
LEOPOLDO GONZÁLEZ OVIEDO

GEOLOGÍA, CIENCIA Y CULTURA



LEOPOLDO GONZÁLEZ OVIEDO

GEOLOGÍA, CIENCIA Y CULTURA

Servicio Geológico Colombiano

Oscar Paredes Zapata
Director General

Autor
Leopoldo González Oviedo

© Servicio Geológico Colombiano
ISBN impreso: 978-958-59782-5-6
ISBN digital: 978-958-59782-6-3

Comité Editorial

Teresa Duque
Presidenta

Integrantes
Margarita Bravo
Marta Lucía Calvache
Mario Andrés Cuéllar
Humberto Andrés Fuenzalida
Mary Luz Peña
Gloria Prieto Rincón
Virgilio Amaris
Viviana Dionicio
Julián Escallón
Armando Espinosa
Juan Guillermo Ramírez
Manuel Hernando Romero

ceditorial@sgc.gov.co
Diagonal 53 n.º 34-53
Bogotá, Colombia
Teléfono: 2 200200 ext. 3048

Corrección de estilo

Édgar Ordóñez

Diseño

Diana Paola Abadía

Diagramación

Leonardo Cuéllar

Editora

Carolina Hernández

Fotografías de carátula

Archivo fotográfico Servicio Geológico Colombiano

Impresión:

Imprenta Nacional de Colombia
Carrera 66 n.º 24-09
Bogotá
PBX: 4578000
www.imprenta.gov.co

Bogotá, D. C., Colombia
Julio de 2019

Citación: González Oviedo, L. (2019). *Geología, ciencia y cultura*.
Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

LEOPOLDO GONZÁLEZ OVIEDO

GEOLOGÍA, CIENCIA Y CULTURA



El futuro
es de todos

Minenergía



1 Sierra Nevada del Cocuy
Fuente: Carmen Rosa Castilblanco



PRÓLOGO

Oscar E. Paredes Zapata
Director General

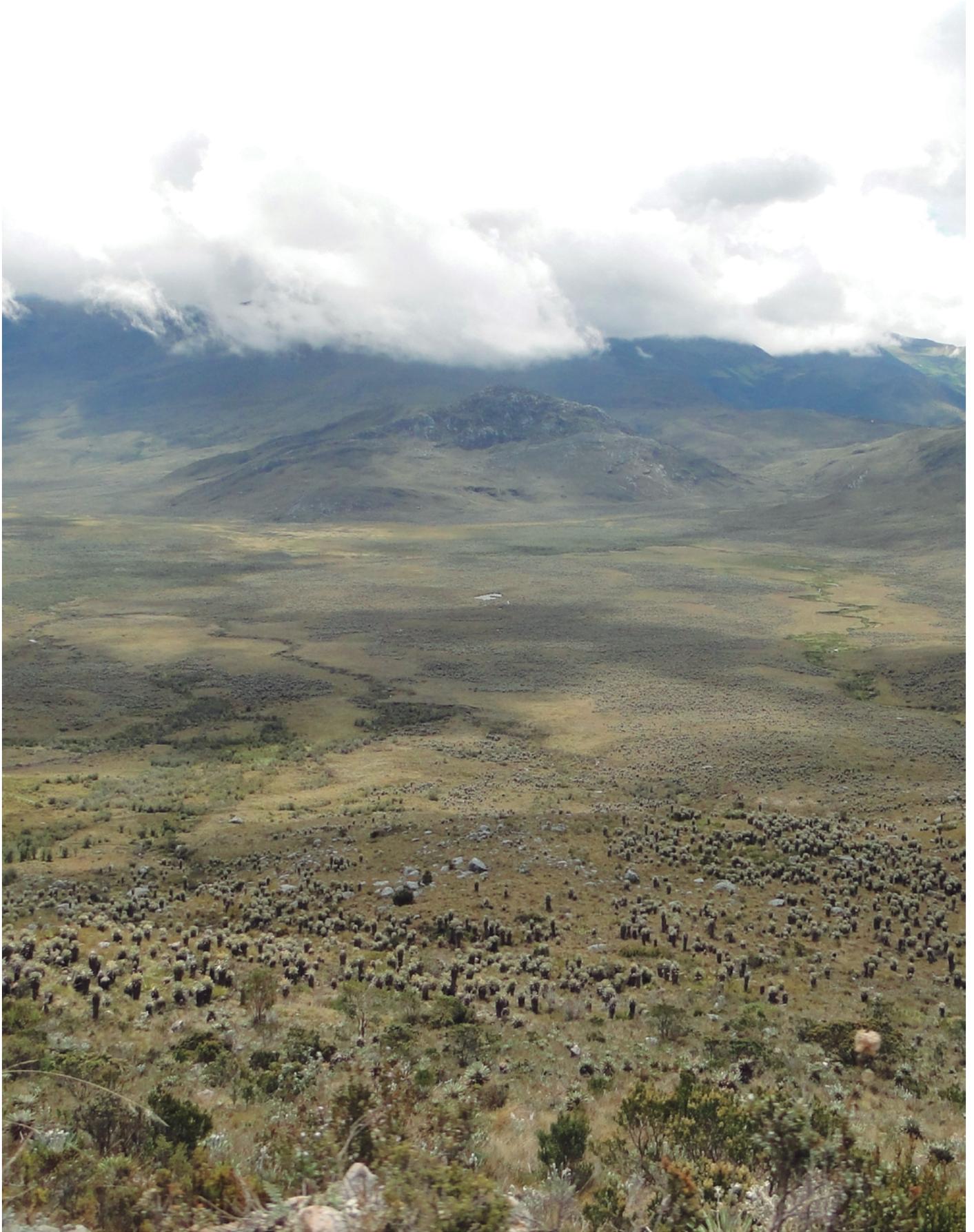
En conmemoración de los cien años de existencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC), se emite esta segunda edición de una publicación que nos narra, de una forma sencilla y amena, lo que es la geología, la paleontología, la mineralogía y la petrografía. Es una publicación didáctica dirigida a estudiantes y personas interesadas en tener un conocimiento general en estos campos, con ejemplos y fotografías tomadas en las diferentes campañas de campo, en su gran mayoría de Colombia.

La publicación contiene un capítulo de conceptos generales sobre lo que es la geología, de qué está compuesto nuestro planeta, cuáles son sus componentes geológicos básicos, por qué debemos estudiar los minerales y las rocas, qué es un mineral y una roca, dónde se encuentran, qué es un yacimiento, qué es una mena, cómo es la estructura de los minerales y cuáles son los tipos de roca. De igual manera, se incluyen capítulos sobre gemas minerales, rocas de usos industriales y paleontología, y se responden preguntas esenciales, como qué son los fósiles y dónde se encuentran, qué son las eras geológicas o cómo hacer una colección de minerales, rocas y fósiles.

Esta nueva edición ha incorporado un capítulo sobre patrimonio geológico, en el que, aparte de definirlo, se expone cuáles son los tipos de patrimonio, los lugares de interés geológico, en qué consiste la geoconservación y cómo se divulga el conocimiento relativo a la geología, entre otros tópicos.

La primera edición de esta obra fue publicada en 1990 con el título *La geología: ciencia y cultura*, cuyo tiraje se agotó rápidamente. Por ello fue necesario hacer una reimpresión en el año 2001, que también se agotó. Desde entonces solo ha estado disponible en formato digital.

Esperamos de esta forma seguir aportando al estudiantado y al público en general un conocimiento global sobre la geología y los recursos minerales.



2 Páramo de la Laguna La Sartaneja, Santander
Fuente: Ingrid Bejarano Arias

CONTENIDO

11

1. INTRODUCCIÓN

13

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 ¿QUÉ ES LA GEOLOGÍA?

2.2 ¿DE QUÉ ESTA HECHO NUESTRO PLANETA?

Origen del planeta Tierra

Estructura de la Tierra

2.3 ¿POR QUÉ DEBEMOS ESTUDIAR LOS MINERALES Y LAS ROCAS?

2.4 ¿QUÉ ES UN MINERAL?

2.5 ¿QUÉ ES UNA ROCA?

2.6 ¿DÓNDE SE ENCUENTRAN LAS ROCAS?

2.7 ¿QUÉ ES UN YACIMIENTO?

2.8 ¿QUÉ ES UNA MENA?

29

3. MINERALES

3.1 CRISTALES

3.2 CRISTALIZACIÓN

3.3 SISTEMAS CRISTALOGRAFICOS

3.4 IDENTIFICACIÓN DE MINERALES

Color

Lustre o brillo

Raya

Luminiscencia

Fluorescencia, y fosforescencia

Iridiscencia

Dureza

Exfoliación o clivaje

Fractura

Tenacidad

Gravedad específica

55

4. LAS ROCAS

Ciclo de las rocas

4.1 ROCAS ÍGNEAS

Diferenciación magmática

Textura de las rocas ígneas

Rocas intrusivas

Rocas extrusivas o volcánicas

4.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

Ambientes de depositación

Tipos de rocas sedimentarias

Clasificación de rocas sedimentarias

Principales rocas sedimentarias

4.3 ROCAS METAMÓRFICAS

Metamorfismo regional

Metamorfismo térmico o de contacto

Metamorfismo hidrotermal

Textura de las rocas metamórficas

Principales rocas metamórficas

85

5. GEMAS, MINERALES Y ROCAS DE USO INDUSTRIAL

5.1 GEMAS

5.2 MINERALES Y ROCAS DE USO INDUSTRIAL

5.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

5.4 MATERIALES ABRASIVOS

93

6. RECURSOS ENERGÉTICOS

6.1 CARBÓN

6.2 PETRÓLEO

6.3 URANIO

6.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA

6.5 VOLCANES

105

7. LOS FÓSILES

7.1 ¿QUÉ SON LOS FÓSILES?

7.2 NATURALEZA DE LOS FÓSILES

7.3 ¿POR QUÉ SE ESTUDIAN LOS FÓSILES?

7.4 ¿DÓNDE SE ENCUENTRAN LOS FÓSILES?

7.5 FORMACIÓN DE LOS FÓSILES

7.6 CLASIFICACIÓN DE FÓSILES: BASES DE LA TAXONOMÍA

7.7 ACTIVIDADES DE EXCAVACIÓN E INTERVENCIÓN DE CARÁCTER PALEONTOLÓGICO

7.8 OTORGAMIENTO DE AUTORIZACIONES PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE EXCAVACIÓN E INTERVENCIÓN DE CARÁCTER PALEONTOLÓGICO

115

8. CÓMO HACER UNA COLECCIÓN

- 8.1 CÓMO CONSEGUIR LAS MUESTRAS
- 8.2 CÓMO PREPARAR LAS MUESTRAS
- 8.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIAL DE LA COLECCIÓN
- 8.4 CONSERVACIÓN DE LA COLECCIÓN

121

9. GEOLOGÍA HISTÓRICA

- 9.1 EL TIEMPO GEOLÓGICO
- 9.2 EÓN PROTEROZOICO
- 9.3 ERA PALEOZOICA
- 9.4 ERA MESOZOICA
- 9.5 ERA CENOZOICA

131

10. PATRIMONIO GEOLÓGICO

- 10.1 TIPOS DE PATRIMONIO GEOLÓGICO
 - Patrimonio inmueble
 - Patrimonio mueble
- 10.2 GEOTOPO
- 10.3 GEOSITIO
- 10.4 ZONA DE PROTECCIÓN PATRIMONIAL GEOLÓGICA Y PALEONTOLÓGICA
- 10.5 INVENTARIO NACIONAL GEOLÓGICO Y PALEONTOLÓGICO
- 10.6 TIPOS DE INVENTARIOS
- 10.7 DOMINIOS GEOLÓGICOS
- 10.8 METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE PATRIMONIO INMUEBLE
- 10.9 GEOCONSERVACIÓN
- 10.10 DIVULGACIÓN
- 10.11 LEGISLACIÓN
- 10.12 GEOTURISMO
- 10.13 GEOPARQUES
- 10.14 EJEMPLOS DE PATRIMONIO MUEBLE EN EL PAÍS

162

11. REFERENCIAS



Desierto La Guajira
Fuente: Alberto Ochoa



1. INTRODUCCIÓN

Con esta publicación, el Servicio Geológico Colombiano desea presentar a estudiantes, profesores y comunidad general una guía en la cual se encuentran los conceptos básicos sobre los minerales, las rocas y los fósiles, materiales naturales que se hallan a nuestro alrededor y que de una u otra forma son la base del desarrollo humano.

La obra da respuestas a algunos interrogantes generales sobre el planeta y sobre los materiales que lo forman. El texto está acompañado de fotografías y esquemas para facilitar la comprensión de los temas tratados. Para quienes desean tener un muestrario del fascinante mundo de los minerales, se dan algunos consejos generales sobre la forma de preparar y conservar una colección de rocas y fósiles, y al final se presenta un capítulo dedicado al tema de patrimonio geológico.

Agradecimientos al geólogo Armando Espinosa por sus aportes en la revisión general del documento, al geólogo Mauricio Pardo por sus aportes al capítulo de fósiles, al geólogo Jaime Reyes por sus aportes a los capítulos siete, ocho y nueve y especial agradecimiento a la geóloga Natalia Cabrera por la revisión general del documento, incluyendo sus aportes al material gráfico y complementación a las referencias bibliográficas.



Cayo Serranilla

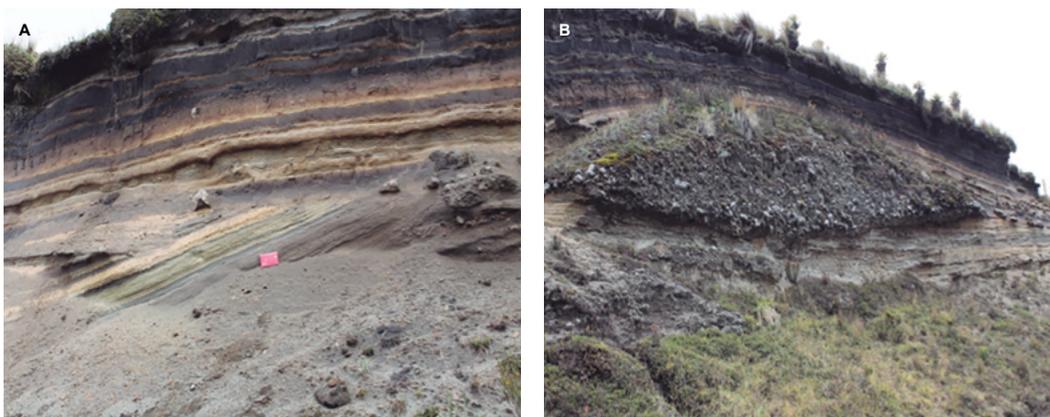
Fuente: Jair Ramirez

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1

¿Qué es la geología?

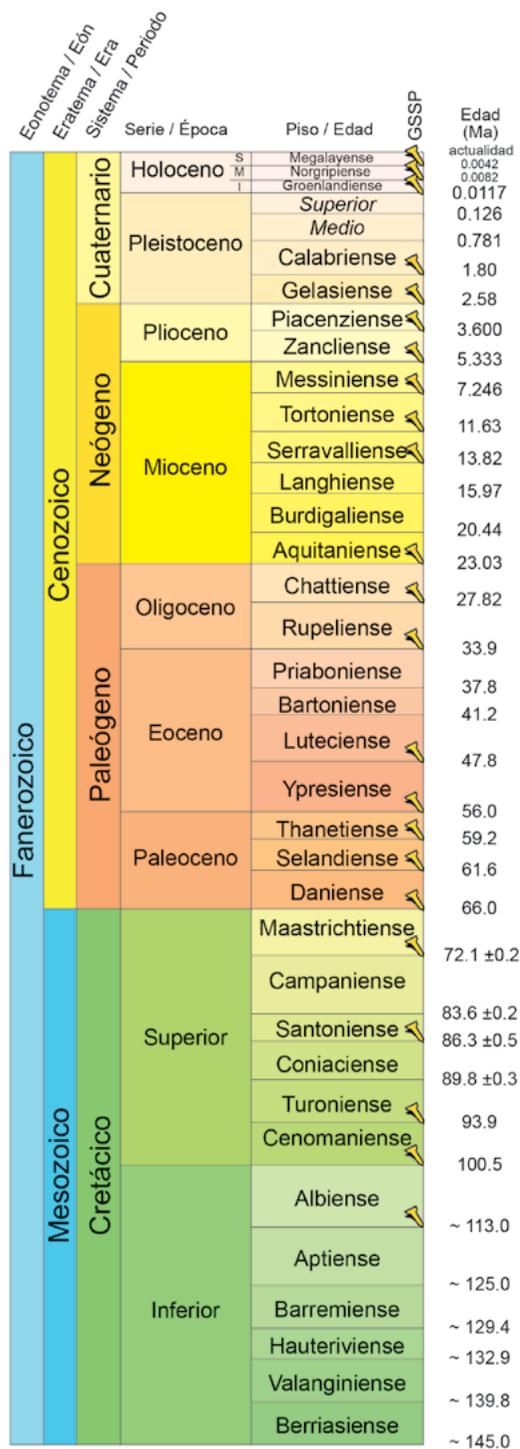
La geología es la ciencia que estudia los materiales que conforman la Tierra y los fenómenos que causan su evolución. De forma particular, la geología estudia los minerales, las rocas, la atmósfera, los sismos, la erosión y los fósiles como testimonio de la vida en tiempos pasados.



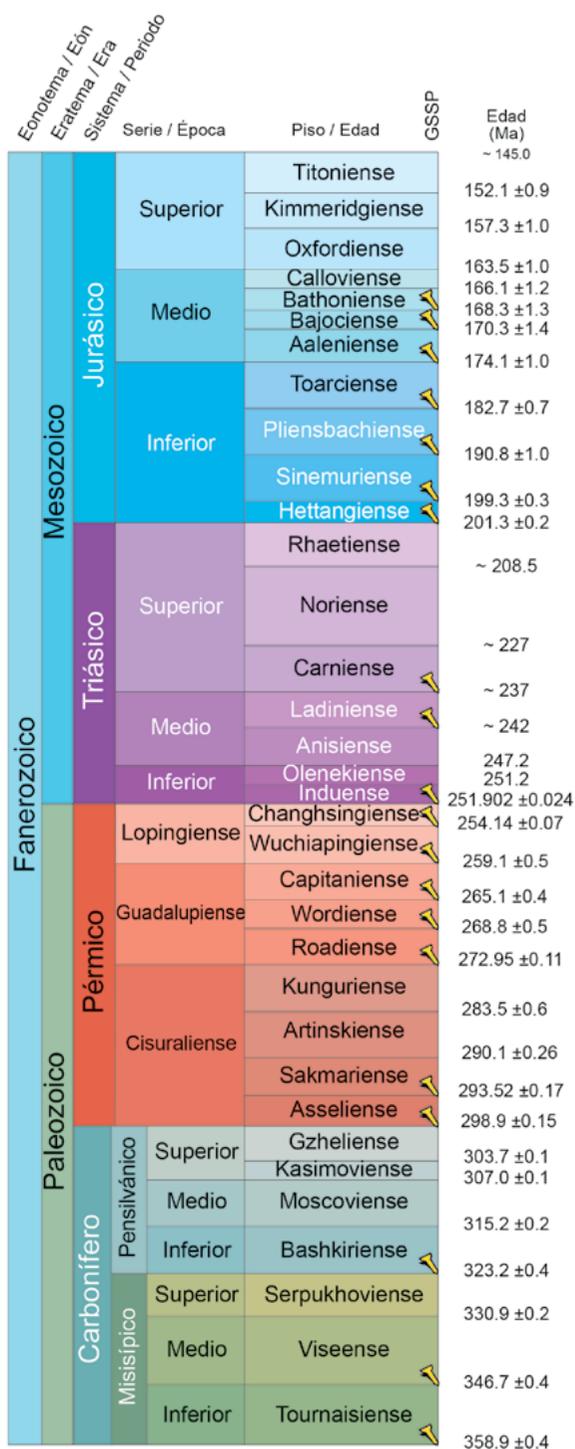
- 3 Depósitos de caídas piroclásticas de los volcanes Cerro Bravo y el Ruiz, vía Manizales-Murillo
A. Discordancia angular en depósitos piroclásticos de los volcanes Cerro Bravo y el Ruiz
B. Depósito de lahar de geometría lenticular, rodeado por depósitos piroclásticos de los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Bravo
Fuente: A. Manuel Eduardo Gómez; B. Estefanía Salgado

Gracias a los métodos de datación que existen actualmente, se ha determinado que la edad de la Tierra es de aproximadamente 4600 millones de años. Los fósiles han jugado un papel importante en la datación, ya que a partir de ellos se puede determinar la edad geológica de las rocas, y por ende, de un lugar.

Los geólogos manejan una escala de tiempo mayor que la que utilizan las personas normalmente: en lugar de hablar de horas, días o años, se habla de millones de años. Para medir el tiempo en términos geológicos existe una tabla dividida por unidades, cuyos límites están determinados por diferentes técnicas geocronológicas, como el uso de isótopos estables e inestables, paleomagnetocronología y otros (Cohen, Finney, Gibbard y Fan, 2013). En dicha tabla se plasman los principales eventos históricos de la Tierra y del desarrollo evolutivo de la vida.



La norma de colores se rige por la de la Comisión del Mapa Geológico del Mundo (CCGM-IUGS) – www.ccgmw.org



Traducción al castellano de J.C. Gutiérrez-Marco en colaboración con: Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM) y Real Academia de Ciencias.

4 Tabla cronoestratigráfica internacional Fuente: <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>

Eonotema / Eón Eratema / Era Sistema / Período		Serie / Época	Piso / Edad	GSSP	Edad (Ma)	
Fanerozoico	Devónico	Superior	Fameniense	↕	358.9 ±0.4	
			Frasniense	↕	372.2 ±1.6	
		Medio	Givetiense	↕	382.7 ±1.6	
			Eifeliense	↕	387.7 ±0.8	
		Inferior	Emsiense	↕	393.3 ±1.2	
			Pragiense	↕	407.6 ±2.6	
			Lochkoviense	↕	410.8 ±2.8	
		Silúrico	Pridoli	↕	419.2 ±3.2	
			Ludlow	Ludfordiense	↕	423.0 ±2.3
				Gorstiense	↕	425.6 ±0.9
	Wenlock		Homeriense	↕	427.4 ±0.5	
			Sheinwoodiense	↕	430.5 ±0.7	
	Llandovery		Telychiense	↕	433.4 ±0.8	
			Aeroniense	↕	438.5 ±1.1	
	Ordovícico		Superior	Rhuddaniense	↕	440.8 ±1.2
		Hirnantense		↕	443.8 ±1.5	
		Katiense		↕	445.2 ±1.4	
		Sandbiense		↕	453.0 ±0.7	
		Medio	Darriwiliense	↕	458.4 ±0.9	
			Dapingiense	↕	467.3 ±1.1	
		Inferior	Floiense	↕	470.0 ±1.4	
			Tremadociense	↕	477.7 ±1.4	
		Cámbrico	Furongiense	Piso 10	↕	485.4 ±1.9
				Jiangshaniense	↕	~ 489.5
	Paibiense			↕	~ 494	
	Miaolingiense		Guzhangense	↕	~ 497	
			Drumiense	↕	~ 500.5	
	Serie 2		Wuliuense	↕	~ 504.5	
Piso 4			↕	~ 509		
Piso 3			↕	~ 514		
Terreneuviense	Piso 2		↕	~ 521		
	Fortuniense		↕	~ 529		
					541.0 ±1.0	

Eonotema / Eón	Eratema / Era	Sistema / Período	GSSA	Edad (Ma)	
Precámbrico	Proterozoico	Ediacárico	↕	541.0 ±1.0	
		Criogénico	↕	~ 635	
		Tónico	↕	~ 720	
		Meso-proterozoico	Esténico	↕	1000
			Ectásico	↕	1200
			Calímico	↕	1400
	Paleo-proterozoico	Estatérico	↕	1600	
		Orosírico	↕	1800	
		Riácico	↕	2050	
		Sidérico	↕	2300	
	Arcaico	Neo-arcaico	↕	2500	
		Meso-arcaico	↕	2800	
		Paleo-arcaico	↕	3200	
		Eo-arcaico	↕	3600	
		Hádico	↕	4000	
				~ 4600	

Todas las unidades de esta Tabla, cualquiera que sea su rango, se definen por el Estratotipo Global de Límite (GSSP - *Global Boundary Stratotype Section and Point*) referido siempre a su límite inferior. Este proceso se halla todavía inacabado e incluirá las unidades del Arcaico y Neoproterozoico, cuyas divisiones se convinieron inicialmente mediante edades absolutas (GSSA - *Global Standard Stratigraphic Ages*). La posición de los GSSP oficiales se indica en la tabla mediante el símbolo del "Clavo Dorado" (*Golden Spike*), que los materializa en el terreno. El original de la tabla en distintos idiomas y formatos, junto con los detalles de los estratotipos globales de límite (criterio de definición de cada uno, localización geográfica y geológica, correlación, etc.), están disponibles en la web www.stratigraphy.org.

Las edades absolutas, expresadas en millones de años (Ma), son sólo orientativas, pues tanto el Ediacárico como las unidades del Fanerozoico se definen formalmente por sus correspondientes GSSP, en vez de por edades numéricas. No obstante, para aquellas divisiones que no cuentan aún con un estratotipo global o con edades bien establecidas, se indican las dataciones aproximadas (~ Ma) de sus límites. Las edades numéricas han sido tomadas de Gradstein *et al.* (*A Geologic Time Scale 2012*), con excepción de las correspondientes al Cuaternario, Paleógeno superior, Cretácico, Triásico, Pérmico y Precámbrico, que fueron aportadas por las subcomisiones respectivas de la ICS-IUGS.

Tabla diseñada por K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard y J.-X. Fan © International Commission on Stratigraphy (IUGS), Agosto 2018

Citar como: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; actualizada). The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

<http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2018-08Spanish.pdf>



2.2

¿De qué está hecho nuestro planeta?

La Tierra está constituida por el núcleo, el manto, la corteza, la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera.

El núcleo es la porción más interna de la Tierra, tiene una densidad muy alta (calculada entre 10 y 15 gr/cm³) y una temperatura superior a los 3700 °C. Tiene un diámetro aproximado de 3500 km.

El espesor del manto es de 2900 km y se estima que su temperatura, cerca del núcleo, es de 3700 °C, y algo más de 1000 °C debajo de la corteza. Esta última es la capa más externa de la Tierra y se divide en *continental*, compuesta principalmente por silicio y aluminio (sial), y *oceánica*, formada fundamentalmente por silicio y magnesio (sima).

