costeras, hidrografía, centros poblados, comunas entre otras aplicaciones, a partir de una visualización sencilla y gratuita para el usuario. Sus servicios son ampliamente utilizados por organizaciones y profesionales que se desempeñan en las Ciencias de la Tierra, ya que el tiempo y el costo del acceso a la información, son variables de importancia a la hora de desarrollar proyectos de investigación, desarrollo e innovación.

Las comunidades también participan activamente usando y suministrando información en la Red Geocéntrica Nacional REGVEN, con la que se pretende dar certeza cartográfica en el momento de delimitar las áreas comunales. Sin duda esta información ofrece seguridad en la ubicación de un lugar a través de sus coordenadas y es de gran utilidad para las actividades locales, dando confiabilidad a la información.



Es así como el IGVSB facilita el estudio de problemas científicos, sociales y sus aplicaciones en áreas como: investigación e inventario de recursos naturales, catastro, planificación urbana y regional, ingeniería ambiental, agrícola, geología y todas aquellas relacionadas con la información territorial. Seguramente podrás comprender por qué hemos seleccionado al IGVSB como parte de las lecturas adicionales en este libro. La información territorial que suministra el Instituto es fundamental para las Ciencias de la Tierra.

¿Cómo se obtenía esta información antes de que se creara el Instituto? En el país existieron muchas organizaciones que se encargaban de la elaboración de mapas, pero de forma aislada y con poco alcance nacional, es hasta el 25 de julio de 1935, cuando se unen la Oficina de Cartografía Nacional, adscrita al Ministerio de Relaciones Interiores, con el Servicio Aerofotográfico del Ministerio de Obras Públicas, formando entonces la Dirección de Cartografía Nacional.

El mayor avance tecnológico ocurre en el año 1967, cuando llegan al país los primeros equipos de restituidores fotogramétricos, aparatos que permitieron la elaboración de mapas a partir de fotografías aéreas, lo que inició una nueva etapa de mayor precisión y desarrollo tecnológico con mayor precisión a la que se venía trabajando.

El IGVSB se da a conocer masivamente después de su fundación en el año 2001, con la publicación del nuevo mapa político territorial de Venezuela integrando el espacio continental, insular y marino. Para este material se necesitó el uso de técnicas cartográficas y la cooperación de diversas instituciones nacionales e internacionales, para darnos a todos los venezolanos una visión más completa de nuestro país en cuanto a sus límites y territorio.

El Instituto cuenta con el apoyo progresivo que le brinda el **satélite Francisco de Miranda**, el cual fue puesto en órbita hacia finales del 2012, para la observación terrena, ayudando en la captura de imágenes de nuestro territorio con autonomía en la toma de decisiones en los temas de ambiente, planificación, control territorial y gestión integral de riesgos.

De esta manera, el IGVSB se ha catalogado como una organización indispensable para el desarrollo de la Nación, la integración de los equipos de trabajo interdisciplinarios de instituciones estatales, nacionales e internacionales en el desarrollo territorial de Venezuela.

Ahora bien, tú que te encuentras culminando esta etapa de estudios medios y estás tomando decisiones para tu futuro inmediato, puedes apoyarte en esta información para conocer más a nuestro país. ¡Ánimate y descubre todo el conocimiento que te brindan estas herramientas tecnológicas! Mientras más conozcamos de nuestro país, más sentido de participación ciudadana tendremos como venezolanos y venezolanas.