El espesor de la corteza varía entre 5 y 7 km debajo de los fondos oceánicos, y 30 a 40 km debajo de los continentes.

La Tierra se originó a partir de una nube turbulenta de gas, polvo y planetoides que giraban a gran velocidad alrededor del sol primitivo. A medida que todo giraba, los elementos más pesados se empezaron a acumular en masas y formaron centros de gravedad a los que se unieron otras partículas menores. Durante este proceso el planeta Tierra aumentó su temperatura debido al constante bombardeo de asteroides y la compresión del material que la formaba.

Todo este proceso duró aproximadamente 100 millones de años, durante los cuales alcanzó temperaturas de 1000 °C, que disminuyeron con la liberación de gases y la disminución de la velocidad. Las altas temperatura permitieron la acumulación de hierro fundido hacia el centro de la Tierra, que formaría el núcleo y el manto, lo cual haría que el interior fuera más caliente, menos viscoso y más dinámico. Por la ausencia de atmósfera, la superficie se enfrió rápidamente, y a raíz de ello se formó una corteza primitiva que se fundía una y otra vez debido a las grandes corrientes de convección y a los fuertes impactos de meteoritos gigantes que se sumergían en la delgada corteza y que aumentaban la masa del planeta. Debido a que la corteza era tan inestable, no hay registro geológico de los primeros 700 millones de años de la Tierra. Una corteza estable no se formó hasta hace 2700 millones de años, con los procesos tectónicos actuales (Erickson, 2003).

ORIGEN DEL PLANETA TIERRA

Para hablar del origen de nuestro planeta es necesario remontarse a los orígenes del cosmos. Existen tres teorías para explicar el origen del universo:



1. La teoría del estado estacionaria
2. La teoría de pulsaciones
3. La teoría del *big bang*

Esta última es la más conocida entre la comunidad, y propone que el universo surgió hace 4.500 millones de años. Ese lapso está subdividido en varias eras:

- » La era Planck
- » La era GUT
- » La era Electrodébil
- » La era de la Partícula
- » La era de la Nucleosíntesis
- » La era de los Núcleos
- » La era de los Átomos
- » La era de las Galaxias

El planeta Tierra empezó a formarse aproximadamente hace 4500 millones de años y se hace parte de la galaxia denominada Vía Láctea. Una galaxia es básicamente una gran acumulación de estrellas, nubes y polvo que se encuentra en constante actividad. La cantidad de galaxias que existe en el universo es enorme, y se cree que en el universo que alcanzamos a observar hay al menos 100.000 millones de galaxias (Bennett, Donahue, Schneider y Voit, 2009).

El astrónomo Edwin Hubble reconoció tres principales tipos de galaxias: elípticas, lenticulares y espirales, y dio a las que no encajan en estas categorías las llamó irregulares (Sparke y Gallagher, 2007).

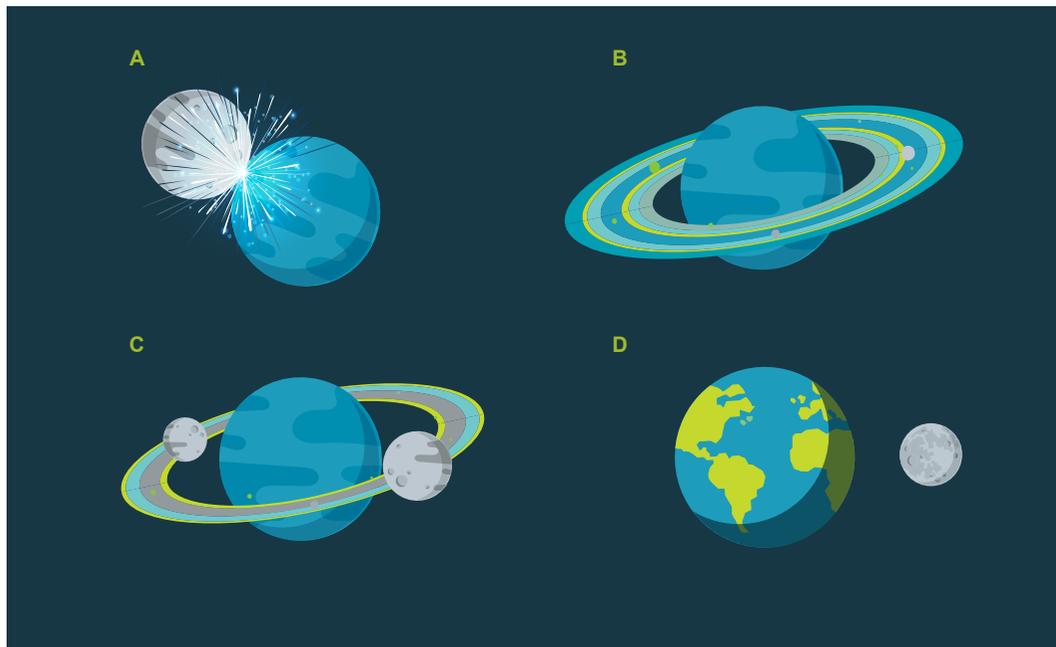
En la Vía Láctea se encuentra nuestro sistema solar, formado hace aproximadamente 4500 millones de años y conformado principalmente por el Sol (que es una estrella) y ocho planetas que giran alrededor de él, incluida la Tierra.

En el sistema solar se pueden clasificar tres tipos de planetas: los cuatro más cercanos al Sol, denominados menores o terrestres (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte), caracterizados por tener superficies rocosas y ser densos; los cuatro siguientes, más lejanos del Sol, son llamados mayores o jovianos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), su tamaño es mayor que el de los anteriores y tienen una menor densidad que los primeros, y los denominados planetas enanos (Ceres, Plutón y Charonte, así como UB313) (Rojas y Paredes, 2008).



5

Tamaños relativos del Sol y los planetas
Fuente: SGC



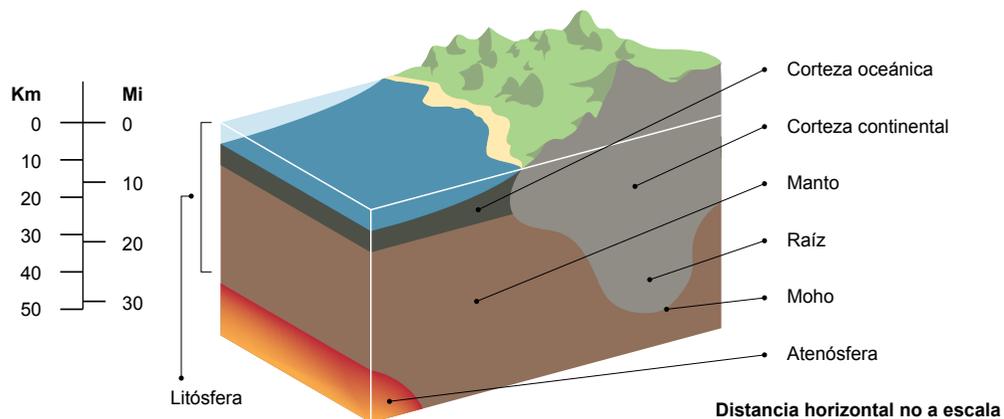
6 Formación de la Luna
Fuente: tomada y modificada a partir de Erickson (2003)

La Luna, único satélite natural de la Tierra, tiene un diámetro de 3474 km y su tamaño, masa y densidad es mucho menor que el de esta. Viaja a una velocidad de 3700 km/h y carece de atmósfera. Sobre su formación, la teoría *the big splash* señala que un gran cuerpo chocó con lo que entonces era la Tierra, lo que hizo que esta liberara parte de su material fundido, a raíz de lo cual se formó un anillo de escombros llamado *disco prelunar* (figura 6).

ESTRUCTURA EXTERNA DE LA TIERRA

La Tierra tiene en su parte externa cuatro esferas: atmósfera, hidrósfera, biósfera y litósfera (Rojas y Paredes, 2008).

- » **Atmósfera.** Es una capa gaseosa que rodea la Tierra. Está constituida principalmente por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), anhídrido carbónico (0.03%), argón y neón (vapor de agua y polvo atmosférico). La atmósfera está dividida a su vez en tropósfera (zona donde ocurren los fenómenos meteorológicos), estratósfera (en esta se ocupa la capa de ozono y carece de nubes) e ionósfera (es donde ocurren las auroras boreales debido a que los gases tienen una carga eléctrica).
- » **Biósfera.** Es el conjunto formado por todo tipo de vida que existe en la Tierra. Está constituida principalmente por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo.
- » **Hidrósfera.** Comprende todas las masas de agua de la Tierra, tales como océanos, mares, ríos, lagos, aguas subterráneas, hielo y nieve.



7 Estructura de la parte superior de la Tierra
Fuente: tomada y modificada a partir de Stanley (2009)

ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

La estructura interna de la Tierra se puede dividir en función de sus propiedades químicas o físicas (Tarbuck y Lutgens, 2005). Las siguientes son las capas definidas a partir de su composición química:

- » **Corteza.** Es la capa rocosa más externa de la Tierra y está dividida en oceánica y continental. La corteza oceánica está compuesta por rocas ígneas denominadas *basaltos* y tiene alrededor de 7 km de espesor; las rocas de esta corteza son más densas y más jóvenes que las de la corteza continental. Por el contrario, la corteza terrestre no tiene una composición química relativamente homogénea y su espesor oscila entre 35 y 40 km, si bien en algunas zonas montañosas alcanza los 70 km.
- » **Manto.** Esta capa rocosa alcanza profundidades de hasta 2900 km y representa más del 82 % del volumen de la Tierra.
- » **Núcleo.** La parte más interna de la Tierra está compuesta por una aleación de hierro y níquel, y cantidades de oxígeno, silicio y azufre. Es la parte más densa del planeta.

Las siguientes son las capas definidas a partir de sus propiedades físicas:

- » **Litósfera y astenósfera.** La parte más externa de la Tierra está conformada por la corteza y el manto superior, cuyo estado es sólido y relativamente rígido y frío. La litósfera tiene un grosor medio de 100 km, y llega a alcanzar los 250 km de espesor en las partes más antiguas de los continentes. Debajo de esta capa se sitúa el manto superior, a una profundidad aproximada de 660 km; dentro de este existe una capa blanda denominada astenósfera, cuyas propiedades plásticas permiten el movimiento independiente de la litósfera (figura 8).

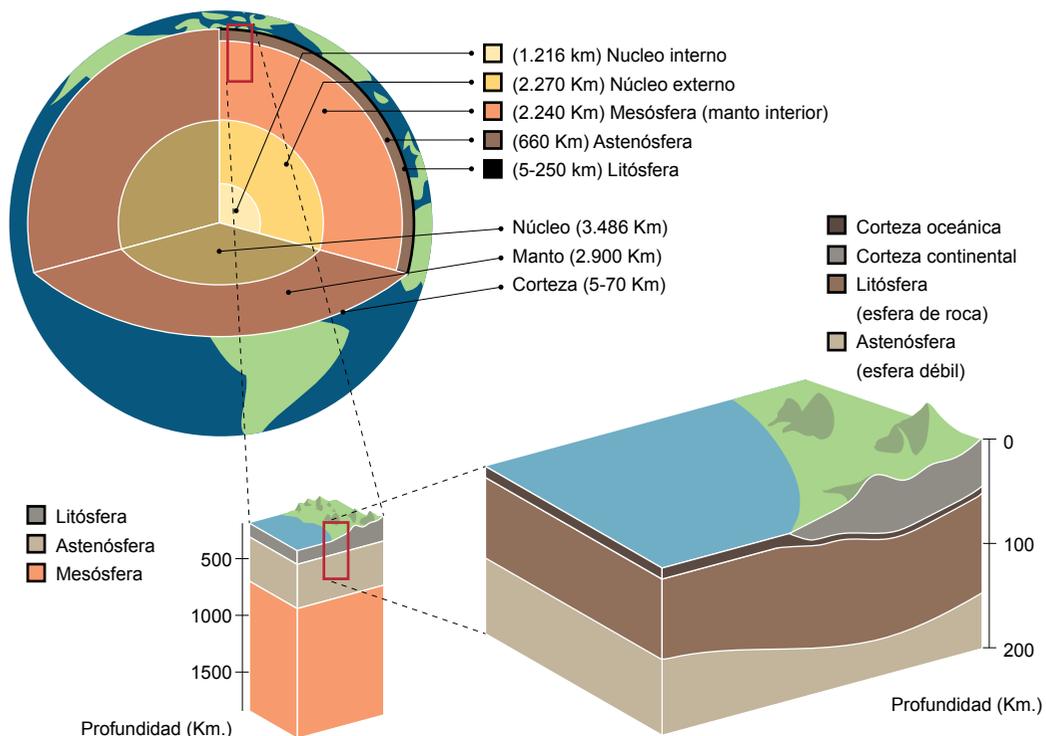
- » **Mesósfera o manto inferior.** Se ubica entre los 660 y los 2900 km de profundidad. Debido al aumento de presión y temperatura, esta capa es más rígida que la anterior.
- » **Núcleos interno y externo.** El núcleo está dividido en dos niveles. El núcleo externo tiene propiedades líquidas y un grosor estimado de 2270 km. Allí se genera el campo magnético de la Tierra. El núcleo interno es una esfera cuyo radio mide 1216 km, y tiene un comportamiento sólido debido a las altas presiones.

La hidrósfera comprende todas las aguas: océanos, lagos, ríos, aguas subterráneas, hielo y nieve.

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve al planeta, y está formada principalmente por oxígeno, nitrógeno y vapor de agua.

La biósfera está conformada por el conjunto de seres vivos que habitan en el planeta y que se encuentran en la parte superior de la corteza o sobre ella, como también en la hidrósfera y en la atmósfera.

Los materiales del manto y la corteza se manifiestan en forma de elementos químicos, minerales y rocas. Hay más de 3000 especies o variedades de minerales. Las rocas (agregados naturales de minerales) conforman en su mayor parte la corteza.



8 Capas de la estructura interna de la Tierra. La parte central ilustra la división según propiedades químicas, y la parte superior derecha, la división según propiedades físicas

Fuente: tomada y modificada a partir de Tarbuck y Lutgens (2005)

2.3

¿Por qué debemos estudiar los minerales y las rocas?

Vivimos en contacto permanente con minerales y rocas, pero a menudo los ignoramos. En nuestra vida cotidiana, para nuestra comodidad usamos muchísimas cosas que se obtienen de los minerales, como, por ejemplo, el vidrio, que se fabrica a partir de la arena de cuarzo; la gasolina, los aceites y los plásticos, que se producen a partir del petróleo, y los hidrocarburos, que se almacenan en rocas sedimentarias; los metales utilizados en la industria y en multitud de objetos; las tintas para impresión, e innumerables productos químicos y farmacéuticos. Todo eso se obtiene de los minerales; por eso es fascinante y útil su estudio.



9

Cañón del río Sogamoso

En este sector afloran rocas sedimentarias y explotaciones de calizas y yesos

Fuente: archivo SGC

2.4

¿Qué es un mineral?

Los minerales son elementos o compuestos químicos de estructura cristalina formados por un proceso inorgánico natural. Se identifican, aparte de su estructura cristalina, por su color, dureza, raya, fractura, lustre, tenacidad y exfoliación, entre otras características. Más adelante se definirán estas propiedades.

En la corteza se presentan diferentes procesos inorgánicos que responden a condiciones físico-químicas especiales. Todo mineral es una sustancia homogénea que por lo general se manifiesta en forma sólida cristalina. Sin embargo, aunque son sustancias cristalinas, no siempre presentan ese aspecto en su exterior. Cuando el mineral es un agregado de cristales diminutos, no distinguibles a simple vista, puede presentar un aspecto no cristalino.

Cada mineral tiene propiedades químicas y físicas que le son características debido a su composición química definida.

Un ejemplo es la pectolita (silicato de sodio y calcio). Los silicatos son compuestos de silicio y oxígeno. En la figura 10 se aprecia el hábito (aspecto) acicular (en agujas) del mineral.



10 Pectolita (silicato de sodio y calcio)
Fuente: Museo SGC

2.5

¿Qué es una roca?

Las rocas son agregados sólidos de uno o más minerales y se forman de forma natural. Ejemplos de ellas son las areniscas, los granitos y los esquistos. También pueden estar formadas por un mineral, como en el caso de la caliza, formada de calcita. Otras tienen varios minerales, como el granito, que contiene cuarzo, feldespato y mica como constituyentes principales; las areniscas, por su parte, contienen cuarzos, feldespatos, minerales arcillosos, etc.

Las rocas se originan a partir de diferentes procesos físico-químicos. Con el tiempo geológico se transforman o evolucionan.

Según el origen, las rocas se pueden clasificar en ígneas, sedimentarias y metamórficas, términos que se definirán más adelante.



11 Gabro (roca ígnea)
Fuente: Museo SGC



12 Conglomerado (roca sedimentaria)
Fuente: Museo SGC



13 Pizarra (roca metamórfica)
Fuente: Museo SGC

2.6

¿Dónde se encuentran las rocas?

Las rocas forman la corteza terrestre, y por lo tanto las encontramos en todas partes; sin embargo, en muchos lugares están cubiertas por suelos y vegetación o por sedimentos, por lo cual no están visibles. Forman montañas y valles y, en general, el relieve que conocemos. Existen tres grandes tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias. En el capítulo 4 nos referiremos a ellas.



14 Sierra Nevada del Cocuy
Fuente: Carmen Rosa Castilblanco



15 Puracé, Popayán
Fuente: archivo SGC



¿Qué es un yacimiento?

En un sentido amplio, un yacimiento es cualquier roca o grupo de rocas que contengan minerales o fósiles de interés económico o científico. En sentido estricto y para este capítulo, el término se refiere a la concentración de uno o varios minerales económicamente explotables.

Los yacimientos pueden ser primarios, cuando su origen es magmático,¹ o secundarios, si se forman a partir de la alteración de minerales primarios por meteorización o por metamorfismo. En los capítulos 7 y 8 se hace referencia a los yacimientos paleontológicos.

¹ El término *magmático* deriva de *magma*, que a su vez alude a rocas fundidas que forman una pasta en el interior de la Tierra debido a la gran presión y a la temperatura allí presente. Cuando el magma sube hacia la superficie se va enfriando, a raíz de lo cual se originan, en primer lugar, las rocas ígneas intrusivas, como el granito, y en la superficie, las rocas extrusivas, como las riolitas.

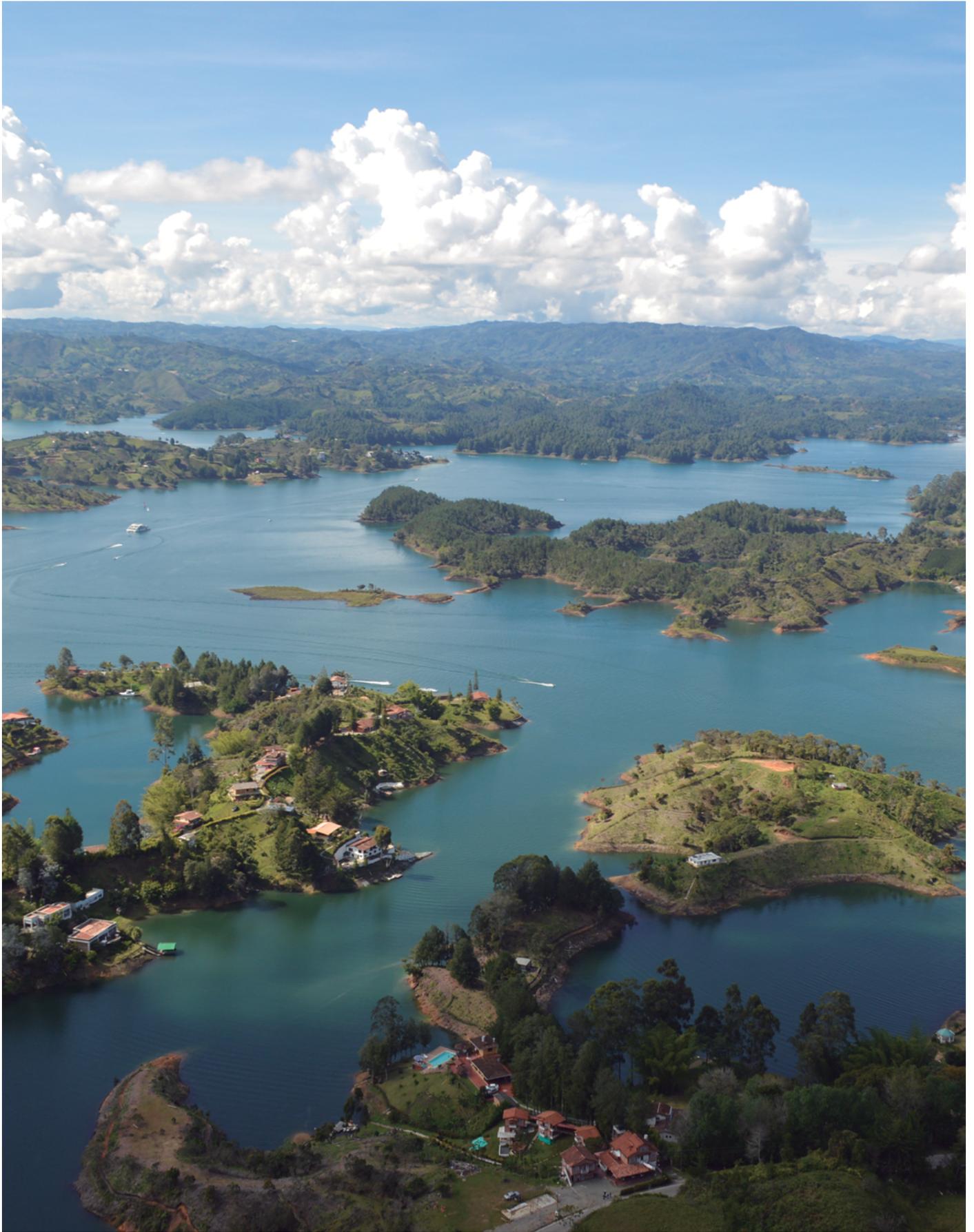


16 Yacimiento de cobre, Chile
Fuente: Archivo SGC

2.8

¿Qué es una mena?

La mena es la parte de una explotación minera formada por uno o varios minerales útiles, económicamente aprovechables. Se le llama *ganga* al resto de minerales acompañantes que no son útiles en esa explotación.



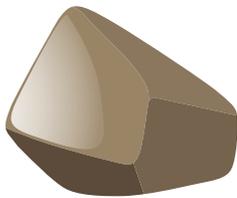
Guatapé
Fuente: Laura Riveros

3. MINERALES

En este capítulo se hace énfasis en los cristales, estructura cristalina, sistemas de cristalización e identificación de minerales, mas no en su composición química y clases. En sentido amplio, los minerales son sustancias inorgánicas homogéneas conformadas por elementos de composición química definida.

La palabra *mineralogía* proviene de *mineral* y de *-logía* (estudio de...) (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Los minerales son los principales componentes de las rocas y presentan las siguientes características:



1. Deben aparecer de forma natural
2. Deben ser inorgánicos
3. Deben ser sólidos
4. Deben tener una estructura interna ordenada, es decir, sus átomos deben estar dispuestos según un modelo definido
5. Deben tener una composición química definida, que puede variar dentro de unos límites

Actualmente se conocen casi 4000 minerales, y cada año se identifican más. Los minerales están compuestos de átomos ordenados que forman una estructura cristalina y tienen una composición química definida. Estos dos factores determinan las propiedades físicas del mineral y se pueden identificar de manera sencilla (Tarbuck y Lutgens, 2005).

De los minerales que componen la Tierra, doce son considerados formadores de rocas. Los minerales pueden ser clasificados en siete grupos:

- » **Silicatos.** Son los más abundantes, pues componen más del 90 % de la corteza terrestre. Su componente básico es el tetraedro silicio-oxígeno SiO_4 y los minerales que hacen parte de este grupo son el cuarzo, olivino, feldespatos, micas, el grupo de los anfíboles y el de los piroxenos.
- » **Carbonatos.** Este grupo está compuesto por el ion carbonato CO_3 y los minerales más comunes con la calcita y la dolomita.
- » **Sulfatos.** Su base es SO_4 , y uno de los más conocidos es el yeso.

- » **Haluros.** Reconocidos por la presencia del mineral halita (la sal de cocina). Sus iones principales son el Cl, F y B.
- » **Óxidos.** Este grupo es importante por proveer hierro, principalmente la hematita y la magnetita.
- » **Sulfuros.** Son compuestos de azufre, y ejemplos notables son la galena y la calcopirita.
- » **Elementos nativos.** Compuestos por un elemento, como el oro, la plata, el carbono y la fluorita.



17 Estibina (sulfuro de antimonio)
Fuente: Museo SGC

3.1

Cristales

Como se indicó, los minerales son cuerpos homogéneos que tienen una composición química definida y una estructura atómica que se ordena de modo tal que da lugar a los cristales sólidos geométricos, limitados por caras planas, a diferencia del vidrio volcánico, que no forma cristales, sino que es amorfo, debido a que cuando el magma sale muy rápido a la superficie terrestre, no da tiempo a la formación de cristales, o si los tiene, no se pueden apreciar a simple vista. Por el contrario, cuando el magma sale lentamente a la superficie, da tiempo a la formación de cristales.

Un cristal es un sólido homogéneo que tiene un orden interno tridimensional y que bajo condiciones favorables en su exterior puede presentar superficies planas y lisas (Dana y Hurlburt, 1960). El estudio de su crecimiento, forma externa y estructura interna se denomina *crystalografía*.

Un ejemplo de sistema cristalino hexagonal es el del cuarzo, con su forma típica bipi-ramidal.



18 Cuarzo en drusa
Fuente: Museo SGC

3.2

Cristalización

La mayoría de los cristales se forman a partir de material fundido, soluciones, líquidos o vapores cuyos átomos desordenados, al cambiar la temperatura, presión y concentración, pueden reagruparse ordenadamente para formar sólidos que tienen estructuras cristalinas. También se forman por evaporización del agua, como ocurre en Manaure (La Guajira) con la formación de la sal; de igual manera, por procesos hidrotermales (fluidos a altas temperaturas ricos en minerales).

Los cristales se forman principalmente de tres formas: a partir de una solución, de un medio fundido o de un gas.

3.3

Sistemas cristalinos

Los cristales de los minerales están definidos por los sistemas cristalinos, y la estructura interna de un cristal se caracteriza por la disposición ordenada de los átomos y su repetición en toda la estructura. De esta manera, es posible clasificar la estructura interna de los cristales en siete sistemas cristalográficos definidos por los rasgos de la simetría:

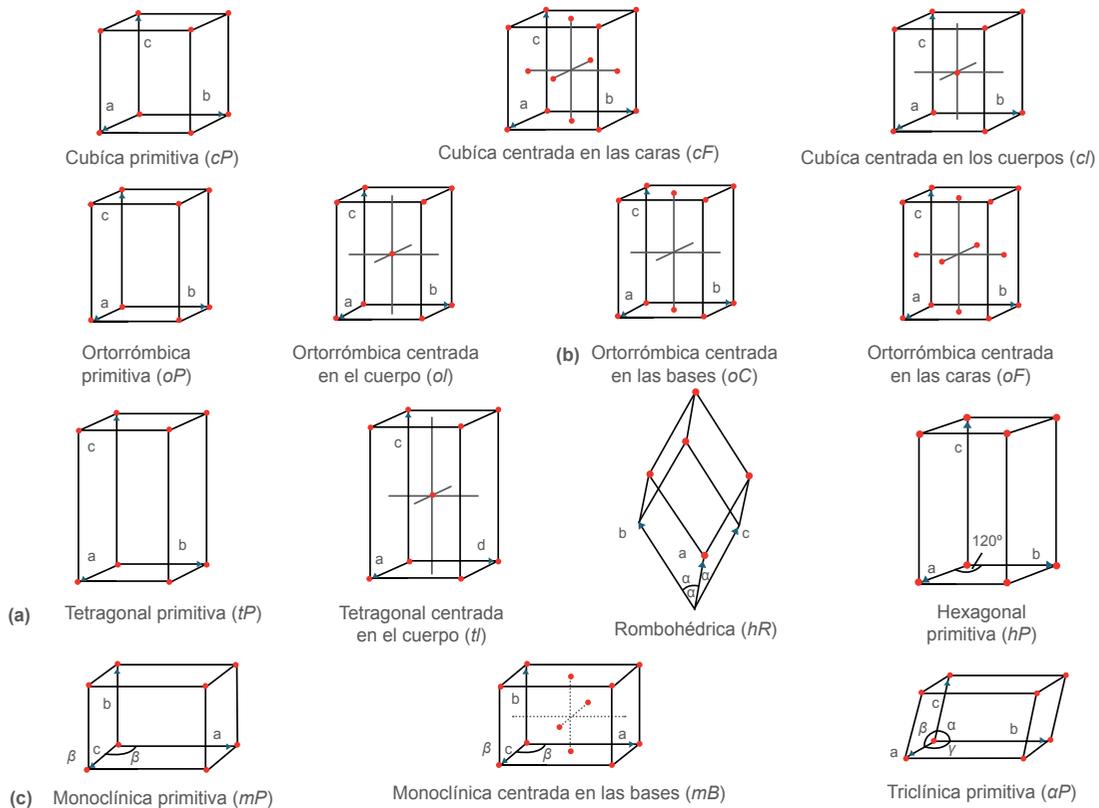
1. Ejes cristalográficos
2. Ángulo entre los ejes cristalográficos
3. Longitud de los ejes cristalográficos

Tabla 1. Sistemas cristalinos

Familia cristalina	Sistema cristalino	Relación entre ejes
Isométrica	Cúbico	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
Tetragonal	Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
Ortorrónica	Ortorrónico	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
Monoclínica	Monoclínico	$a \neq b \neq c, \alpha = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ, \gamma = 90^\circ$;
Anórtica	Triclínico	$a \neq b \neq c, \alpha \neq 90^\circ, \beta \neq 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$;
Hexagonal	Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$;
	Trigonal o romboedra	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma, \text{ ó}$ $a' = b' \neq c', \alpha' = \beta' = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$; (ejes hexagonales)

Fuente: Tilley (2006)

Estos, a su vez, están distribuidos en catorce redes conocidas como *redes espaciales de Bravais*



19 Redes de Bravais
a, b, y c representan los ejes de simetría
Fuente: Tilley (2006)

Cada mineral cristaliza dentro de uno de los siete sistemas cristalinos (Tilley, 2006), según la simetría que presente en relación con los tres ejes de referencia.

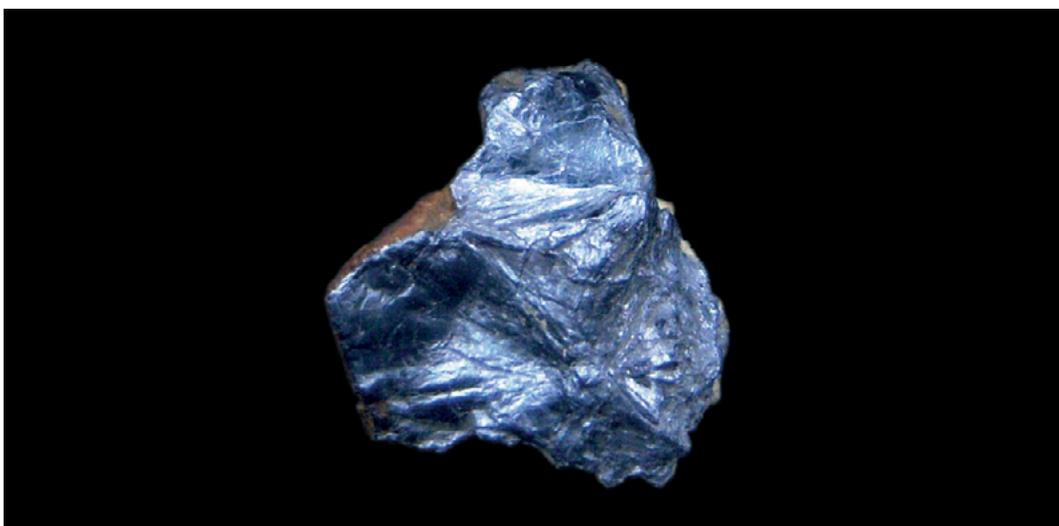
A continuación se mencionan los sistemas y se indican ejemplos de minerales de cada uno:

- » **Cúbico o isométrico.** Los tres ejes cristalográficos son de igual longitud, como la magnesita, la fluorita y la galena.



20 Fluorita (mineral de flúor y calcio)
Fuente: Museo SGC

- » **Hexagonal.** A diferencia del cúbico, este sistema contiene cuatro ejes de igual longitud, como la calcita, el apatito, nefelina y grafito.



21 Grafito (mineral de carbono)
Fuente: Museo SGC

- » **Tetragonal.** Este sistema se diferencia por tener dos ejes iguales y uno diferente, como por ejemplo el rutilo, la idocrasa, la calcopirita y la pirita.



22 Calcopirita (sulfuro de cobre y hierro)
Fuente: Museo SGC



23 Pirita en cuarzo
Fuente: Museo SGC

- » **Ortorrómico.** Se caracteriza por tener sus ejes desiguales y perpendiculares entre sí, como la siderita, la baritina y el azufre.



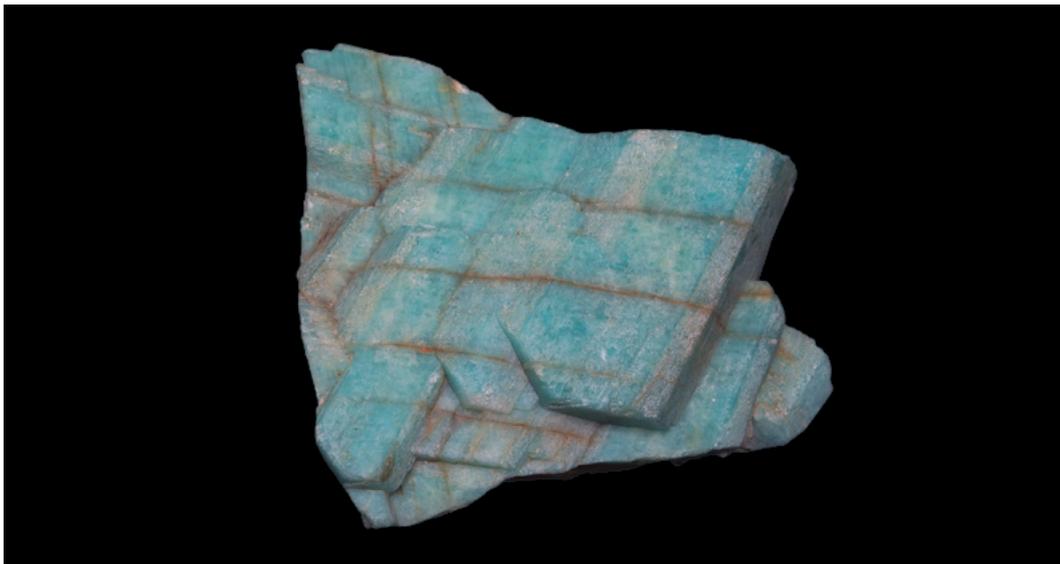
24 Azufre (elemento químico, no metálico)
Fuente: Museo SGC

- » **Monoclínico.** Se caracteriza por tener dos de sus ejes desiguales que se cortan oblicuamente, como la epidota, caolinita, ortoclasa y la biotita.



25 Ortoclasa
Fuente: Museo SGC

- » **Triclínico.** Este sistema se caracteriza por tener entre sus ejes ángulos diferentes de 90° , como se observa en la microclina, la turquesa y la albita.



26 Microclina, variedad amazonita
Fuente: Museo SGC

3.4

Identificación de minerales

La identificación puede llevarse a cabo por medios físicos, aplicando varios parámetros de medida, porque cada mineral tiene propiedades físicas definidas y características. Las principales propiedades utilizadas para medir son el color, el lustre, la raya, luminiscencia, fluorescencia, fosforescencia e iridiscencia, todas dependientes de la luz.

Otros parámetros para identificar los minerales son por su dureza, exfoliación, fractura y tenacidad, dependientes de la cohesividad molecular. Finalmente, existen otras formas de identificarlos, a partir del peso o gravedad específica, el magnetismo y ciertas propiedades eléctricas.

A continuación, se explicarán brevemente esas propiedades:

COLOR

Esta es la característica más fácil de identificar; sin embargo, algunos minerales tienen colores variados debido a la aparición de impurezas durante su formación.

Se debe tener en cuenta que cuando la luz incide sobre la superficie de un mineral, este puede dejarla pasar totalmente sin absorberla; en este caso, el mineral es incoloro (transparente).



27 Drusa de cuarzo de color amarillo, como el citrino
Fuente: Museo SGC

Cuando un mineral absorbe ciertas longitudes de onda y refleja solo parte de la luz recibida, presenta el color de las ondas reflejadas.

El color puede ser variable para un mismo mineral; es decir, puede presentarse de diferentes colores, según la forma en que cristalice, según las impurezas que incluya o el grado de alteración que sufra después de su formación. Por eso, el color no puede tomarse como una característica invariable de cada mineral, aunque hay algunos que presentan uno solo, en especial minerales metálicos como la malaquita (siempre verde) la azurita (siempre azul) y la rodocrosita (siempre roja).

Por otra parte, los iones de algunos elementos químicos, aunque solo estén en un mineral como trazas (en muy pequeña cantidad), reflejan intensamente parte de la luz y por ello le dan al mineral una coloración intensa. A esos iones se les llama *cromóforos*, y entre ellos están los de hierro, cobre, cromo, cobalto y vanadio. Es así como el verde oscuro de la esmeralda es producido por las pequeñas cantidades de cromo en el berilo; el azulado de la misma esmeralda procede del vanadio; el púrpura de la amatista se debe a las trazas de hierro en el cuarzo, y así con los demás minerales.

La esmeralda es una variedad de berilo (silicato de berilio) que en su fórmula química contiene berilio, silicio y oxígeno.



28 Berilo (variedad esmeralda). El color verde es producido por el cromo
Fuente: Museo SGC

Nota. Para determinar el color real de un mineral es necesario observar una superficie fresca, libre de cualquier película o pátina debida a alteración, que le puede dar al mineral una coloración diferente al color real.

LUSTRE O BRILLO

Es el aspecto o apariencia general que presenta la superficie de un mineral al reflejar la luz. Puede ser de dos clases: *metálico* y *no metálico*. No hay una línea clara de separación entre las dos clases, por lo cual a ciertos minerales se les asigna un brillo denominado *submetálico*.

Un ejemplo de mineral con brillo metálico es la galena, cuya fórmula es PbS (sulfuro de plomo), como lo muestra la fotografía.



29 Galena (sulfuro de plomo)
Fuente: Museo SGC

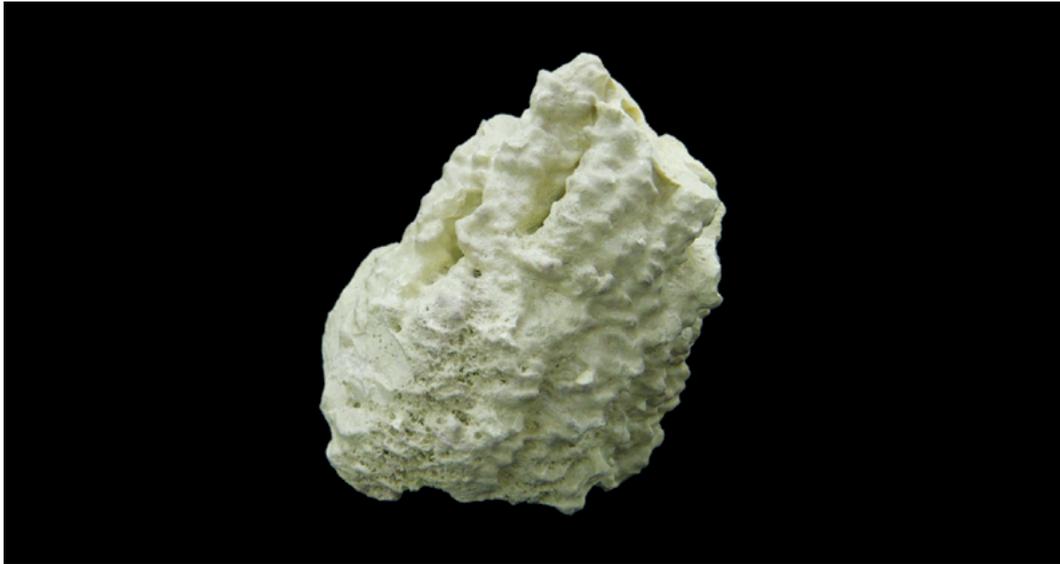
Por otra parte, el brillo no metálico se puede subdividir en otras clases, como se indica a continuación:

» **Vítreo.** Tiene un reflejo como el del vidrio. Ejemplos: cuarzo, turmalina.



30 Cuarzo: cristal de roca con su color transparente característico
Fuente: Museo SGC

- » **Resinoso.** Da el aspecto de una resina. Ejemplos: blenda, azufre.



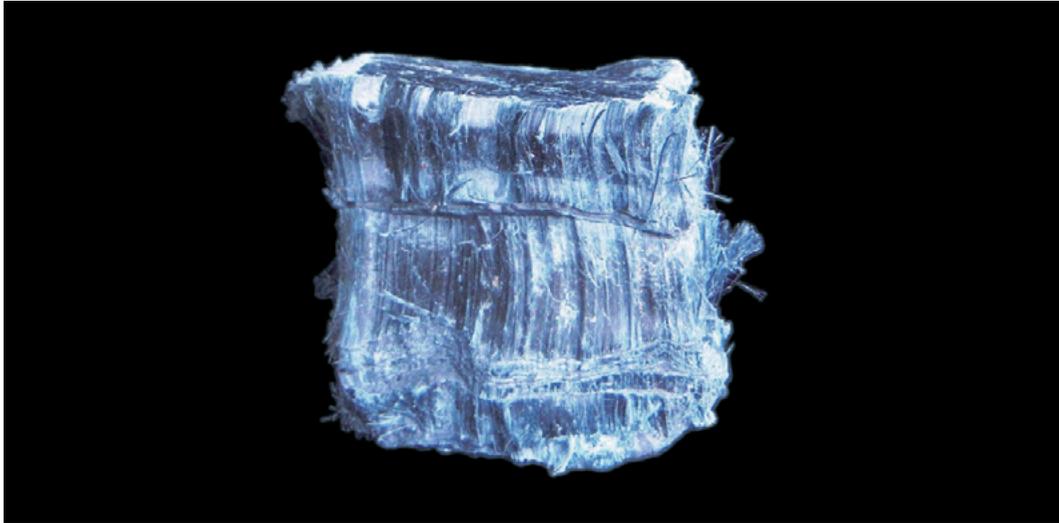
31 Azufre
Fuente: Museo SGC

- » **Grasoso.** Da impresión de estar cubierto por una película delgada de aceite. Ejemplos: yeso fibroso, malaquita, serpentina.



32 Malaquita (carbonato de cobre)
Fuente: Museo SGC

- » **Sedoso.** Da el aspecto de la seda. Ejemplos: yeso fibroso, serpentina, crisotilo, crocidolita.



33 Crocidolita (asbesto azul, silicato)
Fuente: Museo SGC

- » **Nacarado o aperlado.** Presenta brillo o iridiscencia, como la superficie de una perla. Ejemplo: apofilita, talco, moscovita.



34 Talco (silicato de magnesio)
Fuente: Museo SGC

- » **Adamatino.** Da reflejo fuerte y brillante, como el de un diamante. Ejemplos: anglesita, cerusita, diamante.



35

Cerusita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cerusita#/media/File:Cerusitetsumeb2.jpg>

RAYA

Conocida también como *raspadura*, es el color del polvillo fino de un mineral. Se obtiene al molerlo o al hacer con él una raya sobre un baldosín blanco no esmaltado. Con este último método no se puede obtener la raya de minerales de dureza 7 o mayor.

Esta propiedad es importante para identificar el mineral, porque su color puede variar, pero el de su polvillo es uno solo e invariable. Por ejemplo, la hematita, la limonita y la magnetita (minerales de hierro) pueden presentarse de color negro, pero el color de sus rayas es rojo, amarillo-café y negro, respectivamente.



36 Magnetita (mineral de hierro)
Raya de color negro
Fuente: Museo SGC



37 Limonita (mineral de hierro)
Raya de color pardo a amarillo ocre
Fuente: Museo SGC

LUMINISCENCIA

Es una propiedad especial que presentan pocos minerales y consiste en la emisión de luz del mineral cuando recibe como estímulo una energía o radiación electromagnética de longitud de onda diferente a la de la luz. Ocurre a temperaturas por debajo de la que produce la incandescencia. Se observa en minerales con iones extraños llamados *activadores*, que no pertenecen a la red cristalina del mineral.

FLUORESCENCIA Y FOSFORESCENCIA

Son propiedades especiales que producen un mismo efecto, pero de origen diferente. Los minerales fluorescentes son los que emiten luz solo mientras están expuestos a la acción de los rayos ultravioleta, rayos X o rayos catódicos.

Ejemplos de minerales fluorescentes son la fluorita, la scheelita, la calcita y la willemita.

Los minerales fosforescentes, después de haber retirado la fuente excitadora, o luz convencional, continúan emitiendo luz durante un tiempo (como las manecillas de algunos relojes). Ejemplos de ellos son la fluorita, el ópalo y la esfalerita. Estas dos propiedades se observan claramente en la oscuridad.



38 La willemita (silicato de cinc), al recibir luz ultravioleta, se torna verde
Fuente: Museo SGC

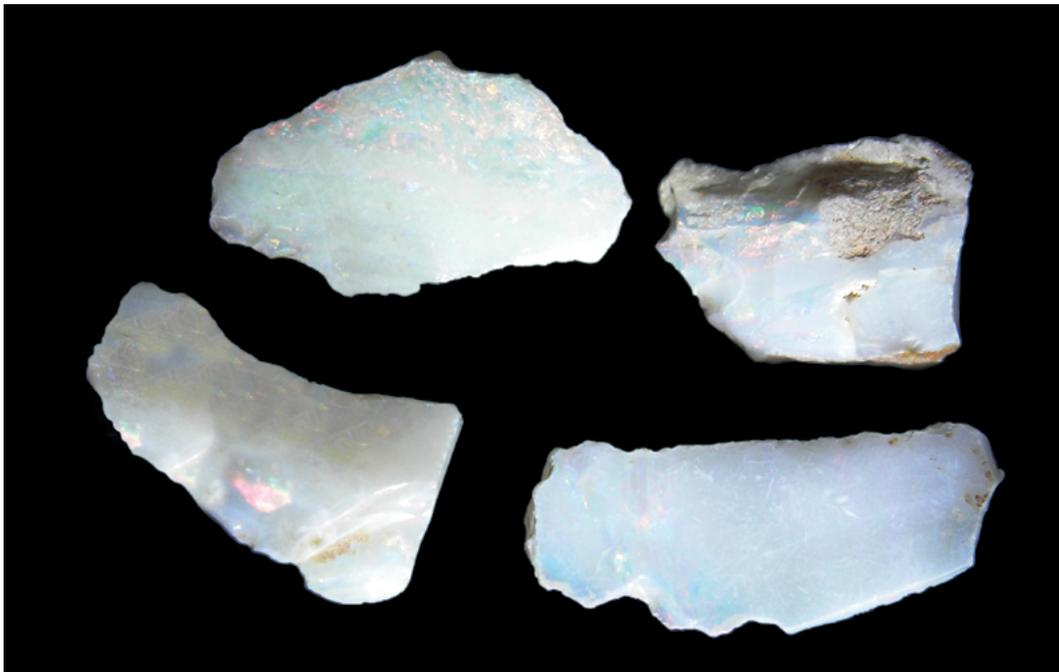


39 Fluorita (mineral de flúor y calcio)
Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/fluorita-mineral-transparente-66916/#>

IRIDISCENCIA

Propiedad que se manifiesta en pocos minerales como resultado de la dirección de llegada de la luz a la superficie del mineral. Un mineral es iridiscente cuando en su interior presenta una serie de colores prismáticos (semejantes a los del arco iris), debido a la presencia de láminas macladas o diminutas burbujas de aire entre los planos cristalinos. Si la iridiscencia se da en la superficie del mineral, se debe a una película fina o recubrimiento que puede ser extraño al mineral.

Ejemplos de minerales iridiscentes son la fluorita, la calcopirita, el ópalo y la labradorita.



40 Ópalo (mineraloide de sílice). Al difractarse, la luz produce en la superficie del mineral una serie de colores parecidos al arco iris
Fuente: Museo SGC

Las propiedades que siguen se manifiestan según la fuerza de cohesión y la ordenación de los átomos, como la dureza, la exfoliación o clivaje, la fractura, la tenacidad y la gravedad específica.

DUREZA

La dureza es la resistencia que ofrece la superficie de un mineral a la abrasión o el desgaste. En la práctica se mide tratando de hacer una hendidura en el mineral con un objeto corto-punzante de dureza conocida.

Para medir la dureza existe una escala empírica (escala de dureza de Mohs) que va de 1 a 10, basada en la dureza de diez minerales comunes ordenados desde el más blando al más duro.

Tabla de dureza de Mohs

En esta tabla, el uno corresponde al mineral menos duro, y el diez, al mineral más duro.

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Talco (el menos duro) | 6. Ortosa |
| 2. Yeso | 7. Cuarzo |
| 3. Calcita | 8. Topacio |
| 4. Fluorita | 9. Corindón |
| 5. Apatito | 10. Diamante (el más duro) |



41 Talco (dureza 1)
Fuente: Museo SGC



44 Fluorita (dureza 4)
Fuente: Museo SGC



42 Yeso (dureza 2)
Fuente: Museo SGC



45 Apatito (dureza 5)
Fuente: Museo SGC



43 Calcita (dureza 3)
Fuente: Museo SGC



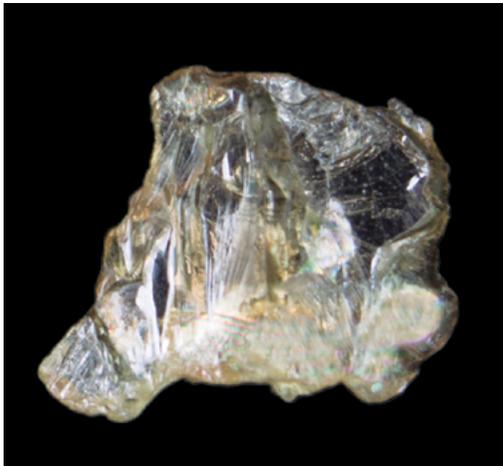
46 Ortosa (dureza 6)
Fuente: Museo SGC



47 Cuarzo (dureza 7)
Fuente: Museo SGC



49 Corindón (dureza 9)
Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corindon_pourpre_\(23_mm\)_var._rubis_sur_gangue_\(Pakistan\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corindon_pourpre_(23_mm)_var._rubis_sur_gangue_(Pakistan).JPG)



48 Topacio (dureza 8)
Fuente: Museo SGC



50 Diamante (dureza 10)
Fuente: <https://www.unsplash.com>

La dureza de un mineral cualquiera se determina en el laboratorio ensayando a producir una hendidura en él con minerales de la escala. Cuando se determinen dos minerales contiguos de la escala, uno que raya al mineral en estudio y otro que no, se dice que su dureza está entre la de esos dos. Por ejemplo, si no es rayado por el mineral 6 de la tabla, pero sí por el 7, se le asignará una dureza entre 6 y 7.

En el terreno podemos averiguar en forma aproximada la dureza de un mineral utilizando objetos comunes. Por ejemplo, si un mineral se deja hacer hendidura con la uña, entonces tendrá una dureza menor que 3 (podemos rayar el talco y el yeso con una uña, según la tabla, pero no la calcita); si no se deja marcar por la uña, pero sí por una moneda de cobre, su dureza será mayor que 2 pero menor que 4; si se utiliza una navaja fina de cuchilla de acero, y lo raya pero no la moneda, la dureza será menor que 6, pero mayor que 4; si se utiliza vidrio común y lo raya, la dureza estará entre 5 y 6.

EXFOLIACIÓN O CLIVAJE

Esta propiedad es la tendencia que tienen algunos minerales a romperse en direcciones definidas cuando se ejerce presión sobre ellos.

Si la superficie de ruptura es plana, se dice que el clivaje es perfecto; si no se presenta así, se puede catalogar como regular o malo, según se manifieste la superficie resultante. En un mismo mineral se puede presentar un clivaje perfecto en dos o tres direcciones.



51 Mineral moscovita
Se aprecia su forma de romperse en una dirección definida, en un solo plano
Fuente: www.ericca.es

FRACTURA

Es el rompimiento de un mineral en dirección diferente a la de los planos de clivaje o exfoliación, cuando se lo golpea. La propiedad consiste en ver la apariencia que presenta la superficie de ruptura. Se clasifica como fractura plana, irregular, concoide (presenta superficie semejante a una concha), fibrosa, astillosa, etc.