## Referencias bibliográficas

- Anguita, F. (2011). *Biografía de la Tierra: historia de un planeta singular* [Libro en línea]. Madrid: Editorial Aguilar. [Versión actualizada y corregida por el autor]. Disponible: <http://eprints.ucm.es/13263/> [Consulta: 2012, enero 7]
  - Briones Llorente, C. (2010). *Planeta vivo: el origen y la evolución temprana de la vida en la Tierra*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 18(1), 25-32.
  - Cenamec. (1993). *Interacciones en el sistema Tierra*. Unidad II dinámica entre las geosfera. [Folleto] Caracas: Autor
  - Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5.453 (Extraordinario), marzo 24, 2000.
  - Corrales, I. (1977). *Estratigrafía*. Madrid: Rueda.
  - El Planeta Tierra. *Las capas de la atmósfera terrestre*. [Documento en línea] Disponible: <http://jmarcano.topcities.com/beginner/capas.html#estratosfera>. [Consulta: 2012, julio 24]
  - Estratificación y estructuras sedimentarias. <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05b-3.htm>. [Consulta: 2012, julio 24]
  - Gleick, P. H., (1996) *Water resources*. En *Encyclopedia of climate and weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2.
  - González De Juana C. Iturralde De A. Picard X.(1980). *Foninvis*. Tomo II. Caracas. P 426-1031.
  - International Stratigraphic Guide [Documento en línea] Disponible: <http://www.stratigraphy.org/upload/bak/defs.htm> [Consulta: 2012, junio 20]
  - Isaza D, J. F. y Campos R, D. (2007). *Cambio climático. Glaciaciones y calentamiento global*. Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
  - La química del Universo. "¿De qué está hecha nuestra galaxia?" Entrevista con la Dra. Leticia Carigi. Disponible: <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num6/art58/index.html#a>. [Consulta: 2012, agosto 10]
  - Ley de Gestión Integral de Riesgos Socio Naturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial num. 39.095 del 9 de enero de 2009)
  - Méndez J. B. (2006). *Petrología*. Caracas: Pdvs. Facultad de Ciencias. UCV.
  - Mendoza V. (2005). *Geología de Venezuela*. Ciudad Bolívar, Venezuela: UDO. Escuela de Ciencias de la Tierra.
  - Ministerio de Ambiente. (2006). *Recursos hídricos de Venezuela*. Caracas: Fondo Editorial Fundambiente.
  - Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2010). *La Tierra: planeta de agua. Somos ambiente*. 6. Caracas: Autor.
  - Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2010). *Sistema de información para la gestión integral de las aguas*. Ministerio del Poder Popular para la Educación. (2011). Orientaciones Educativas para la Gestión Integral de Riesgo en el Subsistema de Educación Básica del Sistema Educativo Venezolano. Caracas: Autor
  - NASA. (2010). *Hoja de datos de La Tierra*. [Documento en línea]. Disponible: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> [Consulta: 2012, enero 23]
  - Organización de Naciones Unidas. (2001). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. [Documento en línea] Disponible: [http://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf). [Consulta: 2012, julio 16]
  - Organización de Naciones Unidas. (2000). *Objetivos de desarrollo del milenio*. [Portal en línea] Disponible: <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/> [Consulta: 2012, enero 12]
  - Orealc, Unesco (2009). *Segundo Estudio Regional Comparativo y Explicativo*. Aportes para la enseñanza de las Ciencias Naturales. Santiago de Chile: Autor
  - Plan de emergencia escolar. S/F. Material de Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE).
  - Pedrinaci, E. (2010). *¿Qué hizo de la Tierra un planeta habitable?* Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 18(1), 6-15.
  - Pedrinaci, E. (2011). *Ciencias de la Tierra. Una revolución pendiente*. Alambique. 67, 7-9.
  - Salvador R. (2005). *Historia de la Tierra y de la vida*. Barcelona, España: Ariel S A..
  - Tiempo geológico. [Documento en línea] Disponible: <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema19.html> [Consulta: 2012, junio 20]
  - Vieira, K. (2012). *Mujeres astrónomas*. Ponencia presentada en la VI Jornada Nor Oriental de Astronomía en la ciudad de Maturín. Instituto Pedagógico de Maturín. Centro de Investigaciones de Astronomía Fundación "Francisco J. Duarte" (CIDA)
  - UCAR. (2012). *MetEd: Recursos de enseñanza y formación para la comunidad geocientífica*. [Portal en línea] Disponible [https://www.meted.ucar.edu/index\\_es.php](https://www.meted.ucar.edu/index_es.php). [Consulta: 2012, febrero 19]
  - WEC\_Venezuela\_97. (2001). *Geología de Venezuela. "Capítulo 1"*. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.gc.usb.ve/GeoPetroleo/WEC\\_VENEZUELA\\_97/SPANISH/CAP\\_1.PDF](http://www.gc.usb.ve/GeoPetroleo/WEC_VENEZUELA_97/SPANISH/CAP_1.PDF). [Consulta: 2012, julio 14]
  - Woodford. A. (1970). *Geología Histórica*. Omega. Barcelona, España.
- Portales Institucionales recomendados
- Protección Civil: [www.pcivil.gob.ve](http://www.pcivil.gob.ve)
  - Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. [www.funvisis.gob.ve](http://www.funvisis.gob.ve)
  - Ministerio del Poder Popular para la Educación. [www.me.gob.ve](http://www.me.gob.ve)
  - Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. [www.igvsb.gob.ve](http://www.igvsb.gob.ve)
  - Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. <http://www.inia.gov.ve/>
  - Red Agrometeorológica. <http://agrometeorologia.inia.gob.ve/>
  - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <http://www.inameh.gob.ve/>





*Por primera vez en la historia de la humanidad, no por efecto de las armas nucleares, sino por el descontrol de la producción, podemos destruir toda la vida del planeta. Es a esa posibilidad que podemos llamar la era de la exterminación. Pasamos del modo de producción al modo de la destrucción; tendremos que vivir de ahora en adelante enfrentando el permanente desafío de reconstruir el planeta. Tenemos quizás un poco más de 50 años para decidir si deseamos o no destruir el planeta. Los paradigmas clásicos que orientaron hasta ahora la producción y la reproducción de la existencia en el planeta pusieron en riesgo no solamente la vida del ser humano, sino todas las formas de vida existentes en la Tierra.*

**MOACIR GADOTTI**