52 Obsidiana que exhibe una fractura concoidea
Fuente: Museo SGC

TENACIDAD

Es la resistencia que opone un mineral a dejarse romper, moler doblar, etc. Según este parámetro, un mineral puede ser:

- » **Frágil.** Cuando se rompe fácilmente en trozos o se reduce a polvo al aplicarle un golpe o al cortarlo con una navaja. No se puede cortar en tajadas, como, por ejemplo, el cuarzo.



53 Amatista, variedad de cuarzo de color violeta
Fuente: Museo SGC

- » **Maleable.** Cuando el mineral puede ser transformado en hojas delgadas por golpe o percusión. Ejemplos: oro y plata.



54 Plata
Fuente: www.emaze.com

- » **Séctil.** Se deja cortar en virutas delgadas, como la cera fría. Ejemplo: cerargirita y algunos yesos.



55 Yeso, variedad selenita
Fuente: Museo SGC

- » **Dúctil.** Cuando se puede estirar en forma de hilos. Ejemplos: oro, plata y cobre.



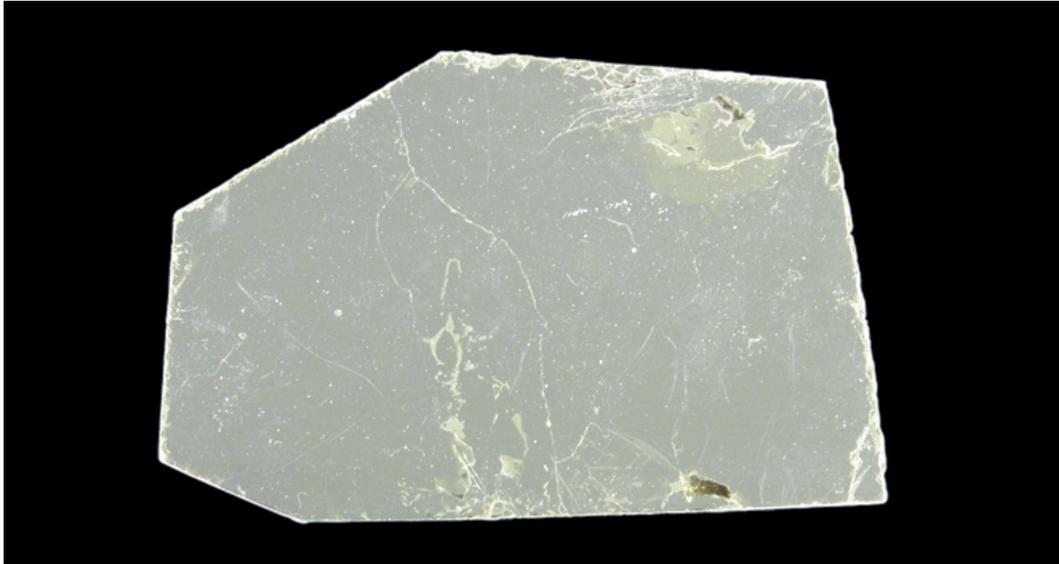
56 Cobre
Fuente: Museo SGC

- » **Flexible.** Si el mineral puede ser curvado o doblado fácilmente y mantiene la forma después de remover la presión que lo deformó. Ejemplo: el yeso laminar.



57 Yeso laminar
Fuente: Museo SGC

- » **Elástico.** Cuando se puede doblar sin romperse, pero recobra su forma original al retirar la fuerza que lo deforma. Ejemplo: láminas de mica.



58 Mica, variedad moscovita
Fuente: Museo SGC

GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica o densidad es la relación entre el peso de una masa del mineral y el peso de una masa igual de agua a 4 °C y presión normal.

Este valor es característico de cada mineral.

La gravedad específica de los minerales varía en un amplio rango. Ejemplos: halita, 2.1; diamante, 3.5; cinabrio, 8.1.



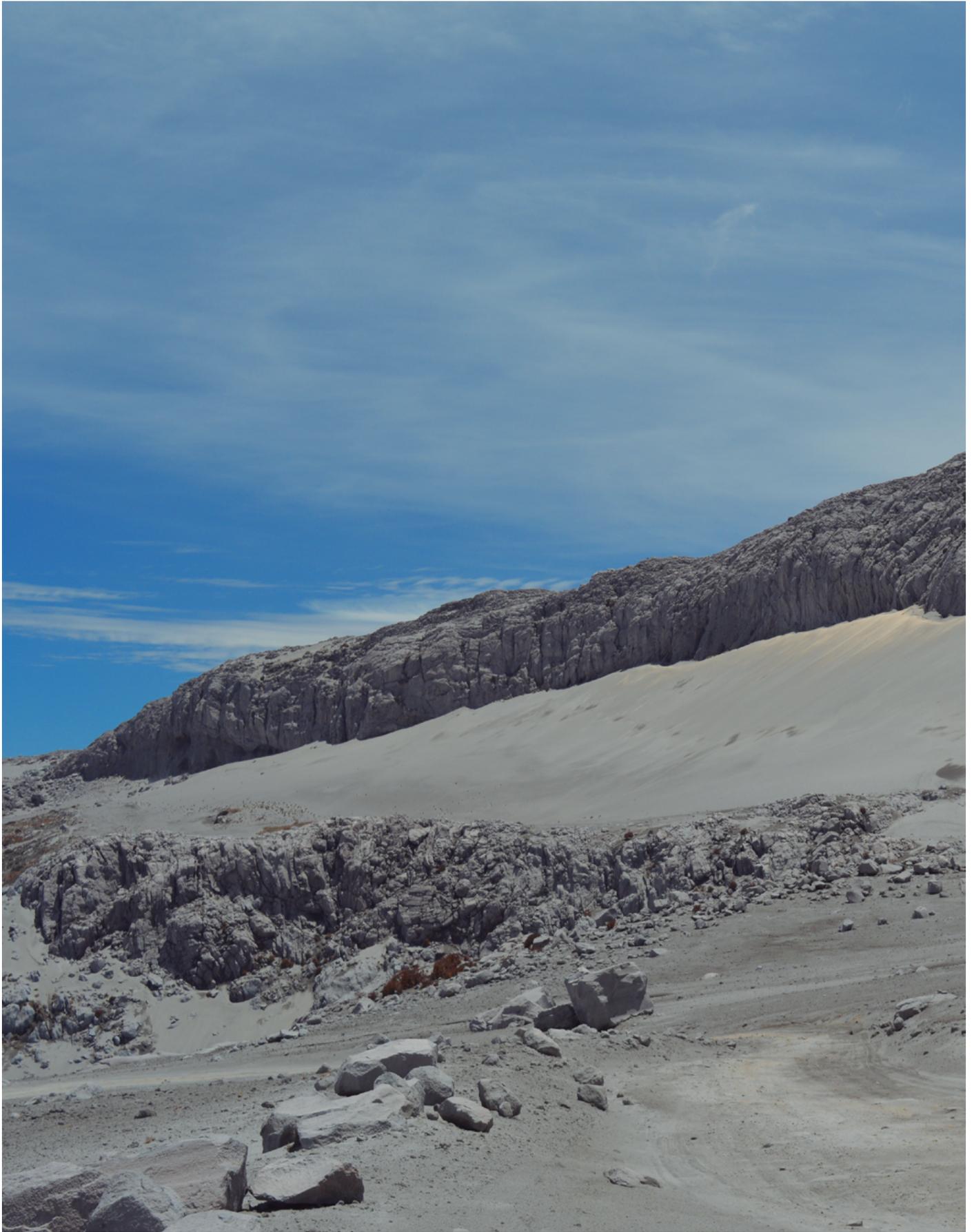
59 La gravedad específica de la halita (sal, o cloruro de sodio) es de 2.1, lo que significa que su densidad es 2.1 veces la densidad del agua
Fuente: Museo SGC

Algunos minerales pueden reconocerse por otras propiedades que los distinguen, y que son denominadas *propiedades secundarias diagnósticas*, como las siguientes:

- » Birrefracción
- » Elasticidad
- » Magnetismo
- » Maleabilidad
- » Olor
- » Reacción química con ácido clorhídrico
- » Sabor
- » Tacto



60 Sal en gema. Ejemplo de un mineral que se puede identificar por el sabor
Fuente: Museo SGC



Flujos de lava del Volcán Nevado del Ruiz
Fuente: Jair Ramírez Cadena

4. LAS ROCAS

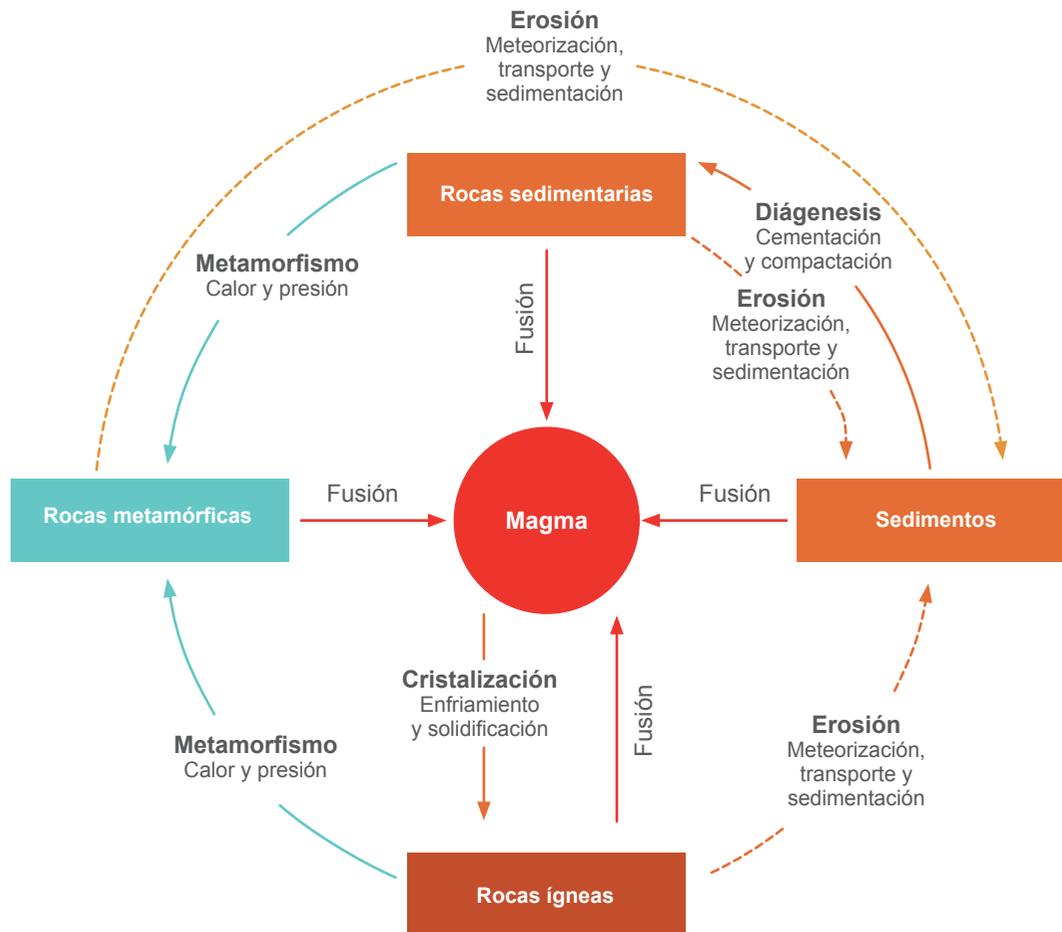
Así como un mineral está compuesto por elementos químicos, una roca es un agregado de uno o varios minerales; la rama de la geología que estudia las rocas se llama *petrografía*.

4.1

Ciclo de las rocas

La Tierra, como sistema dinámico, permite la formación, deformación, segregación y fundición de las rocas. Estas transformaciones se dan mediante procesos que ocurren tanto en la superficie como en el interior de la Tierra. Los procesos que ocurren en la superficie son denominados *exógenos*, y consisten básicamente en erosión, transporte y sedimentación. Los procesos que ocurren en el interior de la Tierra se llaman *endógenos*, y son los que dan origen al relieve por medio de la elevación de terrenos, la formación de cadenas montañosas y el hundimiento de algunas zonas.

En la figura 61 se ilustra el ciclo de las rocas. Las flechas indican las transformaciones.



61 Ciclo de las rocas
Fuente: tomada y modificada a partir de Agencia Nacional de Hidrocarburos (2009)

Según su origen, las rocas se dividen en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

4.2

Rocas ígneas

Las rocas ígneas proceden de la cristalización (solidificación por enfriamiento) del magma, que es el material fundido mediante un proceso llamado *fusión parcial*, que ocurre a profundidades que superan los 250 km dentro de la corteza terrestre y el manto superior. Cuando el cuerpo magmático, que puede expresarse de diversas, se forma, asciende hacia la superficie, ya que tiene una menor densidad que las rocas. Cuando alcanza la superficie, se denomina *lava*, y es expulsado a través de los volcanes. Las rocas resultantes de su enfriamiento se denominan *rocas ígneas extrusivas* o *volcánicas*. Este proceso ocurre tanto en la plataforma continental como en la marina. Las rocas ígneas que no

alcanzan la superficie y se cristalizan en las profundidades se denominan *rocas intrusivas* o *plutónicas*.

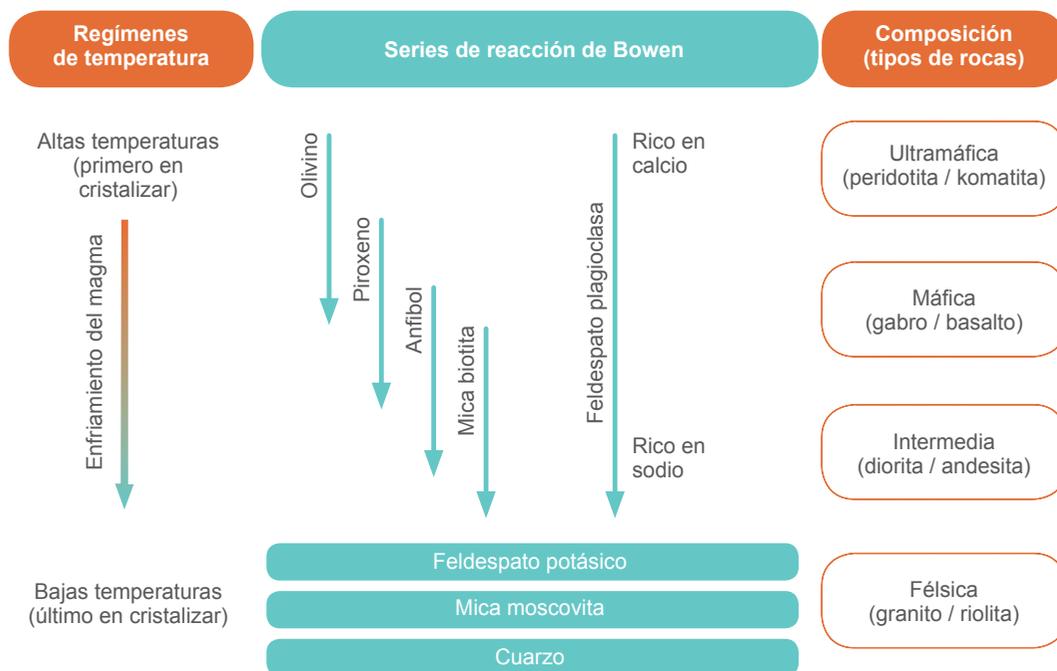
La mayoría de los magmas pasan por las tres fases de la materia: líquida, sólida y gaseosa. La primera es llamada *fundido*, y está compuesta principalmente por silicio y oxígeno, y en menor cantidad, por aluminio, potasio, calcio, sodio, hierro y magnesio.

El componente sólido es el mismo material fundido, pero cristalizado. Durante la última fase del enfriamiento el magma es una masa sólida cristalina con menores cantidades de fundido.

Los gases del magma son llamados *volátiles*, y los más comunes son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de azufre (SO_2) y se encuentran atrapados por la presión que ejercen las rocas que yacen sobre el magma (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Durante el proceso de enfriamiento del magma se van formando tetraedros de silicio-oxígeno. Los primeros minerales que se forman tienen espacio para crecer, y por lo tanto desarrollan caras cristalinas mejor formadas que las de los últimos minerales en cristalizar.

Debido a que existen diferentes tipos de rocas ígneas originadas en un volcán, Norman Levi Bowen dedujo que también deben existir distintos tipos de magma. Decidió estudiar la evolución de los magmas y obtuvo como resultado un esquema en el que describe la secuencia de cristalización de los minerales a partir del magma. En dicho esquema se reflejan las reacciones de los minerales a partir de la temperatura del magma, del cual se forman varios tipos de rocas ígneas.



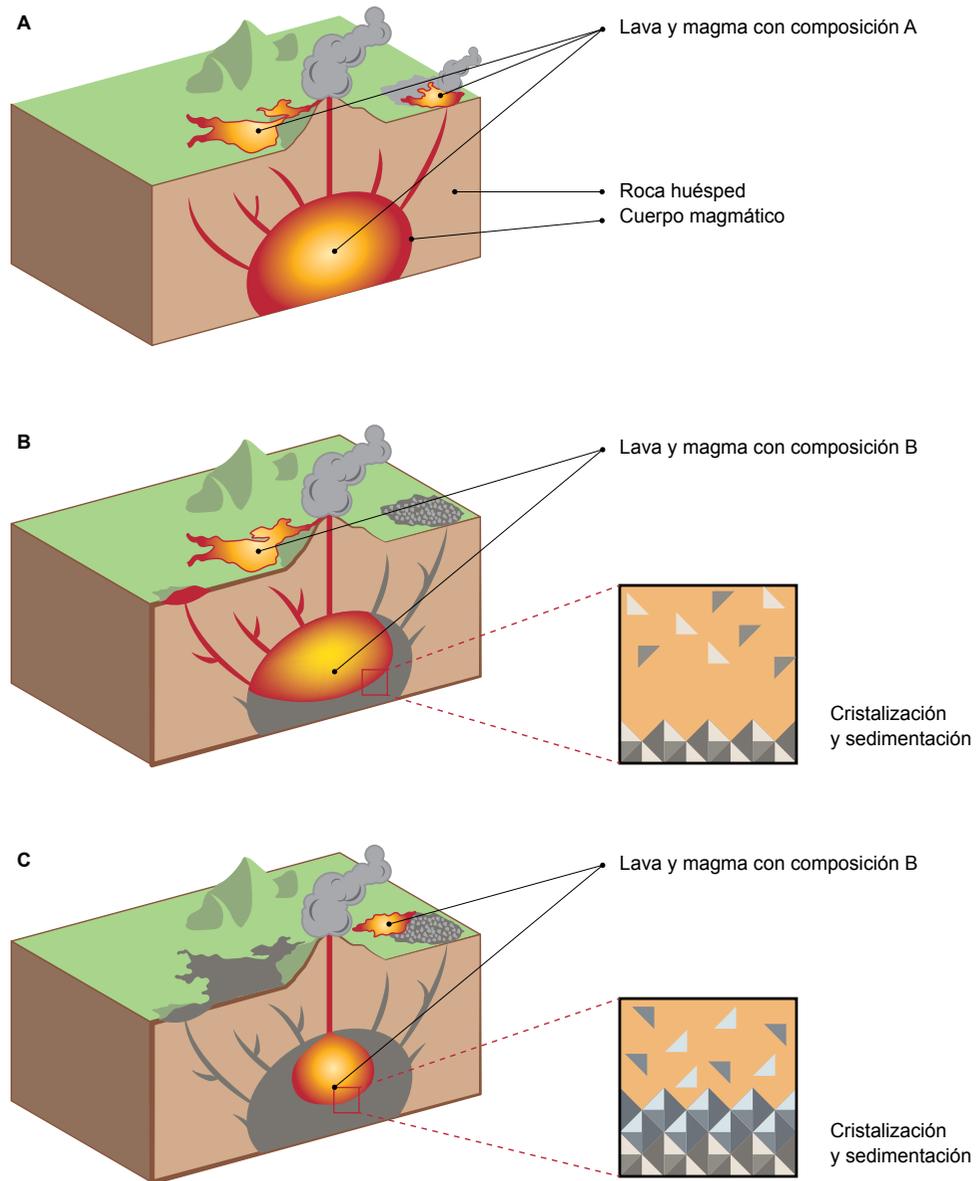
62

Serie de Bowen

Fuente: tomada y modificada a partir de Tarbuck y Lutgens (2005)

DIFERENCIACIÓN MAGMÁTICA

Es el proceso mediante el cual uno o varios magmas secundarios se forman a partir de un magma inicial. Durante la evolución de un magma, los componentes sólido y líquido pueden separarse en dos unidades químicamente diferentes y producir varios magmas químicamente diversos.



63

Ilustración de la evolución del magma conforme los minerales formados primero (los más ricos en hierro, magnesio y calcio) se cristalizan y sedimentan en el fondo de la cámara magmática, lo que hace que el fundido restante sea más rico en sodio, potasio y sílice (SiO_2).

A. La localización de un cuerpo magmático y la actividad ígnea asociada genera rocas con una composición similar a la del magma inicial. **B.** Después de un periodo de tiempo, la cristalización y la sedimentación modifican la composición del fundido, y a la vez generan rocas con una composición bastante diferente de la del magma original. **C.** Una mayor diferenciación magmática tiene como consecuencia otro fundido altamente evolucionado, con sus tipos de roca asociados.

Fuente: Tarbuck y Lutgens (2005)

TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

Una manera de deducir el ambiente de cristalización de una roca consiste en observar su textura. Esta propiedad describe el aspecto general de la roca en términos de la forma, el tamaño y el ordenamiento de sus minerales.

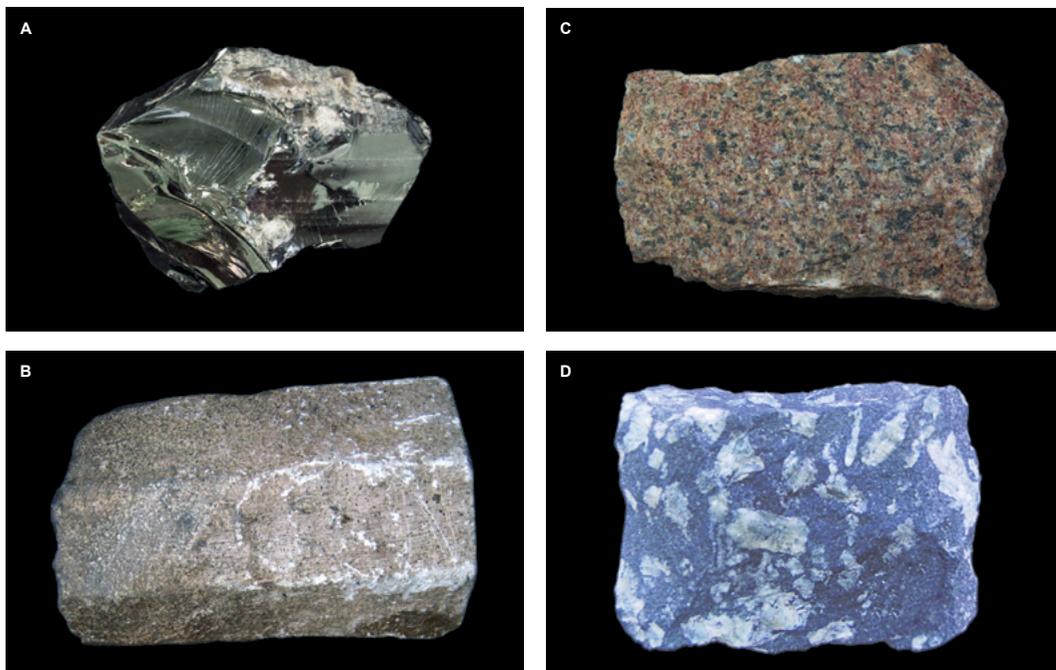
Los siguientes son los factores que determinan la textura de una roca ígnea:

- » Velocidad de enfriamiento del magma
- » Cantidad de sílice presente
- » Cantidad de gases disueltos en el magma

El enfriamiento lento del magma hace que se formen menos cristales, pero estos son de mayor tamaño. Por el contrario, cuando el enfriamiento ocurre a mayor velocidad, los cristales cuentan con menor tiempo para formarse, de manera que tienen un menor tamaño, y como consecuencia la roca final es una masa sólida de pequeños cristales intercrecidos. Algunas veces el enfriamiento ocurre tan rápido que se forman rocas llamadas *vidrios*.

Considerando los mencionados aspectos, las texturas de las rocas ígneas se clasifican en cuatro tipos:

- » Textura afanítica
- » Textura fanerítica
- » Textura porfirítica
- » Textura vítrea



64 Texturas de las rocas ígneas: **A.** Textura vítrea (obsidiana); **B.** Textura afanítica; **C.** Textura fanerítica (granito); **D.** Textura porfirítica (diabasa porfirítica)
Fuente: Museo SGC

- » **Textura afanítica.** Cuando la roca presenta cristales muy pequeños, en general no visibles, es equigranular. Se produce por un enfriamiento rápido del magma, lo que hace que la roca tome un aspecto masivo. La textura es microcristalina si los cristales solo pueden verse mediante el microscopio; es criptocristalina si los cristales solo pueden observarse con ayuda de un microscopio electrónico.



65 Riolita (roca ígnea extrusiva)
Fuente: Museo SGC

- » **Textura porfirítica.** Ocurre cuando la roca está formada por cristales grandes, llamados *fenocristales*, rodeados de una matriz de cristales finos, vítrea o mixta. Se produce por variación en la velocidad de enfriamiento del magma durante la cristalización.



66 Diabasa porfirítica
Fuente: Museo SGC

- » **Textura vítrea.** Tiene lugar cuando la roca presenta una apariencia de vidrio debido a un enfriamiento muy rápido, como ocurre en algunas lavas o domos. En esos casos no hay formación de cristales.



67 Obsidiana, roca volcánica con textura vítrea (aspecto de vidrio)
Fuente: Museo SGC

ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas se forman por cristalización del magma en el interior de la corteza terrestre, antes de llegar a la superficie. Las más comunes y representativas son el granito, la diorita, el gabro y la peridotita.



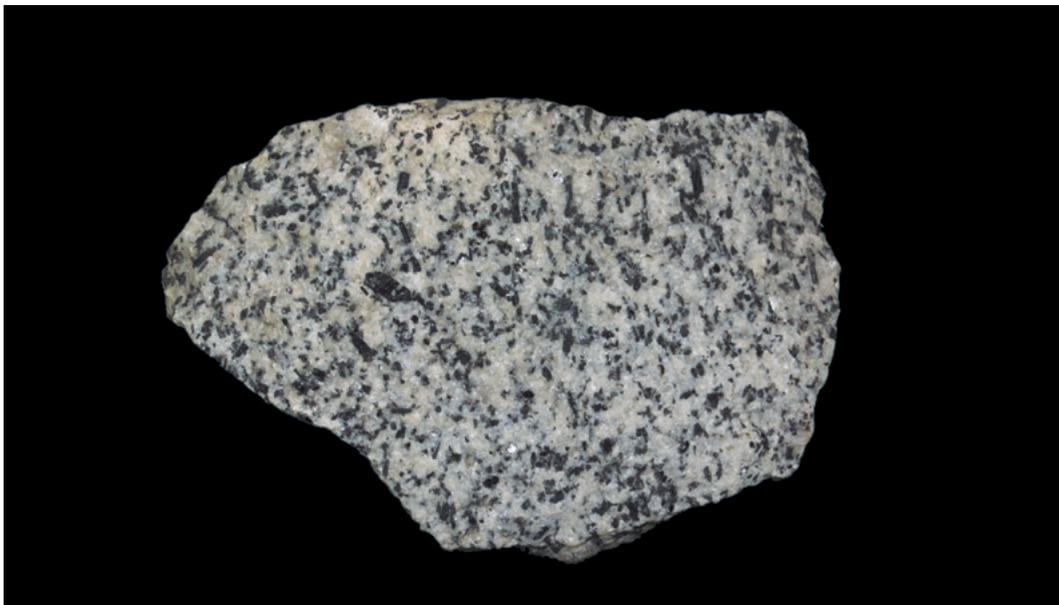
68 Ejemplo de roca ígnea intrusiva: gabro
Fuente: Museo SGC

- » **Granito.** Es una roca félsica en la que predominan los minerales de color claro. Está compuesto principalmente por cuarzo, feldespato potásico, feldespato plagioclasa y mica biotita. Su textura es fanerítica o porfírica.



69 Granito
Fuente: Museo SGC

- » **Diorita.** Roca ígnea de composición intermedia entre el granito y el gabro (Lexis 22, 1980). Tiene frecuente uso como material de enchape y pisos.



70 Diorita
Fuente: Museo SGC

- » **Gabro.** Es una roca máfica en la que predominan los minerales de color oscuro (ferromagnesianos). Está compuesto por plagioclasas, olivino y clinopiroxeno. Tiene textura fanerítica.



71 Gabro
Fuente: Museo SGC

- » **Peridotita.** Es una roca ultramáfica compuesta en su mayor parte por olivino (más de 85%), con poca cantidad de piroxeno y plagioclasa cálcica. Igual que las anteriores, tiene textura fanerítica. Es de color verde y lustre vítreo.

ROCAS EXTRUSIVAS O VOLCÁNICAS

Estas rocas se forman cuando el magma es expulsado por los volcanes al exterior. El magma se cristaliza rápidamente debido al acelerado enfriamiento, a raíz de lo cual se forman rocas con cristales muy pequeños (textura afanítica) o masas vítreas. Eventualmente pueden contener cristales, cuando el magma está parcialmente fundido. Las rocas extrusivas más comunes son la riolita, la andesita, el basalto y la obsidiana.

- » **Riolita.** Roca félsica de la misma composición mineralógica que el granito. Es una roca extrusiva de textura afanítica o porfírica (mezcla de cristales pequeños rodeados de una matriz vítrea).



72 Riolita
Fuente: Museo SGC

- » **Andesita.** Roca intermedia, de la misma composición mineralógica que la diorita, de textura afanítica o porfírica.



73 Andesita
Fuente: Museo SGC

- » **Basalto.** Roca máfica, con la misma composición mineralógica del gabro. Tiene a menudo textura afanítica.



74 Basalto
Fuente: Museo SGC

- » **Obsidiana.** Es una roca extrusiva vítrea (no presenta cristales). Por su composición mineralógica puede ser félsica hasta intermedia. Presenta fractura concoidea. Su color negro se debe a la presencia de polvo de magnetita o de minerales ferromagnesianos.



75 Obsidiana
Fuente: Museo SGC

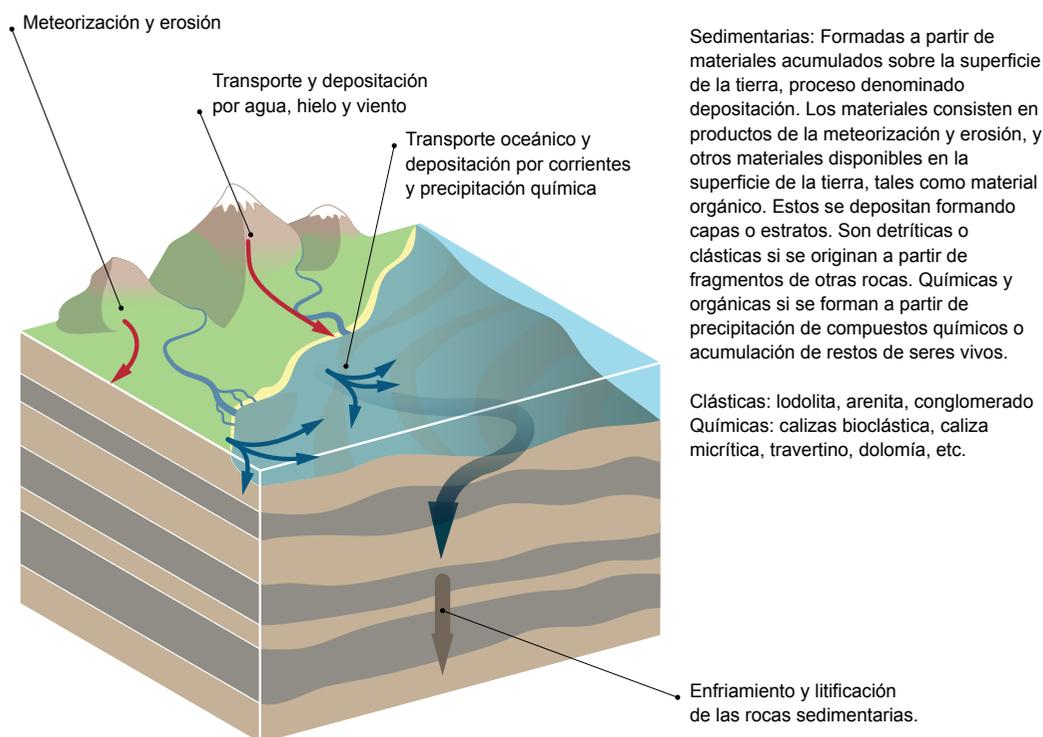
- » **Pumita.** Es un vidrio volcánico, pero no masivo como la obsidiana, sino formado por fibras entrelazadas; es porosa debido al escape de gases durante su cristalización.

4.3

Rocas sedimentarias

Se consideran rocas sedimentarias aquellas que se han formado por acumulación de sedimentos, proceso que se denomina *deposición*. Estos sedimentos son producto principalmente de la erosión, residuos de material orgánico o material volcánico, y es muy variado en cuanto a tamaño, composición, forma y origen. Los sedimentos son transportados hasta el sitio de deposición por gravedad, agua, aire, hielo o crecimiento de material biológico en el lugar, y la acumulación depende de factores como temperatura, química y la configuración biológica del lugar. Las capas de rocas sedimentarias contienen claves para entender los procesos de transporte y deposición, además de que posibilitan interpretar los ambientes naturales en los que se formaron, algo útil para descifrar los procesos que actúan actualmente (Nichols, 2009). Un aspecto muy importante de este tipo de rocas es que contienen los fósiles, vestigios vitales para el estudio del pasado geológico.

Los geólogos calculan que las rocas sedimentarias representan solo el 5% de la parte externa de la Tierra; por tanto, las rocas sedimentarias conforman una capa relativamente delgada de la porción más externa de la corteza terrestre. A pesar de esto, tienen una gran importancia económica, por los recursos energéticos que contienen, y de los cuales nos abastecemos día a día, tales como el petróleo, el gas natural y el carbón, aparte de los numerosos minerales que se usan en la industria (Tarbuck y Lutgens, 2005).



76 Formación de las rocas sedimentarias
Fuente: tomada y modificada a partir de Agencia Nacional de Hidrocarburos (2009)

AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN

Los ambientes sedimentarios son lugares que, por sus características, condiciones físicas químicas o biológicas constituyen un factor determinante en la consolidación de las rocas sedimentarias y en sus diferenciaciones. Los ambientes sedimentarios pueden ser continentales, marinos o de transición (en la línea de costa), y cada uno de ellos comprende subcategorías específicas.

Los *ambientes continentales* presentan una fuerte influencia climática, puesto que están dominados por erosión, depositación asociada a corrientes, lagos, ríos, que en algunos casos puede ser por glaciares o procesos eólicos.

Los *ambientes marinos* se clasifican según la profundidad a la que tenga lugar el proceso de sedimentación. Pueden ser marinos someros (alcanzan hasta 200 m de profundidad) o marinos profundos (abarcan desde los 200 metros de profundidad hasta los fondos oceánicos). El ambiente marino somero rodea todos los continentes del mundo y recibe grandes cantidades de sedimentos provenientes del continente.

Los *ambientes transicionales* comparten una parte marina y otra continental. A lo largo y cerca de la línea de la costa, debido a las olas y al cambio de la marea, se generan diferentes tipos de estructuras. Las playas son depósitos conocidos de este tipo de ambiente. Uno de los ambientes más importantes de esta categoría son los deltas.

TIPOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Rocas sedimentarias detríticas

Son rocas formadas por acumulación de partículas sólidas (sedimentos), producto de la alteración de otras rocas ya consolidadas. Los geólogos se valen del tamaño de los granos para clasificar estas rocas. Las rocas de grano grueso (> 2 mm) son llamadas *conglomerados*; las *areniscas* son rocas formadas por granos tamaño arena (1/16 Mm-2 mm), como los que se encuentran en las playas; las *lodolitas* son rocas formadas a partir de material de grano muy fino, tipo lodo.

El tamaño de grano es una característica importante, pues proporciona información sobre la cantidad de transporte y el ambiente de depósito.

Las rocas detríticas más comunes, ordenadas de forma ascendente según su granulometría, son la lutita, la arenisca y el conglomerado o brecha.

Tabla 2. Clasificación de las rocas detríticas según el tamaño del clasto

Intervalos de tamaño (milímetro)	Nombre del clasto	Nombre del sedimento	Roca detrítica
>256	Bloque	Grava	Conglomerado o Brecha
64 – 256	Canto		
4 – 64	Grano	Arena	Arenisca
2 - 4	Granulo	Limo	Limolita
1/16 – 2	Partícula	Arcilla	Lutita
1/256 – 1/16			
< 1/256			

Fuente: Tarbuck y Lutgens (2005)

Rocas sedimentarias químicas o autóctonas

Son consideradas rocas sedimentarias químicas aquellas cuya fuente principal son sedimentos que han sufrido procesos de meteorización química, derivados de material transportado en solución a lagos y mares, y que posteriormente se han precipitado. Esto puede ocurrir mediante procesos orgánicos (bioquímico: sedimentos químicos generados por organismos acuáticos) o inorgánicos (actividad química producida directamente por los sedimentos químicos o evaporación).

- » **Deposición química.** Son rocas formadas por precipitación química de elementos que han sido disueltos y transportados por el agua. Un ejemplo muy común es la halita (o sal de cocina). La sal se forma por precipitación química de cloruro de sodio (NaCl) en ambientes acuáticos tranquilos. Otros ejemplos de rocas sedimentarias químicas son las compuestas de calcita y yeso.

Cuando las aguas se saturan de sales químicas, como carbonatos, sulfuros, etc., y se presenta evaporación, se inicia la precipitación y depositación de esas sustancias, que después, por diagénesis, producirán rocas sedimentarias.

Así se forman rocas de origen químico como las calizas, los yesos y las fosforitas, entre otras.

Las siguientes son rocas sedimentarias químicas inorgánicas comunes: caliza, dolomía, evaporitas y rocas silíceas. Las orgánicas pueden ser las mismas inorgánicas, pero con incidencia o aparición de organismos en su composición, o rocas compuestas completamente por materia orgánica, como la hulla.



79 Caliza, roca sedimentaria química
Fuente: Museo SGC

Cuando intervienen seres vivos como bacterias, moluscos o corales que viven en colonias, sus caparazones están formados por las sustancias que ellos han precipitado; al morir, los caparazones quedan unidos; así se forman las rocas de origen bioquímico, como las lumaquelas.



80 Lumaquela
Fuente: Museo SGC

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Para clasificar las rocas sedimentarias se utilizan dos términos: clástica y no clástica o cristalina. Las *rocas clásticas* están conformadas por clastos que están cementados y compactados juntos. Todas las rocas detríticas tienen una textura clástica y algunas rocas químicas, por ejemplo, la caliza compuesta por caparazones y fragmentos de caparazón.

Mm	Phi	Nombre	
256	-8	Bloque	Grava Conglomerado
128	-7		
64	-6	Canto	
32	-5		
16	-4		
8	-3	Guijarro	
4	-2		
2	-1	Gravilla	
1	0	Arena muy gruesa	Arena y arenita
0.5	1	Arena gruesa	
0.25	2	Arena media	
0.125	3	Arena fina	
0.063	4	Arena muy fina	Lodo limolita
0.031	5	Limo grueso	
0.0156	6	Limo medio	
0.0078	7	Limo fino	
0.0039	8	Limo muy fino	
		Arcilla	

- 77 Escala de tamaño de grano de Udden Wentworth para rocas sedimentarias clásticas. El diámetro de los clastos en milímetros es usado para definir los diferentes tamaños en la escala
Fuente: tomada de Nichols (2009)

Las *rocas no clásticas o cristalinas* están compuestas por cristales intercrecidos de tamaño microscópico o macroscópico, como, por ejemplo, el yeso (figura 78).



- 78 Yeso
Fuente: Museo SGC

PRINCIPALES ROCAS SEDIMENTARIAS

En las rocas clásticas, las partículas reciben nombres de acuerdo con su tamaño. Presentamos una clasificación simplificada con base en la tabla de Wentworth, tomada de Nichols (2009).

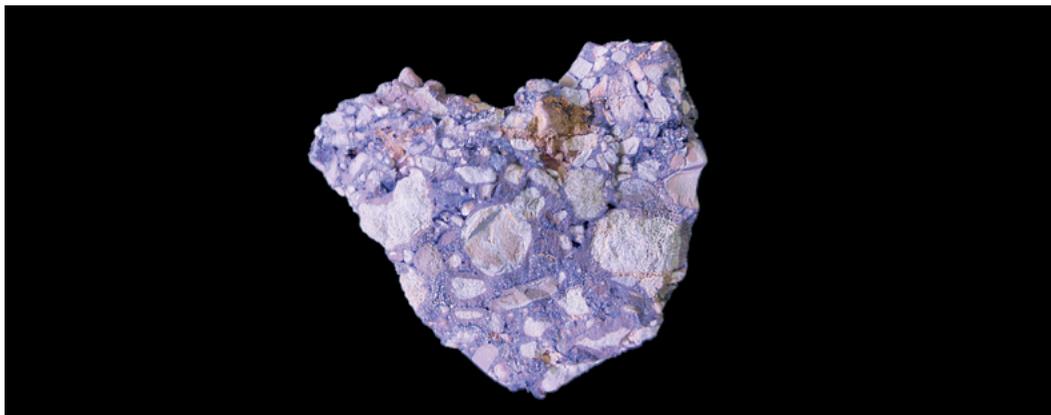
Estas son las rocas sedimentarias más comunes: conglomerados, brechas, areniscas, limolitas, arcillolitas, calizas, dolomitas y evaporitas.

- » **Conglomerado.** Roca clástica compuesta por partículas redondeadas de tamaño mayor de 2 mm (gránulos, guijos, pedruscos). La matriz o material que rodea los clastos está constituida por partículas más pequeñas, y el cemento puede ser un precipitado químico.



81 Conglomerados
Fuente: Museo SGC

- » **Brecha.** Roca clástica compuesta por partículas angulosas (forma irregular), de tamaño mayor de 2 mm. Sus demás características son semejantes a las del conglomerado.



82 Brecha
Fuente: Museo SGC

- » **Arenisca.** Es una roca detrítica en la que predominan partículas con tamaño de grano arena (entre 2 mm y 0.062 mm). El cuarzo es el mineral predominante en la mayoría de las areniscas, seguido de la lutita, que es la roca sedimentaria más abundante. La selección, redondez y composición mineral de los granos dan indicios del origen y la historia de la arenisca, y estas están asociadas a gran variedad de ambientes, entre ellos las playas y las dunas. Actualmente tiende a cambiarse el término *arenisca* por *arenita*.



83 Arenisca bandeada
Fuente: Museo SGC

- » **Limolita.** Roca clástica formada por limo endurecido, con una textura fina, no lamina-da. El tamaño de las partículas está entre 1/16 y 1/256 de milímetro, intermedio entre la arcillolita (más fino) y la arenisca (más grueso). Sus componentes principales son los minerales arcillosos y el cuarzo; también pueden contener zeolitas y calcitas, entre otros minerales.



84 Limolita
Fuente: Museo SGC

- » **Arcillolita.** Es una roca clástica de grano muy fino (menor de 0.002 mm), formada por silicatos de aluminio. Es muy porosa, pero debido a que los poros no están conectados entre sí, es impermeable, a diferencia de la arenisca, permeable por su porosidad efectiva. Sus principales minerales son las montmorillonitas, los feldespatos, cuarzos y carbonatos (Díaz, Olguín, Alarcón y Aguilar, 2002).



85 Arcillolita
Fuente: Museo SGC

- » **Calizas.** El origen de estas rocas es principalmente químico, a veces clástico, aunque también puede ser bioquímico, cuando intervienen seres vivos. En más de 50 % están formadas por el mineral calcita (carbonato de calcio).

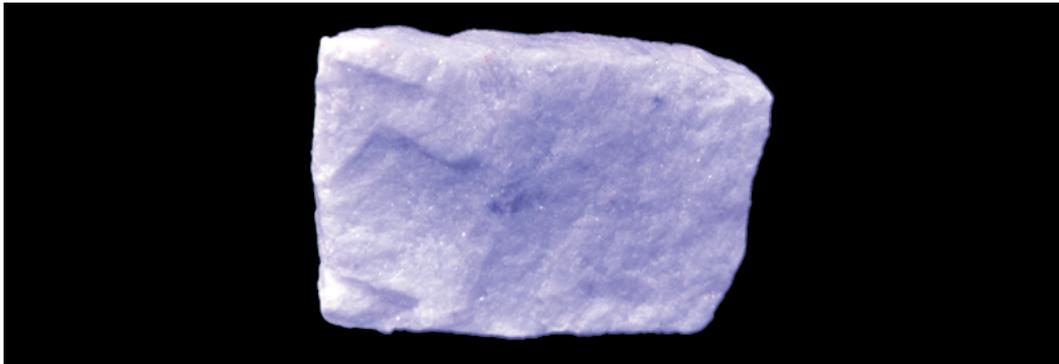
Existen variedades según los minerales que acompañen a la calcita y según el tamaño de las partículas.



86 Caliza
Fuente: Museo SGC

- » **Dolomias.** Son rocas sedimentarias de origen químico, en más de un 50% formadas por dolomita (carbonato de calcio y magnesio) (Lexis 22, 1980). Generalmente afloran junto a las calizas.

Las dolomías tienen frecuente aplicación en la industria de la construcción, en la metalurgia y en la fabricación de elementos refractarios. En Colombia, uno de sus principales yacimientos se encuentra en el páramo de Sumapaz.



87 Dolomita
Fuente: Museo SGC

- » **Evaporitas.** Son rocas no clásticas formada por minerales que son precipitados de soluciones salinas saturadas, por evaporación del agua. Ejemplos de estas rocas son la anhidrita, el yeso, la roca de sal (halita) y algunas calizas.

Un ejemplo de evaporitas en Colombia son los depósitos de sal tanto marinos (Manaure) como terrestres (Zipaquirá, Nemocón).



88 Yeso
Fuente: Museo SGC

Nota. Las anteriores son solo algunas muestras de rocas sedimentarias, pues existen otras, como el carbón, fosforitas, margas, lateritas, etc.

4.3

Rocas metamórficas

Estas rocas proceden de otras (ígneas o sedimentarias) que han sido sometidas a cambio físico o químico debido a la acción de presiones y temperaturas elevadas o de soluciones químicamente activas procedentes del magma. El proceso se llama *metamorfismo*, y produce en la roca original una deformación física y orientación de los minerales en forma de láminas o bandas, o una recristalización (modificación de la estructura cristalina de los minerales o cristalización de nuevos minerales).



89 Neis
Fuente: Museo SGC

Existen varias clases de metamorfismo. Los principales son el regional, el térmico o de contacto y el hidrotermal; también existe el de impacto y el dinámico.

METAMORFISMO REGIONAL

También denominado *dinamotérmico* u *orogénico*, está asociado a procesos de formación de cadenas montañosas, que ocurren en algunos límites de placas tectónicas. En el metamorfismo regional grandes cantidades de roca están sujetas a esfuerzos compresivos y altas temperaturas, que producen una deformación a gran escala. Las rocas producto de este tipo de metamorfismo presentan texturas foliadas o bandeadas debido a la reorientación de los minerales sometidos a esfuerzos compresivos.

Un ejemplo de este tipo de metamorfismo son las pizarras, de las cuales hay muestras exhibidas en el Museo del SGC.

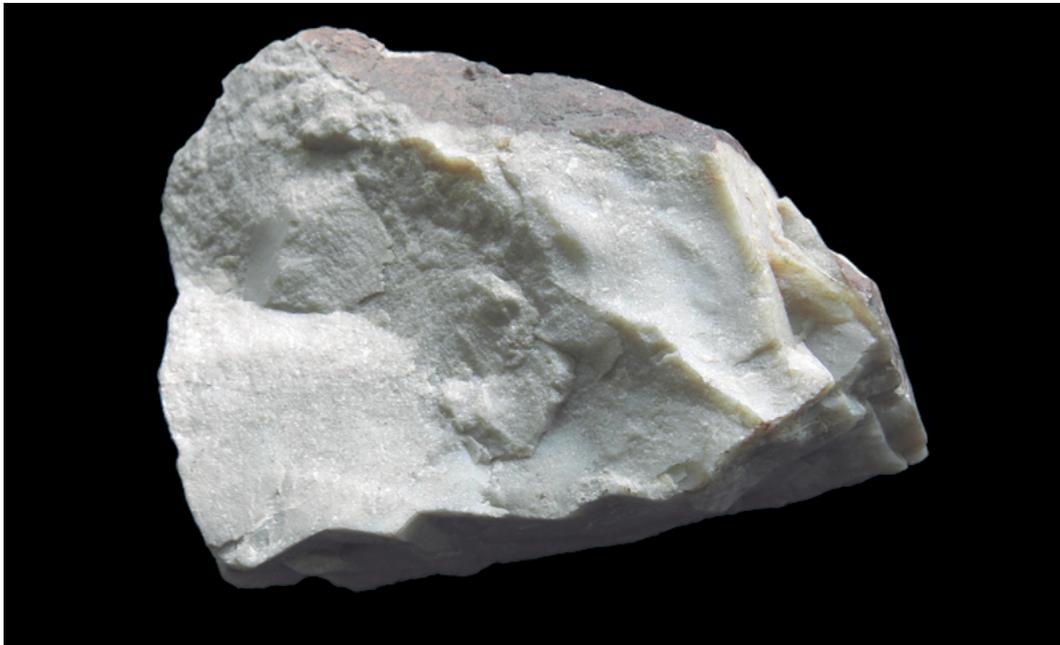
METAMORFISMO TÉRMICO O DE CONTACTO

Es producido por el emplazamiento del magma en rocas consolidadas dentro de la corteza.

La alta temperatura recristaliza las rocas con las cuales entra en contacto, a raíz de lo cual cambian su estructura por una generalmente masiva. En la zona de contacto se presentan aureolas de diferente grado de alteración, causadas por soluciones activas, que cambian la mineralogía de las rocas. Se forman así cornubianitas y skarns, entre otras.



90 Cornubianita
Fuente: Museo SGC



91 Cornubianita
Fuente: Museo SGC

METAMORFISMO HIDROTHERMAL

Es producido por la acción de fluidos calientes del magma que, durante las intrusiones, al entrar en contacto con las rocas produce cambios en su mineralogía, a raíz de lo cual se generan nuevas rocas.

El contacto entre las rocas preexistentes y la composición química de los fluidos caracterizan a los nuevos minerales. Ejemplos de minerales producidos por este tipo de metamorfismo son algunos yacimientos de oro, plata y platino.

El principal origen de los fluidos hidrotermales es el magmático, pero también se puede producir metamorfismo hidrotermal por aguas meteóricas y por procesos sedimentarios.

TEXTURAS DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS

Las principales texturas que presentan estas rocas son pizarrosa, esquistosa, filítica y néisica.

- » **Pizarrosa.** La roca presenta una laminación muy delgada y plana. Se origina en rocas con partículas muy finas, como las arcillolitas, debido a un metamorfismo dinámico de bajo grado.



92 Pizarra
Fuente: Museo SGC

- » **Esquistosa.** La roca se presenta muy foliada por metamorfismo dinámico, y puede romperse en trozos de láminas o en escamas. Proviene de rocas cristalinas de diferente composición mineral, por lo cual se denominan según el mineral predominante, como, por ejemplo, esquisto moscovítico, esquisto sericítico, esquistos cloríticos, etc.



93 Esquisto
Fuente: Museo SGC

- » **Filítica.** Es una textura foliada intermedia entre la pizarrosa y la esquistosa. La presencia de cristales pequeños de mica sericita y de clorita le da a la roca un aspecto lustroso o brillante, y además escamoso. Se forma a partir de rocas arcillosas.



94 Filita
Fuente: Museo SGC

- » **Néisica.** La roca presenta un lineamiento grueso o bandeamiento donde alternan las bandas de minerales silíceos (claros) y máficos (oscuros).

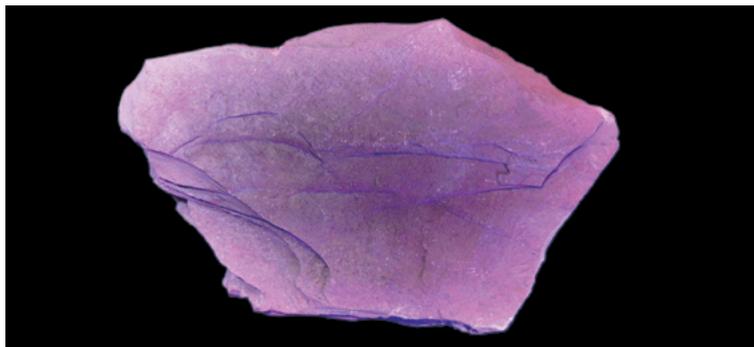


95 Neis
Fuente: Museo SGC

PRINCIPALES ROCAS METAMÓRFICAS

Las principales rocas metamórficas son pizarra, filita, esquisto, neis, granulita, mármol, cuarcita y serpentinita.

- » **Pizarra.** Roca derivada de arcillolitas, lodolitas limolitas o tobas, tiene estructura laminar fina y es muy fisible (se rompe fácilmente a lo largo de las láminas planas).



96 Pizarra
Fuente: Museo SGC

- » **Filita.** Roca compacta, lustrosa, de partículas finas. Bajo presión se desintegra en escamas. Contiene principalmente mica sericita.



97 Filita
Fuente: Museo SGC

- » **Esquisto.** Roca metamórfica de grano medio caracterizada por la presencia de minerales laminares como la mica, el talco y la clorita, entre otros, y con laminación fina, pero irregular (por plegamiento). A la roca se le da el nombre del mineral predominante: esquisto sericítico, esquisto clorítico, etc.



98 Esquisto
Fuente: Museo SGC

- » **Neis.** Roca de grano muy grueso, pocos de ellos orientados, con textura néisica imperfecta (bandas lenticulares de cuarzo, feldespatos y piroxenos).



99 Neis
Fuente: Museo SGC

- » **Granulita.** Son rocas metamórficas con minerales homogéneos y de tamaño grande, de textura granoblástica.



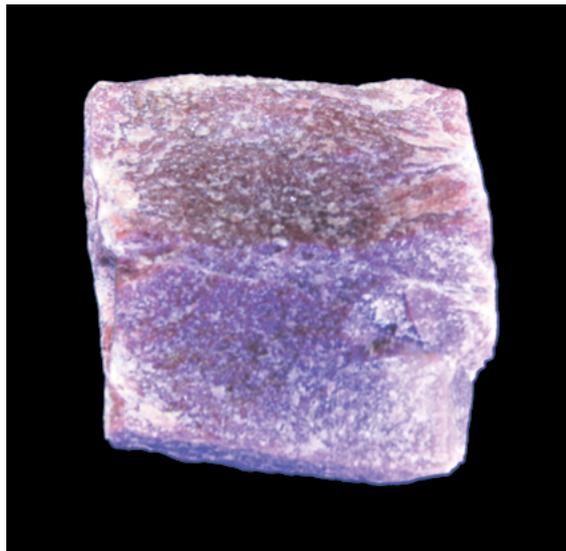
100 Granulita con granate
Fuente: <http://www.foro-minerales.com>

- » **Mármol.** Es una roca cristalina proveniente de la caliza, por recristalización debida a metamorfismo térmico. El mineral principal es la calcita, que se presenta en cristales pequeños. La roca tiene un aspecto masivo, con variados colores. Se usa como material ornamental, principalmente en construcción.



101 Mármol
Fuente: Museo SGC

- » **Cuarcita.** Roca cristalina formada por el mineral cuarzo proveniente de la recristalización de areniscas. Sus cristales son muy pequeños y el aspecto de la roca es masivo. Es muy dura y resistente a la fractura.



102 Cuarcita
Fuente: Museo SGC

- » **Serpentinita.** Roca formada casi totalmente por el mineral serpentina. Se origina por alteración hidrotermal de silicatos ferromagnesianos como el olivino y los piroxenos, que son reemplazados por serpentina.



103 Serpentinita
Fuente: Museo SGC



Salto del tequendama
Fuente: Alberto Ochoa

5. GEMAS, MINERALES Y ROCAS DE USO INDUSTRIAL

5.1

Gemas

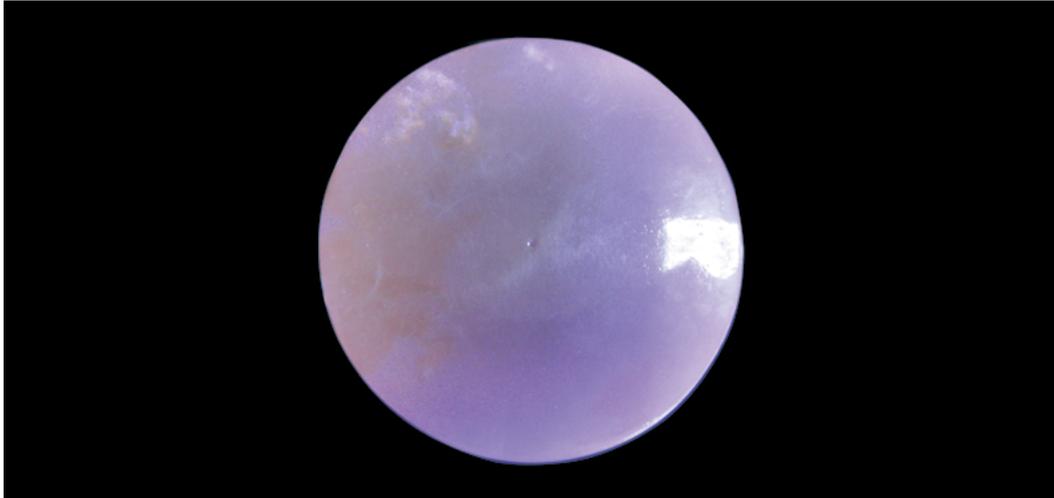
Las gemas son minerales formados en depósitos naturales. Tienen características especiales, tales como rareza, durabilidad y belleza. Para que un mineral se considere gema debe cumplir con propiedades específicas de color, brillo, dureza y dispersión de la luz.

Cuando se habla de *belleza* se hace referencia a la valoración estética y directamente relacionada con las condiciones ópticas, como color, transparencia, pureza, tamaño y talla (Estrada, 1991). La *durabilidad* tiene que ver con la inalterabilidad frente a agentes que la puedan afectar, como el sol, el agua, la luz, etc., y la *rareza*, hace referencia a que la gema no se encuentra con facilidad en la naturaleza.

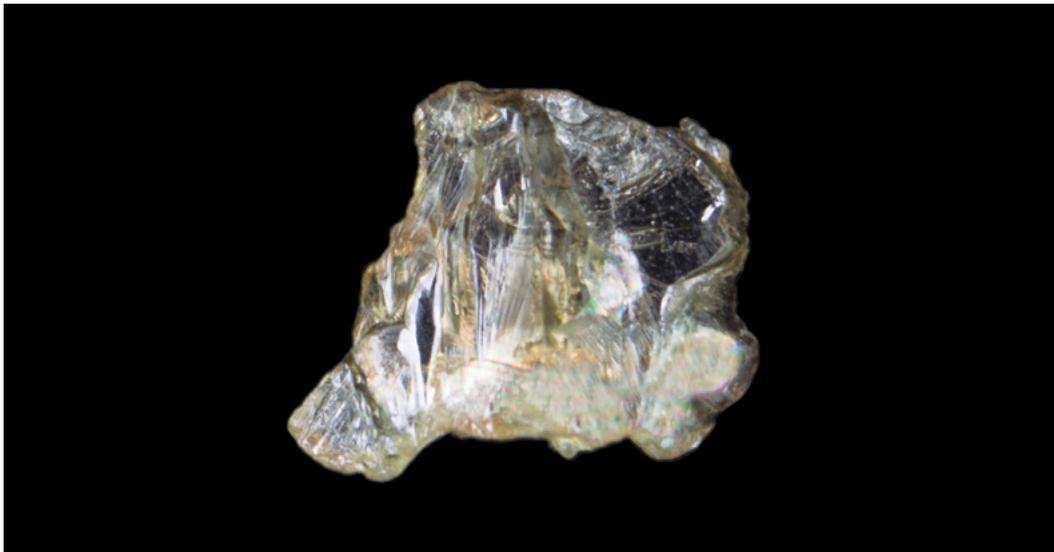


104 Esmeraldas
Fuente: Archivo Museo SGC

Se pueden clasificar como gemas preciosas el diamante, la esmeralda, el rubí, el zafiro, el ópalo, la turmalina, el ónix, el topacio y otras. Gemas de origen orgánico son la perla, el coral, el ámbar y el marfil. Gemas ornamentales son aquellas a las que el hombre les ha dado brillo, pulimento y forma, para utilizarlas en decoración; como ejemplos están el mármol, el ónix, el alabastro, etc.



105 Ónix
Fuente: Museo SGC



106 Topacio
Fuente: Museo SGC

El ónix es una variedad de calcedonia (variedad de sílice) en capas; se diferencia del ágata en que en esta última las capas son concéntricas. Por su parte, el topacio es un silicato (compuesto por sílice, aluminio y oxígeno), y se presenta en prismas.

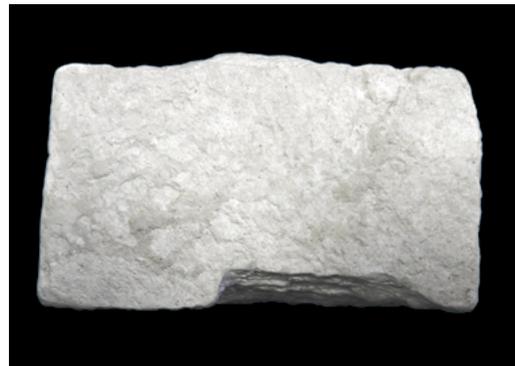
5.2

Minerales y rocas de uso industrial

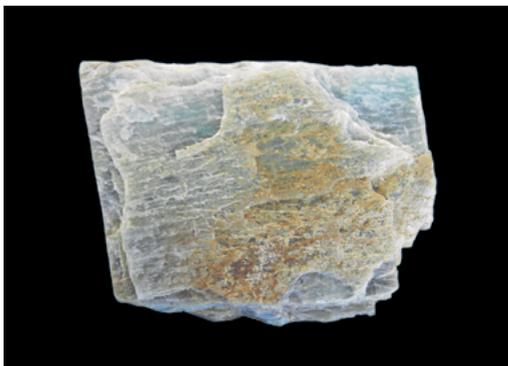
Se trata de aquellos minerales y rocas que son explotados para ser utilizados en forma general en la industria por sus propiedades. Existe una gran cantidad de rocas y minerales industriales, pero podría decirse que los principales son calizas, mármoles, feldespatos, fosfatos, micas, diatomitas, yeso, sal, talco, sílice, boratos, azufre y bauxitas y los denominados *áridos* (fragmentos de rocas de diferentes tamaños utilizados en la industria de la construcción), entre otros.



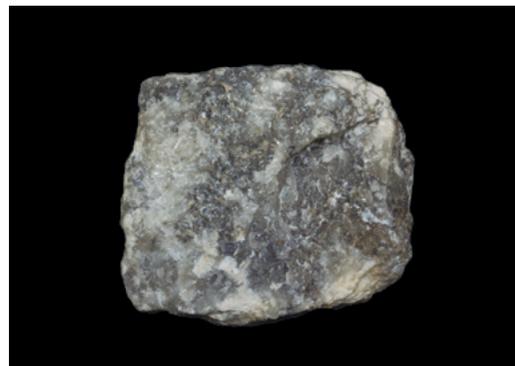
107 Mármol
Fuente: Museo SGC



108 Diatomita
Fuente: Museo SGC



109 Feldespato (microclina)
Fuente: Museo SGC



110 Yeso
Fuente: Museo SGC

Su uso es muy amplio como en la industria de la cerámica (enchapes, pisos, etc.), en la del vidrio y en la industria química, por el valor de sus elementos. Hay minerales o rocas, como la caliza, que se usan indistintamente como materiales de construcción y en la industria.

Los países más avanzados explotan extensamente sus recursos minerales y rocas industriales, a diferencia de los menos avanzados, cuya economía minera en su mayoría se basa en sus gemas o en otros tipos de minerales.

5.3

Materiales de construcción

Se trata de materiales naturales o artificiales que se usan principalmente en la construcción de obras civiles. En esta categoría entran las gravas, las arenas, las arcillas, las calizas los mármoles y las rocas que se utilizan en revestimientos, en enchapes, pisos, cubiertas, etc.

Son muchos los minerales y rocas usados como materiales de construcción o en ornamentación. Se utilizan en cimentaciones, para fabricar hormigón y concretos, en construcción de vías, en enchapes de edificios y en otras construcciones.

Como principales características de estos materiales, la ingeniería busca la resistencia mecánica, la dureza, tenacidad y durabilidad (resistencia a la meteorización).

Las principales rocas que se utilizan como materiales de construcción son, entre otras, areniscas y arenas, granitos, travertinos, calizas, mármoles y esquistos.



111 Cantera de materiales de construcción (Otengá, Boyacá)
Fuente: archivo SGC



112 Gravas de Rotinet (Atlántico)
Fuente: archivo SGC

Puzolanas es un nombre industrial usado para referirse a rocas y minerales que tienen sílice activa, en presencia del hidróxido de calcio, usadas en la preparación del cemento. Las puzolanas más comunes son las rocas volcánicas ricas en sílice, como las riolitas; también se incluyen las cenizas volcánicas y las diatomitas (algas).

En la región de Paipa existen varias explotaciones de rocas volcánicas que presentan actividad puzolánica, cualidad que las hace muy apetecidas en la industria del cemento. En una época, Cementos Samper extrajo gran cantidad de puzolanas y fue la primera empresa en el país que les dio uso industrial.



113 Explotación de puzolanas.
Su principal uso lo encuentra en la industria cementera. Iza (Boyacá)
Fuente: Manuel Eduardo Gómez



114 Calizas
Fuente: Museo SGC

Las calizas son muy utilizadas en la industria de la construcción, bien sea en la fabricación de cemento o en la producción de cal, y también en otras industrias, para producir aglomerantes, productos químicos, etc.

5.4

Materiales abrasivos

Son sustancias naturales o artificiales que se utilizan para pulir, moler o desgastar otros cuerpos de menor dureza (Ingeominas, 1987). Su eficiencia depende de su dureza, capacidad de generar superficies cortantes nuevas, estabilidad en altas temperaturas y ligación entre los granos, entre otras características.

Los abrasivos se clasifican en naturales y manufacturados. Como su nombre lo indica, los naturales son los producidos por la naturaleza, como, por ejemplo, el diamante, y los manufacturados son los producidos por el hombre a partir de materias primas naturales (Ingeominas, 1987).

Entre los minerales utilizados como abrasivos, el mejor es el diamante (se usan los que por sus defectos o impurezas no tienen valor comercial como gemas). Otros importantes son el granate, corindón, arenas de cuarzo y pumita, todos ellos con dureza 7 o más, según la escala de Mohs (véase "Tabla de dureza de Mohs").

Hay abrasivos blandos que se usan para pulir superficies suaves; entre estos se pueden mencionar algunas arcillas, calizas, creta, talcos, etc.

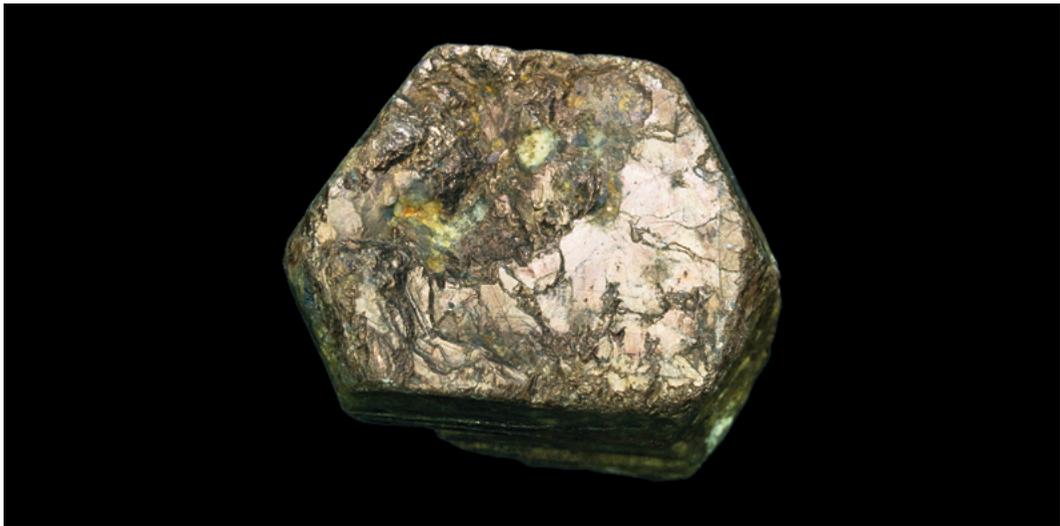


115 Granate variedad almandino
Fuente: Museo SGC



116 Granate variedad grosularia
Fuente: Museo SGC

Se denomina *granates* a un grupo de minerales que tienen propiedades físicas y formas cristalinas similares, como el almandino y la grosularia. Estos minerales, al igual que los corindones y los diamantes, son muy utilizados como abrasivos, en la industria del vidrio y cerámica.



117 Corindón
Fuente: Museo SGC

El corindón (óxido de aluminio), de gran dureza (9 en la escala de Mohs) se encuentra principalmente en rocas metamórficas. También se produce artificialmente, debido a su excelente desempeño como abrasivo, por ejemplo, en la fabricación del esmeril.

6. RECURSOS ENERGÉTICOS

Se denominan *recursos energéticos* a aquellos medios, bienes o sustancias naturales de los cuales podemos obtener energía. Entre ellos están el carbón, el petróleo, el gas, la geotermia y el uranio. El SGC ha conformado un grupo de profesionales que realizan actividades geológicas en carbones, gas metano, uranio y torio. Otro grupo trabaja en energía geotérmica.

A continuación se hace una referencia general al carbón, el petróleo, el uranio y la energía geotérmica:

6.1

Carbón

Es una roca sedimentaria de origen orgánico formada por acumulación y destilación de restos vegetales. Se presenta en capas o estratos, muchos de ellos no explotables económicamente por su reducido espesor. El carbón puede ser lignito, bituminoso y antracita, o carbón duro, que resulta cuando se alcanza el final del proceso de formación de un carbón.



118 Carbón
Fuente: Museo SGC

Colombia posee los recursos carboníferos más grandes de Latinoamérica, que se encuentran distribuidos en gran parte de la geografía del país. Departamentos como La Guajira, Cesar, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Santander y Norte de Santander albergan las mayores reservas de carbón.



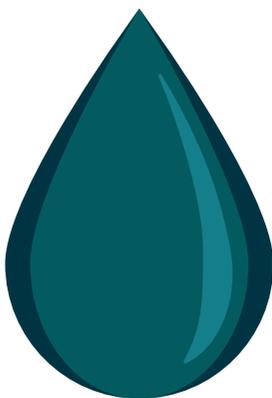
119 Afloramientos de carbones en Úmbita, Boyacá
Fuente: Archivo SGC



120 Afloramientos de carbones en Úmbita, Boyacá
Fuente: Archivo SGC

6.2

Petróleo



En sentido estricto, no es un mineral; más bien, es una sustancia mineral líquida. Es un compuesto de hidrocarburos, de color pardo a negro, aceitoso y untuoso, con un olor característico.

El petróleo, al igual que el gas, se produce a partir de la alteración de restos orgánicos compuestos de restos de plantas y animales de origen marino, principalmente fitoplancton. Estos dos recursos energéticos normalmente se encuentran juntos.

La composición elemental del petróleo es normalmente C (84-87%), H (11-14%), S (0-2%) y N (0.2%), y su apariencia es aceitosa de color oscuro (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2009).

La formación del petróleo comienza con la acumulación de sedimentos con altas cantidades de restos vegetales y animales en áreas marinas. Algunos de estos sedimentos se entierran y se protegen de la oxidación durante millones de años, lo que favorece la transformación de la materia orgánica en hidrocarburos por medio de reacciones químicas.

Debido a que el petróleo y el gas son menos densos que el agua, tienden a migrar hacia zonas superficiales a través de los poros de las rocas. Algunas veces esta migración se ve obstaculizada por capas impermeables llamadas *capas sello*, que dejan a los hidrocarburos atrapados en capas permeables denominadas *roca almacén*, que por lo regular



121 Balancín o machín, utilizado en la industria del petróleo para extraerlo del subsuelo
Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2009)

son arenitas y calizas. Cuando el petróleo se almacena en el mismo lugar en el que se formó se habla de *roca generadora o madre*.

La estructura más sencilla en la que quedan atrapados los hidrocarburos es el anticlinal (capas arqueadas hacia arriba). Otras estructuras conocidas son trampa de falla, trampa estratigráfica y asociaciones con domos salinos.

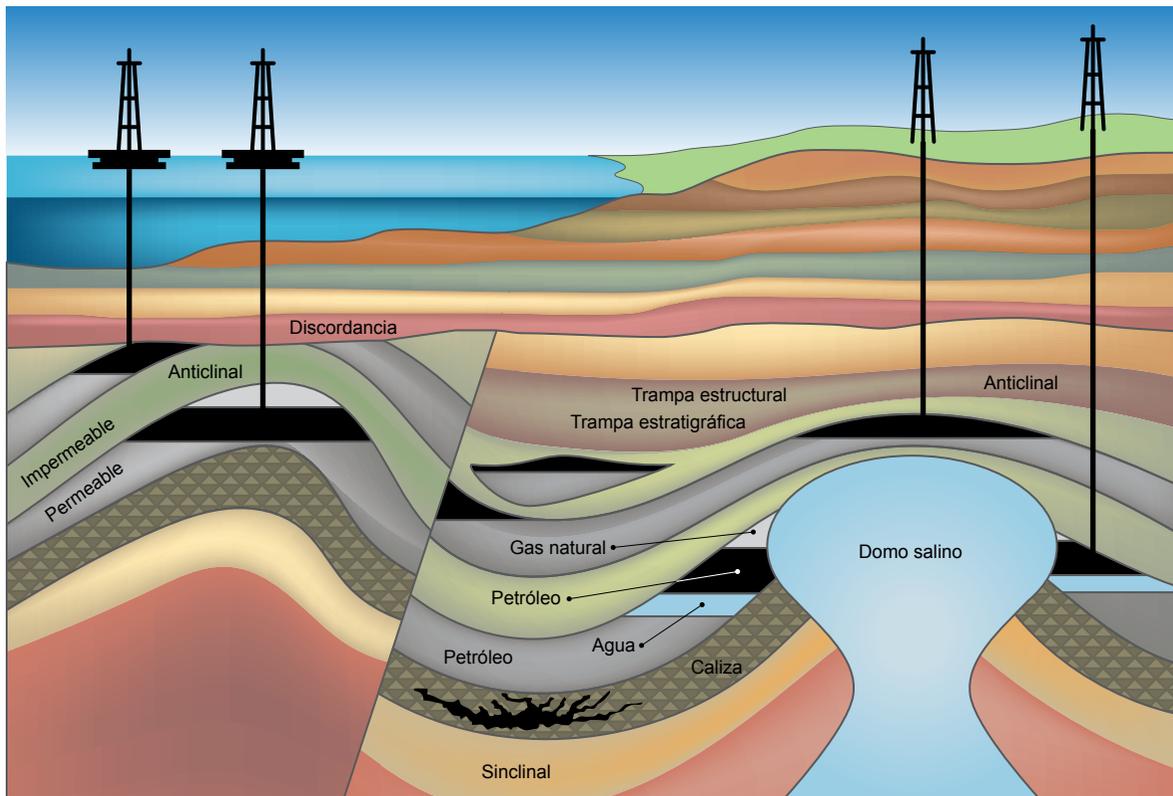
La exploración es el proceso mediante el cual se localizan y descubren yacimientos de hidrocarburos, y se realiza mediante métodos geológicos o geofísicos.

"En uno de cada diez pozos exploratorios se llega a descubrir petróleo y solo dos de cada cien dan resultados que permiten su explotación de forma económicamente rentable" (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2009).

Los mayores campos de petróleo del mundo son del periodo Cretácico, debido a su gran cantidad de vida marina.

La historia petrolera de Colombia se remonta a la conquista española, época en la cual los indígenas utilizaban el líquido aceitoso para el cuerpo. Los españoles lo emplearon para impermeabilizar sus embarcaciones. En 1905 se puede marcar el inicio de una cultura petrolera con la firma de los dos primeros contratos de concesión del país:

- » La Concesión de Mares, con Roberto de Mares, que comprendía una gran extensión de terreno al sur de lo que hoy es Barrancabermeja.
- » La Concesión Barco, con el general Virgilio Barco, localizada en el Catatumbo (Norte de Santander).



122 Métodos de exploración de una cuenca
Fuente: tomado y modificado a partir de ANH (2009)

El potencial petrolífero (crudo y gas natural) de Colombia se estima en más de 37000 millones de barriles de petróleo equivalente, distribuidos en 18 cuencas sedimentarias que abarcan un área de 1036400 km². Alrededor del 89% de esa área sedimentaria se encuentra disponible para adelantar trabajos de exploración y explotación de petróleo y gas natural. Las cuencas de mayor actividad exploratoria son las de los valles superior y medio del Magdalena, Catatumbo, La Guajira, cordillera Oriental, Putumayo y Llanos Orientales. La industria petrolera colombiana ha sido en los últimos años el motor de la economía del país. El petróleo es el primer producto de exportación con el 55.4% del total de las exportaciones y el principal contribuyente a las finanzas del Estado. Las regiones se vieron beneficiadas en sus recursos fiscales al recibir regalías por un valor de 5.9 billones de pesos en los últimos 4 años (Agencia Nacional de Hidrocarburos, n. D.). En el año 2017, Colombia produjo en promedio 853 KBPD. (miles de barriles por día).

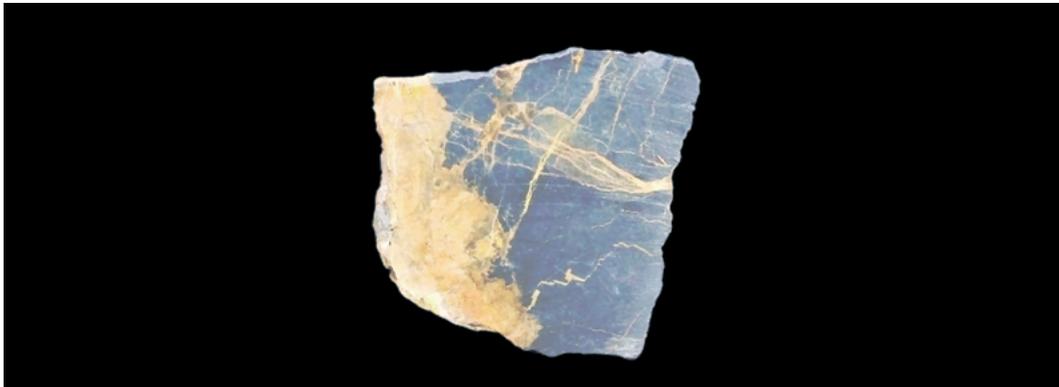
Debido a la exploración de hidrocarburos no convencionales (en *shales*), y utilizando técnicas como el *fracking* (fractura de la roca donde se encuentra), su precio bajó hasta los US 36 en el 2015; en la actualidad (marzo 2018) su precio está alrededor de los US 60. Según la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME), se espera una estabilización del precio en US 87 para el año 2020, y que podría bajar hacia los US 78 en el 2023.

6.3

Uranio

El uranio es un elemento químico que emite radiaciones y que al fisionarlo (romper sus átomos) libera enormes cantidades de energía nuclear o atómica. Los principales minerales de los que se extrae este elemento son la pechblenda y la uraninita.

El uranio es utilizado principalmente en la generación de energía. Su uso se extendió a partir de la década de los setenta hasta mediados de los ochenta. A partir del 2006 la libra de la denominada *yellow cake* alcanzó valores de 130 dólares, lo que reactivó su exploración en todo el mundo, y por ende, en Colombia. En la actualidad (febrero de 2018) el precio ronda los USD 20 (<https://www.datosmacro.com/materias-primas/uranio>), lo cual hace que pierda interés su exploración.



123 Pechblenda
Fuente: Museo SGC

La pechblenda es una variedad de uraninita (óxido de uranio). Se presenta en venas y masas botroidales (Lexis 22, 1980).



124 Uraninita
Fuente: Museo SGC



125 Exploración de uranio. Municipio de California en el Departamento de Santander
Fuente: David Leonardo Alonso

La exploración de uranio, así como de los demás minerales depende de la oferta y la demanda. En la década de los ochenta hubo gran interés en explorar el país en busca de minerales de uranio. Empresas principalmente provenientes de Francia y España recorrieron el país, pero debido al hallazgo de yacimientos grandes de uranio en otras partes del mundo no se siguió la exploración. La exploración se reactivó en el 2008.

Colombia no posee yacimientos de uranio, aunque se han encontrado anomalías interesantes, cuyo conocimiento convendría profundizar. Algunas de esas anomalías se encuentran en Quetame, Zapatoca, California y Berlín (Caldas) (Ingeominas, 1987).

El SGC reactivó el Grupo de Minerales Energéticos en el año 2008, a raíz de lo cual se encontraron valores interesantes de uranio en Paipa (sector del Manzano) con valores de hasta 7500 cps (González, Vásquez, Muñoz, Gómez, Parrado y Vargas, 2008). Esto corroboró la importancia de Quetame (Caño Negro).

En la exploración de uranio, el SGC, aparte de los equipos tradicionales, como el Exploranium, gama espectrómetro y magnetómetro, cuenta con un equipo Niton, de gran utilidad para identificar uranio, potasio y torio, así como para tomar sedimentos activos para geoquímica.



126 Exploración de uranio. Municipio de California en el Departamento de Santander
Fuente: David Leonardo Alonso

6.4

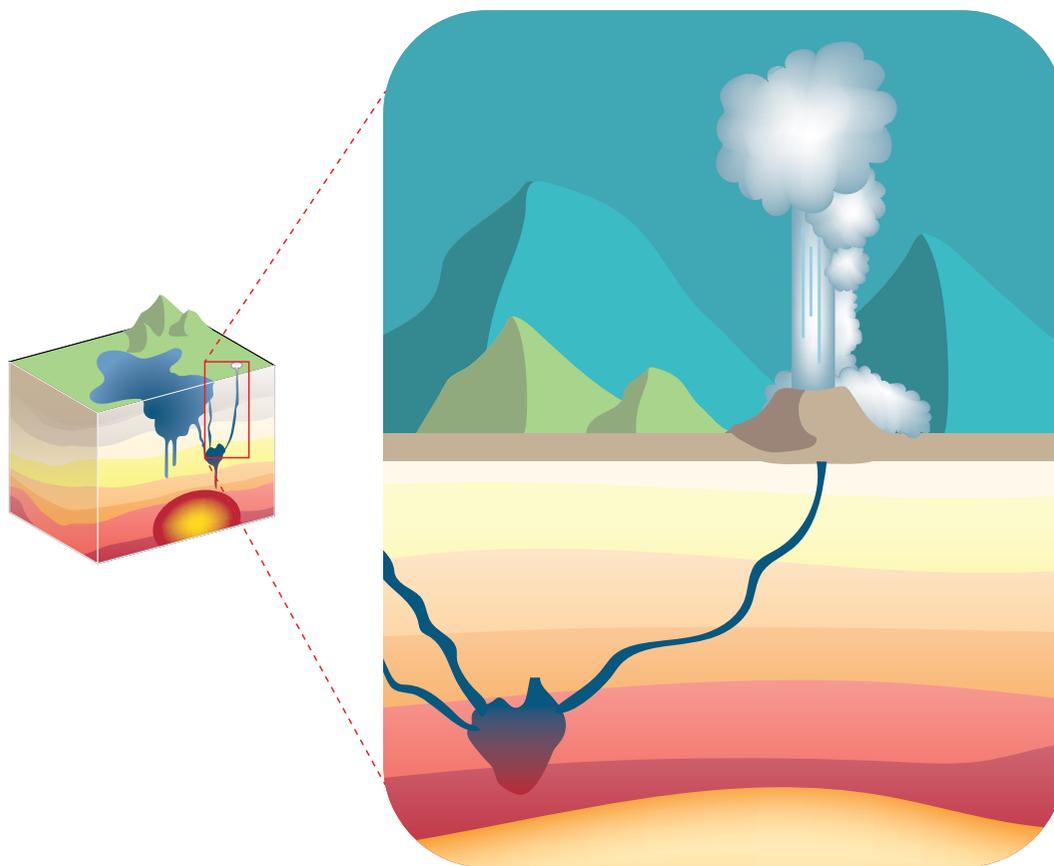
Energía geotérmica

¿QUÉ ES LA ENERGÍA GEOTÉRMICA?

Por *energía* se entiende la capacidad para poner en movimiento o transformar algo, de tal forma podemos decir que la energía geotérmica es aquella que utiliza el calor procedente del interior de la Tierra, que sale a la superficie en fuentes de agua caliente y vapor de agua, y que es aprovechada para generar energía por medio de turbinas. Sus principales usos están en la generación de electricidad y, en menor porcentaje, en la climatización, obtención de agua caliente y en geoturismo.

Las áreas donde se presentan estas manifestaciones son las asociadas con vulcanismo y en zonas de esfuerzos tectónicos.

En Colombia, su mayor potencial en recursos geotérmicos es el asociado a los volcanes, como el caso del complejo volcánico del Ruiz (Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Santa Rosa, entre otros), los volcanes del sur del país (Chiles, Cumbal, Azufral y Cerro Negro) y en Paipa e Iza (Boyacá) (archivos SGC). En la actualidad el SGC tiene constituido un grupo de investigación dedicado a estudiar el geotermalismo en Colombia.



127

Geiser

Fuente: www.geocaching.com



128

Fumarola
Fuente: Julián Peña

¿QUÉ ES UN MANANTIAL TERMAL?

Un manantial o fuente termal es una descarga natural de agua con una temperatura superior a 4 °C, que es la temperatura media ambiental. En ocasiones la descarga de agua está acompañada de descargas de gases, principalmente gas carbónico (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Estos manantiales pueden ser permanente o estacionales, y su temperatura no es constante, ni tampoco su caudal, que dependen de sus ciclos hidrogeológicos, zonas de recarga y alteraciones antrópicas, entre otros factores.

¿QUÉ ES UNA FUMAROLA?

Una fumarola es una mezcla de gases y vapor de agua que sale continuamente a lo largo de fisuras asociadas a regiones volcánicamente activas. El ácido sulfúrico (H_2S) es uno de los principales gases expedidos por las fumarolas. La composición de las mismas varía dependiendo de la temperatura. Los principalmente gases expulsados son el gas carbónico (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el dióxido de azufre (SO_2).

La información de localización, características del punto de emergencia y composición de los manantiales y fumarolas contribuye a ubicar y caracterizar los yacimientos geotérmicos.

Las plantas de energía geotérmica utilizan el calor generado de manera natural en la corteza terrestre para convertir agua caliente en vapor, y este a su vez en energía eléctrica. Adicionalmente, el agua caliente puede ser redirigida con el fin de calentar edificaciones o mantener las vías libres de hielo durante el invierno.

¿QUÉ ES UN GÉISER?

Los géiseres son lugares que se abren en la superficie terrestre, en los que periódicamente se emite una columna de agua caliente. Por lo regular se encuentran en regiones volcánicas activas. El agua superficial se infiltra en las rocas, que se encuentran a temperaturas elevadas por hallarse en cercanías del magma. El agua se calienta, disminuye su densidad y asciende nuevamente a superficie a lo largo de fisuras.



129

Géiser

Fuente: Peter González <https://www.unsplash.com>

6.5

Volcanes

Se denominan *volcanes* a las aberturas, grietas o fisuras en la superficie terrestre, que se conectan con el interior de la misma hasta el magma. Cuando la presión en el interior es muy alta por la presencia de gases y vapores de agua, estos salen a la superficie por estas zonas de debilidad, y generan una erupción, que puede ser explosiva u ocurrir simplemente en emisiones lentas.

A los volcanes que han presentado erupciones en los últimos 10000 años se los denomina *activos*. Por ello, muchos de los volcanes de Colombia están así clasificados, aunque de ellos no haya registros recientes de erupciones.

El SGC monitorea veinte volcanes en el país, y en su página web (www.sgc.gov.co) indica su nivel de actividad (verde, amarillo, naranja y rojo), de acuerdo con los protocolos internacionales. Además, cuenta con tres observatorios vulcanológicos en las ciudades de Manizales, Popayán y Pasto, aparte de su sede central, en Bogotá.



130 Volcán Galeras
Fuente: archivo SGC

Los volcanes son fuente potencial de energía geotérmica. *Volcanismo* (o *vulcanismo*) es una palabra que deriva de *Vulcano*, dios romano del fuego y del metal, y designa la salida a la superficie del magma que se encuentra a presión en el manto, y que forma los volcanes.

A continuación se muestran fotografías de los volcanes activos del Ruiz y Huila, monitoreados por el SGC en forma continua.



131 Volcán Nevado del Ruiz
Fuente: archivo SGC

El comportamiento de un volcán puede variar según la viscosidad del magma, su composición, la presión, la morfología de la región y otras condiciones que determinan diferentes tipos de erupción y diversas formas de conos volcánicos.



132 Volcán Nevado del Ruiz
Fuente: archivo SGC

Los volcanes arrojan vapor de agua, que constituye hasta un 70% de una erupción, lava y piroclastos. Estos se clasifican, según su tamaño, como ceniza (menor de 2 mm), lapilli (entre 64 y 2 mm), bloques o bombas volcánicas (mayores de 64 mm).

7. LOS FÓSILES

En la Tierra han quedado incrustados en las rocas vestigios de la vida que existió en el pasado, antes de la aparición del hombre, y que sirven para conocer cómo fue el planeta y los ambientes que existieron en su superficie en otras épocas geológicas.

7.1

¿Qué son los fósiles?

Los *fósiles* (del latín *fossilis*, que significa *excavado*), son los restos o señales de la actividad de organismos que vivieron en el pasado. Dichos restos, conservados en las rocas sedimentarias, por lo general han experimentado transformación en su composición por el proceso conocido como *diagénesis*, que es la alteración química y física que sufren los depósitos sedimentarios por profundización sucesiva y que ocasiona su compactación. La ciencia que se ocupa del estudio de los fósiles es la paleontología.

7.2

Naturaleza de los fósiles

Los fósiles son huellas o impresiones de animales o vegetales que al morir, hace miles o millones de años, se mineralizaron por procesos geológicos naturales. De ellos suele conservarse la forma del animal o la huella que dejó. Si al morir el organismo queda enterrado rápidamente y hay condiciones favorables, puede suceder un reemplazamiento molecular lento y ordenado, que en ocasiones puede ser molécula por molécula, que termina en la transformación de la materia orgánica por materia mineral, lo que da como resultado la evidencia fiel de lo que fue el animal original.

Las partes duras de los organismos, tales como la concha de diversos animales marinos y los huesos de los vertebrados, son los restos que más frecuentemente se fosilizan. Los minerales más comunes que conforman los fósiles son la calcita (carbonato de calcio) y la sílice en forma coloidal.



133 Amonita
Fuente: Museo SGC

7.3

¿Por qué se estudian los fósiles?

Si usted encuentra algún día un fósil, deseará conocer su nombre y querrá saber de dónde viene, dónde vivía, si fue un animal o una planta, por qué está ahí y si tiene algún valor. Los paleontólogos estudian los fósiles para responder esas y otras preguntas.

Los fósiles revelan mucha información del pasado. Por ejemplo, si encontramos en una montaña los restos óseos de peces marinos, o conchas de bivalvos, caracoles o amonitas (que eran cefalópodos, como los actuales pulpos y calamares, pero provistas de un caparazón enrollado), como sucede en la cordillera Oriental, cerca de la sabana de Bogotá, su presencia indica que el mar estuvo presente allí en alguna época; o si en una región que actualmente es muy fría se encuentra una planta fósil de una especie que solo pudo vivir en un ambiente tropical, se concluye que ese territorio tuvo en alguna época un clima más cálido. Estos son solo unos ejemplos que muestran cómo se puede conocer el pasado de la Tierra.



134 Mandíbula de astrapoterio (*Granastropotherium snorki*)
Fuente: Museo SGC



135 Excavación de fósil de gliptodonte en el desierto de la Tatacoa, Huila
Fuente: Archivo SGC



136 Excavación paleontológica de un mastodonte en el Municipio de Anolaima, Cundinamarca
Fuente: Gerardo Vargas



137 Afloramiento de calizas de la formación Arroyo de Piedra, en el departamento del Atlántico. Estas rocas contienen una gran abundancia de organismos marinos, como algas calcáreas, foraminíferos, bivalvos y equinodermos
Fuente: archivo SGC

7.4

¿Dónde se encuentran fósiles?

Las rocas donde más comúnmente se encuentran fósiles son las sedimentarias, como areniscas, arcillolitas, limolitas y calizas. Cuando se encuentran restos fósiles en rocas metamórficas, estos con frecuencia están deformados, lo que indica que la fosilización se produjo antes del metamorfismo que afectó las rocas preexistentes; siendo estos restos alterados por metamorfismo, difíciles de estudiar.



138 Concentración de fósiles en rocas sedimentarias (conchas de bivalvos, entre otros)
Fuente: Archivo SGC

7.5

Formación de los fósiles

Las partes blandas de animales y plantas están sometidas, después de su muerte, a un rápido proceso de descomposición.

Las partes duras de los organismos, como conchas o huesos, al ser más resistentes, tienen una mayor posibilidad de fosilizarse. La formación de un fósil es un proceso natural excepcional, ya que para que un organismo pueda convertirse en fósil es *necesario que se dé una serie de procesos y condiciones que eviten la descomposición de los elementos duros del organismo*. Una de las condiciones más importantes es que el organismo quede enterrado rápidamente por los sedimentos y que se den ciertas condiciones físicas y químicas que permitan la transformación molecular de los restos y la preservación del organismo.

Entre las condiciones químicas cruciales para la formación de un fósil se encuentra la acidez del medio, ya que en un ambiente ácido las conchas o los restos óseos se disuelven rápidamente.

La mayoría de las conchas de los invertebrados están compuestas por carbonato de calcio, y de los vertebrados, principalmente por fosfato y carbonato de calcio. Una de las condiciones químicas más importantes para la formación de un fósil es la acidez del medio, ya que en un ambiente ácido, las partes duras o los restos óseos se disuelven rápidamente.



139 Amonita de la especie *Pseudoaustraliceras colombiae*
Fuente: archivo SGC

No solo la acidez es determinante en la formación de un fósil: la profundidad, en el caso de organismos marinos, es otro factor muy importante, pues en profundidades por debajo de los 5000 metros el carbonato de calcio se disuelve rápidamente.

En el caso de los organismos terrestres, la fosilización es un proceso menos común, ya que en él influyen "Procesos físicos (ej.: transporte y abrasión), químicos (intemperismo) y biológicos (organismos carroñeros) que destruyen el material fosilizable. Ambientes de depósito con poco oxígeno, rápida tasa de sedimentación y baja energía, facilitan la preservación" (Molina Garza, 2018).

También puede suceder que el carbonato de calcio que forma la concha sea molecularmente reemplazado totalmente, molécula a molécula, por otra sustancia mineral que refleje hasta los mínimos detalles. Por ejemplo, el aragonito o la calcita pueden ser reemplazados por sílice, cuyas preservaciones pueden ser excepcionales, por ejemplo en secciones pulidas de troncos de árbol silicificados, por lo general se pueden reconocer todos los detalles de las células de la madera. Por último, en condiciones muy excepcionales, las partes blandas pueden también quedar preservadas, por ejemplo, en resina o en hielo.

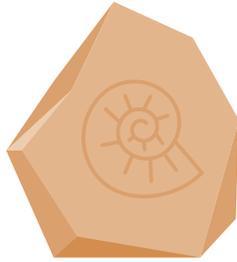
Solo una parte ínfima de la gran cantidad de organismos que han vivido sobre la Tierra se han conservado. Únicamente se han fosilizado aquellos que encontraron condiciones o ambientes favorables para el proceso de fosilización. Por lo tanto, cada fósil es, en gran medida, un registro histórico único de la vida en épocas más remotas.



140 Labores de excavación de material paleontológico en Anolaima
Fuente: archivo SGC

7.6

Clasificación de fósiles: bases de la taxonomía



Los primeros signos de la vida aparecieron sobre la Tierra hace 1000 millones de años, y con mayor presencia desde hace más de 541 millones de años (Cohen *et al.*, 2013). Desde entonces, la vida, ha conocido una evolución continua, los organismos se han diferenciado, cientos y cientos de millones de generaciones se han sucedido. Evaluar el número de especies que durante este largo periodo han vivido sobre nuestro planeta es imposible.

Hasta el momento se han descrito alrededor de 1.5 millones de especies actualmente vivas, y se estima que deben existir unos nueve millones (Mora, Tittensor, Adl, Simpson y Worm, 2011). Es por ello, que evaluar el número de especies que han vivido desde hace 541 millones de años sobre nuestro planeta, es prácticamente imposible. Para clasificar los fósiles es necesario escoger los criterios más convenientes para poder trabajar de manera coherente y eficaz. Se han propuesto numerosas clasificaciones; sin embargo, algunas veces son difíciles de establecer, ya que los paleontólogos no disponen más que de restos incompletos, a menudo muy fragmentarios y modificados. A pesar de ello, las posibilidades de estudiar adecuadamente un fósil no están tan limitadas como pudiera parecer, pues el estudio morfológico de los fósiles y el reconocimiento de los ejemplares vivos en la naturaleza actual permiten resolver numerosas cuestiones.

Las clasificaciones actuales dedican un amplio espacio a las relaciones de origen del parentesco entre los organismos (lo que se llama, a nivel de grandes grupos, *relaciones filéticas*, término relacionado con la categoría taxonómica *filum*², inferior a reino y superior a clase, utilizada para catalogar especímenes según sus características biológicas).

Para clasificar los fósiles, se recurre a la taxonomía (de la raíz griega *taxís*, que significa *ordenación*), cuyo objeto de estudio es el principio de la clasificación de los seres. Cada unidad del mundo vivo es un "taxón".

La taxonomía, precisamente, tiene como objeto definir la ordenación jerárquica y sistemática de los seres que presentan determinadas semejanzas entre sí y que muestran diferencias con otros grupos. Estas unidades están situadas en categorías jerarquizadas (gradaciones), en un número de siete. De la más extensa a la más restringida son las siguientes:

- » Reino
- » Phylum
- » Clase
- » Orden
- » Familia
- » Género
- » Especie

² Véase <https://es.oxforddictionaries.com/definición/filum>

Estos siete niveles fundamentales no bastan para clasificar la totalidad de organismos y, según las necesidades, se intercalan otras categorías, por ejemplo, la subclase, la superfamilia, la subfamilia, el infraorden, etc.

La categoría fundamental es la especie. Esta está constituida por grupos de poblaciones, real o potencialmente interfecundas y aisladas en cuanto a la reproducción, de cualquier otro grupo semejante. El concepto de *especie* en paleontología debe igualmente considerar el factor tiempo geológico.

El árbol genealógico del mundo vivo es una representación gráfica que describe cómo, a partir de una raíz y un tronco común (ancestro), se desprenden ramas que se van subdividiendo, teniendo en cuenta las características comunes entre los organismos. Cortando horizontalmente este árbol genealógico, se determinan los niveles de organización, o incluso niveles de evolución.

La excepcionalidad del proceso de fosilización genera normalmente imperfección del registro paleontológico, es por ello que los testimonios de vida registrados como fósiles, que recogen y estudian los paleontólogos, representan apenas algunos eslabones del registro total de vida.

7.7

Actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico

Es importante recordar que el SGC tiene dentro de sus funciones proteger el patrimonio geológico y que, de acuerdo con el Decreto 1353, en su Artículo 2.2.5.10.2.1, relacionado con actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico, dice: “Para adelantar una o algunas de las labores y actividades que sustentan o acompañan la investigación científica paleontológica tales como: colecta, extracción y excavación de restos paleontológicos, intervención y aplicación de pruebas, ensayos y análisis especializados sobre bienes extraídos, entre otras, se requerirá de la autorización para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico expedido por el Servicio Geológico Colombiano.

Las universidades colombianas debidamente acreditadas por el Ministerio de Educación Nacional que cuenten con el programa aprobado de geología, ingeniería geológica, geociencias o biología, así como los centros de investigación geológica y paleontológica acreditados por Colciencias, tienen autorización para el desarrollo de las actividades previstas en el presente artículo, estando obligadas a informar previamente la realización de la actividad, así como los resultados generados, indicando los posibles bienes encontrados y su posterior registro en el Inventario Nacional Geológico y Paleontológico, garantizando en todo momento la protección integral de los bienes de interés geológico y paleontológico encontrados. Cuando en el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico las universidades colombianas debidamente acreditadas por el Ministerio de Educación Nacional que cuenten con el programa aprobado de geología, ingeniería geológica, geociencias o biología, así como los centros de

investigación geológica y paleontológica, contraten el desarrollo de alguna las actividades indicadas a través de terceros, se requerirá de la autorización de que trata este artículo.

Las autorizaciones para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico de las que trata el presente capítulo, podrán incluir, si corresponde, la autorización para la movilización dentro del territorio nacional de los posibles bienes de interés geológico y paleontológico objeto de estudio. En cualquier caso, el Servicio Geológico Colombiano emitirá una comunicación en la que conste de manera expresa qué bienes serán objeto de movilización y de qué forma se realizará.

Parágrafo: En los casos donde estas excavaciones e intervención de carácter paleontológico se encuentren en áreas del Sistema de Áreas Protegidas (SINAP), se deberá contar con la respectiva autorización de la autoridad ambiental competente”.

7.8

Otorgamiento de autorizaciones para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico

Con relación al otorgamiento de autorizaciones para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico; en el Artículo 2.2.5.10.2.4. del citado decreto, queda establecido que “El Servicio Geológico Colombiano como autoridad competente otorgará la autorización para el desarrollo de actividades de excavación e intervención paleontológica, siempre que las mismas se encuentren en el marco de investigaciones científicas, la preservación, la docencia y la exhibición y no se encuentren localizadas al interior del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).

Para el desarrollo de tales actividades de carácter paleontológico se deberá solicitar y obtener previamente la respectiva autorización, de conformidad con la regulación que expida



141 Actividades de excavación paleontológica de un reptil marino en Anolaima
Fuente: Archivo SGC

el Servicio Geológico Colombiano para tal fin. Las universidades nacionales que no cuenten con programas relacionados con geología, paleontología, ingeniería geológica, geociencias y biología, los centros de investigación diferentes a los señalados en el artículo 2.2.5.10.2.1, los grupos de investigación, así como las instituciones de investigación extranjera que pretendan realizar actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico deberán cumplir, entre otras, con las siguientes condiciones:

- a) Contar con líneas de investigación científica que contengan las diferentes temáticas o campos de investigación asociados a las actividades científicas de carácter paleontológico.
- b) Contar con una dependencia o persona responsable de la administración de dichas líneas de investigación científica.
- c) Encontrarse debidamente acreditadas por el Ministerio de Educación Nacional, y sus líneas de investigación debidamente aprobadas y reconocidas dentro de la institución.
- d) En el caso de instituciones de investigación extranjeras, estar debidamente acreditadas y contar con amplio reconocimiento en la investigación geológica y/o paleontológica.

Parágrafo 1: Excepcionalmente, el Servicio Geológico Colombiano podrá conceder autorización a investigadores científicos para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico, bajo las condiciones científicas y técnicas que para tal fin establezca la entidad.

Parágrafo 2: Cuando se trate del otorgamiento de autorización para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico y que se proyecten de manera total o parcialmente dichas actividades al interior de un área en la que se adelanten actividades mineras, de hidrocarburos y de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de energía, el Servicio Geológico Colombiano deberá tener en cuenta las observaciones, recomendaciones y conclusiones presentadas en el informe emitido por parte del Ministerio de Minas y Energía en los términos de los artículos 2.2.5.10.1.2. y 2.2.5.10.1.3 del presente decreto para la toma de la decisión correspondiente”.



142 Actividades de excavación paleontológica
Fuente: Archivo SGC

8. CÓMO HACER UNA COLECCIÓN

Para muchos es apasionante coleccionar minerales, rocas y fósiles; sin embargo, para iniciar una colección se deben tener en cuenta muchos aspectos técnicos, sobre todo en lo relacionado con la colección de fósiles, ya que el país cuenta con regulaciones para las actividades de recolección y tenencia de este tipo de material. Si se llega a encontrar un fósil, se deben tomar datos como la localización exacta de la pieza, si esta está incluida en estratos rocosos o si estaba ya desprendida de la roca, independiente de la posible tenencia legal. Dicho hallazgo se debe reportar a una autoridad competente, como el Servicio Geológico Colombiano, o a alguna universidad que cuente con departamento o facultad de geología. Posteriormente, dependiendo de las condiciones y valor científico, se podría otorgar o no la tenencia de dicho material fósil.

En el caso de rocas y minerales, muchas veces las personas no saben dónde conseguirlos y cómo prepararlos. A continuación se dan unas orientaciones para quienes deseen hacerlo.

8.1

Cómo conseguir las muestras

Rocas y minerales se encuentran casi en todas partes, a veces hasta en el propio jardín casero. Hay ciertos lugares donde se encuentran las rocas y minerales en su lugar de formación, y es allí donde se pueden obtener buenas muestras. Por ejemplo, en carreteras donde hay taludes descubiertos, en canteras, en lechos de quebradas, en playas de ríos o del mar, en túneles y en muchos otros lugares donde haya afloramientos.

Aprovechar los paseos o los viajes, o realizar excursiones para buscar muestras, es la mejor oportunidad para poder iniciar y aumentar una colección. Además del descanso que produce el contacto con la naturaleza al aire libre, el coleccionista disfruta de las satisfacciones que le producen los hallazgos, y posteriormente puede afirmar con orgullo a sus amigos que la colección es resultado de su propio esfuerzo. Un buen coleccionista debe ser activo y paciente.

En las salidas al campo los geólogos llevan un martillo de acero duro con uno de sus extremos en forma de pica (martillo geológico), un cincel, bolsas de lona o plástico fuerte para muestras, etiquetas o marcadores para rotular las muestras, y una libreta de apuntes para registrar datos como la localidad y las coordenadas donde se toma cada muestra.

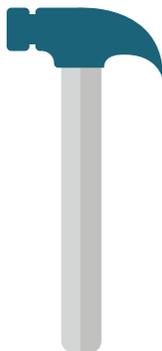
Si desea, puede llevar cámara fotográfica, lupa, navaja de bolsillo, GPS y mapas, en los cuales se puede indicar la localización de las muestras.



143 Actividades de excavación paleontológica
Fuente: Archivo SGC

8.2

Cómo preparar las muestras



La naturaleza de la muestra determinará el tamaño de los ejemplares, por su parte el estado físico de los afloramientos, incide normalmente en el grado de preservación de los fósiles. Dependiendo de esto se debe tratar de obtener de la mejor manera el mineral o la roca que exhiba, por ejemplo, los mejores cristales o las estructuras sedimentarias, es decir, las razones que motivaron coleccionar la muestra, teniendo en cuenta su tamaño para no transportar mucho "peso muerto".

El lugar adecuado para la preparación de fósiles es en un laboratorio. De no tener acceso a estos lugares, en casa, con mayor cuidado usted puede adecuar mejor las muestras al tamaño final que ha escogido, según sus posibilidades. El tamaño de las muestras de su colección depende del espacio que tenga o que decida para su exposición. Usted puede disponer un lugar para colocar estanterías, pedestales o armarios y allí exhibir las muestras.

El tamaño ideal que se recomienda para muestras de rocas y minerales es de 7 x 10 cm (tamaño de un puño) aproximadamente, y el de fósiles, como se indicó, depende de la naturaleza del fósil y de su preservación en el yacimiento.



144 Preparación de muestras con martillo neumático en el laboratorio de microfósiles del Museo Geológico José Royo y Gómez del SGC
Fuente: Archivo SGC

Si carece de espacio, puede preparar cajas de cartón o madera con compartimientos, para colocar muestras más pequeñas; en este caso, para evitar que con el tiempo se acumule polvo, colóqueles tapas a las cajas. Otra forma de preparación es la de cajas individuales de cartón, de unos 4 × 5 cm y 1.5 cm de altura, para colocarlas luego dentro de una caja más grande (por ejemplo, 40 × 25 cm y 2.5 a 3 cm de altura, donde caben 54 muestras, cada una en su caja individual).

Otro aspecto importante en la preparación de las muestras es su limpieza. Un mineral o roca limpios son más atractivos. Si la muestra no es deleznable (o friable) se puede lavar con agua y jabón corriente. Si es dura, puede cepillarse durante el lavado con cepillo de cerda o de alambre. Antes de utilizar agua, averigüe si el mineral es soluble en ella, como la halita o sal gema (cloruro de sodio); en ese caso no se podrá lavar sino con alcohol o un líquido limpiador suave.

Los minerales terrosos y blandos se pueden limpiar con aire a presión (puede utilizar una jeringa para producirlo).

8.3

Clasificación del material de la colección

En unos cuantos casos usted mismo podrá identificar preliminarmente las muestras con ayuda de libros y tablas, aplicando los métodos de prueba allí descritos. Si no tiene seguridad de la identificación, consulte a un geólogo, a un paleontólogo o a una persona especializada en este campo.

Una vez identificada cada muestra, rotúlela con un número (puede usar pintura blanca en una esquina de la muestra, y una vez seca, colóquele el número con tinta china, pro-

curando no marcar sobre el ejemplar); luego abra una ficha con ese número y allí anote el nombre de la muestra, el lugar donde la tomó (lo más detallado posible) y la fecha. Una muestra que solo dice el nombre no tiene tanto valor como cuando se indica el lugar donde se encontró. Si quiere hacer una ficha más completa, agregue datos como la composición química (si es un mineral) o la composición mineralógica (si es una roca) y los posibles usos industriales.



145 Actividades de rotulación y preparación paleontológica en el Museo Geológico José Royo y Gómez del SGC

Fuente: Archivo SGC

Cuando tenga una colección más completa, puede reagrupar los minerales de acuerdo con su grupo mineral (sulfatos, óxidos, carbonatos, etc.) Y las rocas por clases (ígneas, sedimentarias o metamórficas). En ese caso deberá numerarlas nuevamente, no olvidando cambiar el número en las muestras y en las fichas, sin perder la información que consignó inicialmente.

8.4

Conservación de la colección

Evite que llegue polvo a las muestras, porque después es difícil y dispendioso limpiarlas y la interacción de partículas puede generar deterioro a largo plazo. Algunos minerales son sensibles a la luz (por ejemplo, el rejalgam o sulfuro de arsénico), por lo cual deben mantenerse en la oscuridad, y si se las expone a la luz, no debe ser de forma permanente; otras son sensibles a la humedad, como el bórax o la roca de sal, por lo cual se deben mantener

en recipientes cerrados; otras, que se oxidan y se manchan si se exponen al aire, como la plata, la pirita, la marcasita, etc., se pueden cubrir con laca transparente.

En resumen, hay que mantener la colección en sitios que no sean húmedos o donde no haya cambios fuertes de temperatura. Algunos minerales deberán cuidarse más que otros.



146 Museo Geológico José Royo y Gómez
Fuente: SGC



Laguna de Chizacá
Fuente: Ferney Andrés Tangarife

9. GEOLOGÍA HISTÓRICA

La Tierra fue una masa incandescente sin atmósfera en los primeros miles de millones de años y recibía muchos impactos de meteoritos. Las capas exteriores empezaron a solidificarse pero el calor procedente del interior las fundía nuevamente. La actividad volcánica era intensa, lo que motivaba que grandes masas de lava candente salieran al exterior y aumentaran, gradualmente, el espesor de la corteza, que desencadenó en un enfriamiento progresivo que permitió la formación de una corteza terrestre estable.

Uno de los mayores retos de la geología histórica es la ubicación en tiempo geológico de las distintas rocas que se hallan en la corteza terrestre, lo que se conoce como datación. En rocas sedimentarias, los depósitos originales están formados por materiales característicos de áreas de sedimentación denominadas ambientes de depósito. Muchas de estas formaciones contienen restos fósiles de vegetales o animales que permiten, con estudios sedimentológicos o paleontológicos, definir la edad de los restos fósiles (a su vez de la roca) y en qué ambiente se originó el depósito.

La estratigrafía es un área de conocimiento de las ciencias geológicas que estudia la disposición de los estratos (depósitos), su edad, el ordenamiento original de las capas, y las transformaciones y destrucciones que han experimentado. Su objetivo final es la reconstrucción del paisaje en la superficie de la tierra en cada momento y en todo lugar, lo que se conoce como análisis de cuencas sedimentarias.

9.1

El tiempo geológico



Cuando se habla de *tiempo geológico* se hace referencia a millones de años, contando desde los inicios de la formación de nuestro planeta hasta la actualidad. Los actuales métodos de datación establecen la edad de la Tierra en torno a 4600 millones de años (Belard, 2001), lapso que incluye eones, eras, periodos y épocas. Entonces el tiempo geológico es una medida temporal que incluye todo tipo de proceso geológico que ha existido, e incluye la evolución de la vida en todas sus fases en el planeta. A continuación se mencionan los rangos más significativos del tiempo geológico, sin entrar en subdivisiones. Las edades mencionadas para cada división fueron tomadas de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional de 2015. Hay que tener en cuenta que cada año estos valores pueden ir cambiando. A medida que se avanza en el conocimiento estratigráfico

de la Tierra, se realizan nuevos descubrimientos paleontológicos y se efectúan más dataciones radiométricas que permiten refinar los cálculos del tiempo geológico. Por esto, ciertos rangos pueden ser modificados.

9.2

Eón Proterozoico

Este extenso tiempo (eón) abarca desde el nacimiento de la Tierra como planeta, sin vida (azoico), hasta los primeros registros de fauna y flora en varias regiones del planeta. Por tanto comprende el tiempo de la historia de la Tierra que precede a las primeras rocas que contienen organismos suficientemente bien conservados para que pueda ser descrita su estructura.

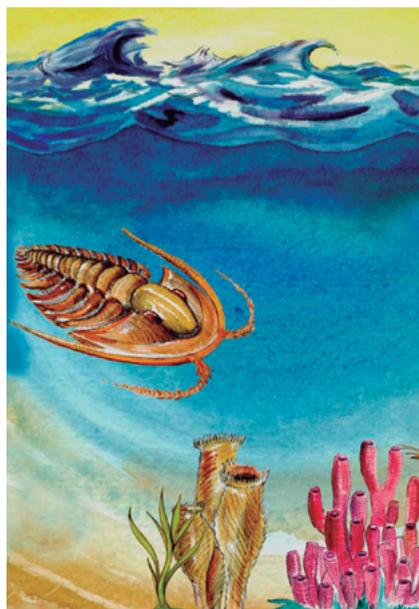
El Proterozoico terminó hace 541 millones de años (Tabla Cronoestratigráfica Internacional 2015; Comité Internacional de Estratigrafía [IUGS]), límite que da comienzo a la era Paleozoica.

Aun cuando en los terrenos precámbricos, son raros los fósiles, es evidente que por lo menos en parte de ellos existieron seres vivos, como lo atestiguan algunas rocas calcáreas y carbonosas, solo atribuibles a la actividad de organismos y al hecho de que los primeros seres conocidos del Paleozoico presentaban una organización compleja o elevada.

9.3

Era Paleozoica

El Paleozoico duró unos 290 millones de años y terminó hace 252 millones de años (Ma). Esta era se divide en seis periodos, cámbrico, ordovícico, silúrico, devónico, carbonífero y pérmico. Cada periodo se divide en series o épocas, y estas últimas en pisos.



147

Trilobite, esponjas y corales del Cámbrico

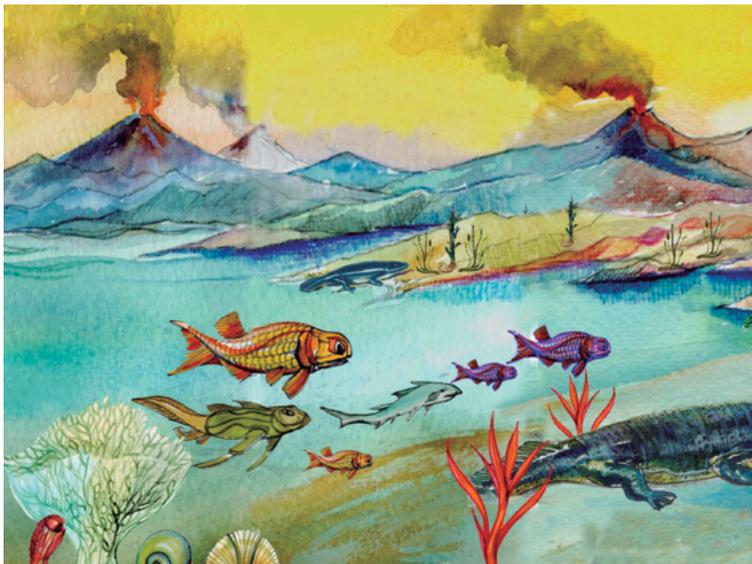
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC, 2001

En el periodo Cámbrico aparecieron los primeros organismos invertebrados que secretaban esqueleto, como fueron las esponjas, algunos braquiópodos articulados y las trilobitas, de esqueleto quitinoso, que habitaban aguas normalmente poco profundas.



148 Primeros vertebrados, trilobitas, esponjas y briozoarios
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC, 2001

En el Ordovícico se incrementaron notablemente los organismos de esqueleto calcáreo, como los braquiópodos, los moluscos, los corales, los briozoos y los equinodermos (estrellas y erizos marinos). A finales de este periodo se desarrolló una glaciación sobre gran parte de Gondwana que originó la segunda mayor extinción en masa de la historia.



149 Peces acorazados y cartilaginosos
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC. 2001

En el periodo Silúrico, es decir, que comenzó hace 444 millones de años y terminó hace 419 millones de años, aparecieron los primeros representantes de los peces, algunos de ellos semejantes a los que conocemos actualmente. En este periodo aparecieron los primeros animales terrestres relacionados a restos de plantas.



150 Primeros animales terrestres y plantas del Ordovícico
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC, 2001

Periodo Devónico. A finales del Silúrico y principios del Devónico las algas fueron evolucionando y se adaptaron a la vida terrestre. Las plantas vasculares se desarrollaron muy rápidamente. Ya en el Devónico aparecieron los primeros helechos y las gimnospermas, es decir, las plantas con semillas desnudas y que no producen frutos. Así se generaron los primeros grandes bosques, lo que permitió a los artrópodos, e incluso a los vertebrados, iniciar la colonización terrestre.



151 Plantas vasculares y artrópodos (insectos)
Fuente: Ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC. 2001

En el Carbonífero las condiciones ambientales terrestres y marinas fueron muy variadas, desde extensos periodos glaciares hasta periodos de climas muy áridos se desarrollaron entre lo numerosos ecosistemas. Existían extensas regiones pantanosas con enormes plantas. En rocas de este periodo se han encontrado fósiles de grandes insectos, como cucarachas de hasta cincuenta centímetros de largo y libélulas de hasta un metro de envergadura.



152 Pelicosaurios y reptiles primitivos del Carbonífero
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC. 2001

En el periodo Pérmico se evidencia la colonización de los vertebrados terrestres, capaces de respirar el oxígeno de la atmósfera. Estos animales eran principalmente anfibios y reptiles primitivos, predecesores de los mamíferos y dinosaurios. Las floras terrestres fueron también abundantes con grandes regiones en los márgenes de Gondwana. A finales del pérmico grandes centros volcánicos en Siberia generaron la extinción masiva más importante de todos los tiempos.

9.4

Era Mesozoica

La era Mesozoica, conocida también como *era de los dinosaurios*, se inició hace 252 millones de años y finalizó hace 66 millones de años.

A finales del paleozoico y buena parte del Triásico los continentes estaban agrupados en una sola e inmensa masa de tierras emergidas conocidas como el súper continente *Pangea*. Dichos terrenos se fragmentaron gradualmente desde el Jurásico y los continentes empezaron a desplazarse hacia su posición actual. El clima fue cálido durante el Cretácico, hecho que desempeñó un papel importante en la evolución y la diversificación de nuevas especies de plantas y animales. Los invertebrados más comunes del Mesozoico

fueron las amonitas, los belemnites, así como también los equinodermos (erizos), braquiópodos y crustáceos. Se desarrollaron ampliamente los vertebrados, sobre todo los reptiles. En esa era aparecieron también los mamíferos y, en el reino vegetal, principalmente las plantas angiospermas, o plantas con flores.

La era Mesozoica se divide en tres periodos: el Triásico, el Jurásico y el Cretácico.

En el periodo Triásico hicieron su aparición los primeros mamíferos que evolucionaron de los reptiles mamiferoides. El Triásico se caracterizó fundamentalmente por la aparición de los primeros dinosaurios, inicialmente representados por formas bípedas, carnívoras y de pequeño tamaño. No obstante, a finales del periodo ya se habían diversificado a gran escala y se habían convertido en los vertebrados terrestres dominantes en todo el planeta. En cuanto a la vida marina, los grupos más comunes del Triásico inferior fueron los moluscos. Las amonitas experimentaron una recuperación muy significativa después de su casi total extinción en el Pérmico (solo dos géneros sobrevivieron).

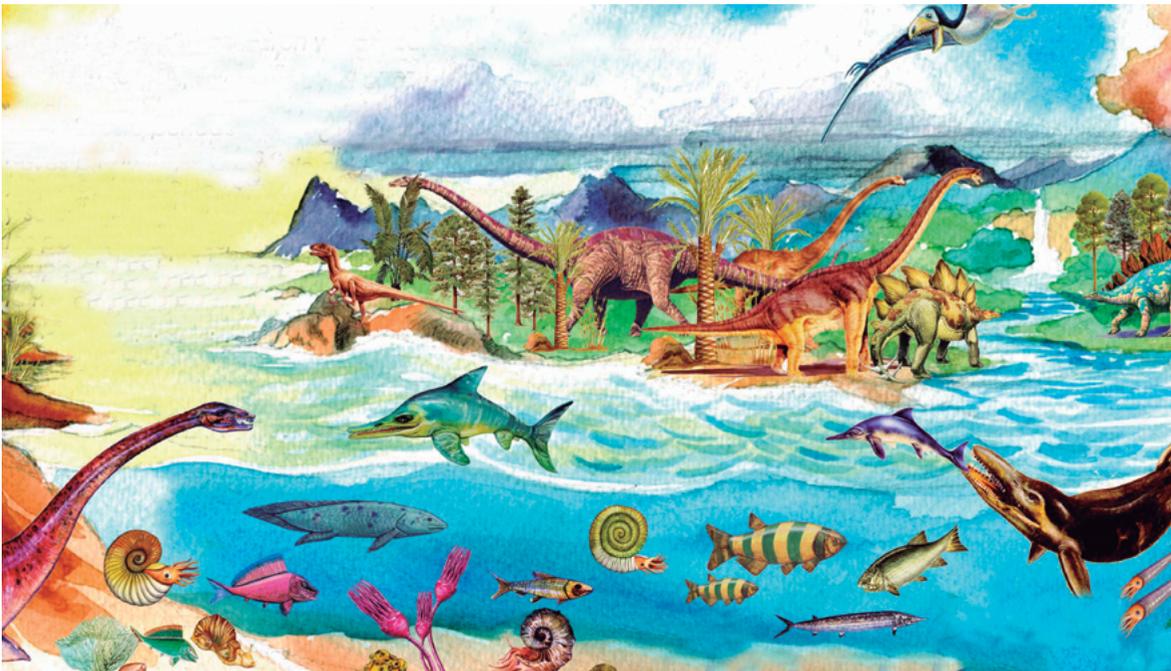


153 Paisaje del Triásico

Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC. 2001

El periodo Jurásico comenzó hace 201 millones de años y acabó hace 145 millones de años. Este período se caracteriza por la hegemonía de los grandes dinosaurios y por la división de Pangea en los continentes Laurasia (al norte) y Gondwana (al sur). De este último se separó Australia en el Jurásico Superior y principios del Cretácico, y Laurasia se dividió en Norteamérica y Eurasia.

En el Jurásico eran comunes las gimnospermas, es decir, plantas sin flores y con la semilla desnuda (como los pinos y las araucarias), muchos tipos de dinosaurios, como los saurópodos, carnotauros y estegosaurios. Los mamíferos eran comunes, pero pequeños. Los lagartos y, en el mar, los reptiles marinos (ictiosaurios y plesiosaurios) se diversificaron.



154 Paisaje marino y terrestre del Jurásico
Fuente: ilustración de Jhon Fredy Umaña y María Páramo para el Museo Geológico SGC. 2001

El periodo Cretácico inició hace 145 millones de años y terminó hace 66 millones de años, es decir, tuvo una duración de 79 millones de años. En el Cretácico aparecieron las angiospermas, es decir, las plantas con flores, lo que contribuyó a la gran diversificación de los insectos. Aparecieron peces teleósteos, muy similares a los actuales. Fueron comunes las amonitas, los belemnites (cefalópodos similares a los actuales calamares y sepias, pero con una concha interna), los bivalvos, que lograron ocupar el nicho que antes ocupaban los braquiópodos, los equinodermos y las esponjas. Varios tipos de dinosaurios evolucionaron en tierra, como los tiranosaurios, los triceraptops y la extensa familia de los hadrosaurios, así como los cocodrilos modernos. En el mar evolucionaron los reptiles marinos como mosasaurios y los tiburones "modernos", que al parecer compitieron y ocuparon el nicho ecológico de los ictiosaurios, de lo cual derivó la temprana extinción de los

mismos. Las aves primitivas reemplazaron gradualmente a los pterosaurios. Aparecieron los mamíferos marsupiales y placentarios. A finales del cretácico un impacto meteorítico y procesos geológicos globales desencadenaron la cuarta extinción en masa más importante del planeta. Por último las masas terrestres continuaron su separación dando origen, entre otros, al mar Atlántico, manteniéndose conectadas a finales del cretácico algunas masas continentales de Gondwana.



155 Pliosaurio, plesiosaurios, ictiosaurios, tortuga marina y amonitas.
Ilustración del mar del cretácico inferior en el área de Villa de Leiva, Boyacá
Fuente: Ilustración de Jorge Moreno Bernal para el Museo Geológico SGC. 2007

9.5

Era Cenozoica

La era Cenozoica se inició hace 66 millones de años y se extiende hasta la actualidad.

Al Cenozoico también se le llama la era de los mamíferos, fauna que, al extinguirse los dinosaurios en el límite del Mesozoico con el Cenozoico, conocido como límite K/T, experimentaron una extraordinaria diversificación, gracias a lo cual pasaron a ocupar los nichos ecológicos de los extintos dinosaurios y se convirtieron en la fauna dominante de esta era.

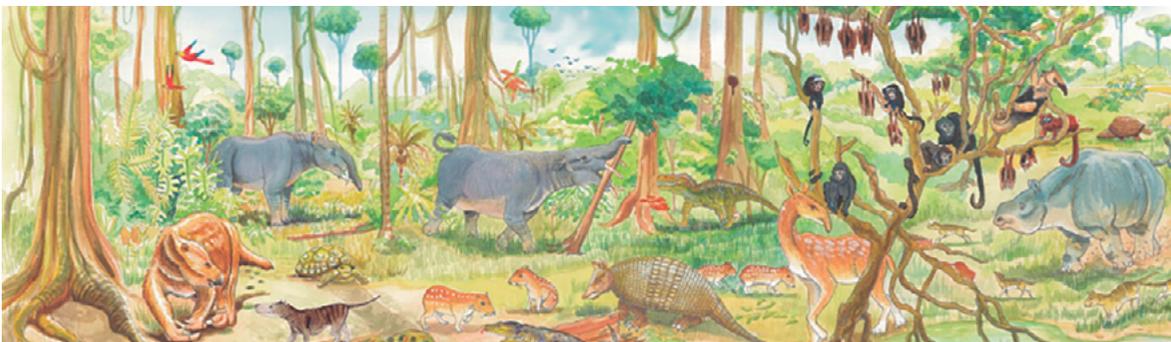
El Cenozoico se divide en dos periodos, el Paleógeno y el Neógeno, que a su vez se dividen en diferentes series o épocas, que son, en el caso del Paleógeno, el Paleoceno, el Eoceno y el Oligoceno, y en el caso del Neógeno, el Mioceno, el Plioceno, el Pleistoceno y el Holoceno.

En el Paleógeno aparecieron las plantas modernas; los mamíferos, por su parte, se diversifican en varios linajes primitivos y continuaron su desarrollo durante esa época. En la época del Eoceno aparecieron varias familias “modernas” de mamíferos; entre ellas las ballenas primitivas.



156 Paisaje del Paleoceno de El Cerrejón (La Guajira). En primer plano la *Titanoboa cerrejonensis*, la serpiente más grande de la que se tiene registro hasta ahora
Fuente: ilustración de Jason Bourque para el Museo de Historia Natural de La Florida

En el Neógeno se establecieron las familias de los mamíferos y aves modernas. Los caballos y los mastodontes se diversificaron. De esa época datan los primeros bosques de laminariales, que son un orden de grandes algas pardas, también denominadas *kelp*. Estos organismos, a pesar de su apariencia de grandes plantas marinas, no pertenecen al reino de las plantas y algas verdes (reino Plantae), sino que se clasifican en el reino protista. Las laminariales crecen en bosques submarinos (bosques de algas) de aguas someras y claras, ricas en nutrientes y ofrecen protección y alimento a diversas criaturas marinas; además, se destacan por su alta tasa de crecimiento: algunos géneros logran crecer hasta medio metro al día, y alcanzan alturas de 30 a 80 m (Guiry y Guiry, 2006).



157 Paisaje que ilustra la fauna del Mioceno en el desierto de la Tatacoa (Huila)
Fuente: ilustración de Jorge Moreno Bernal para el Museo Geológico SGC. 2008

En el Neógeno, la hierba, que está presente en casi todo el dominio terrestre, favorece la diversificación de los mamíferos herbívoros. En el Plioceno el clima se torna frío y seco, y aparecen los *Australopithecus*, ancestros de los humanos. También en el Plioceno se forma el istmo de Panamá, que causa el *gran intercambio biótico americano*, pues las especies de Norteamérica pasan a Suramérica y viceversa.

En la época del Pleistoceno ocurrió el florecimiento y posterior extinción de muchos grandes mamíferos (la megafauna del Pleistoceno), apareció el *Homo habilis* y se desarrollaron los humanos anatómicamente modernos. En el Pleistoceno comenzó a la reciente Edad del Hielo.

Finalmente, en el Holoceno ocurrió el fin de la glaciación reciente y el surgimiento de la civilización humana.



158

Paisaje del Pleistoceno de la zona de Tocaima y Girardot

Fuente: ilustración de Marie Joelle Giraud para el Museo Geológico SGC

10. PATRIMONIO GEOLÓGICO

Según la Ley 42 de 2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, el patrimonio geológico es el "conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar:

- a) el origen y evolución de la Tierra
- b) los procesos que la han modelado
- c) los climas y paisajes del pasado y presente
- d) el origen y evolución de la vida"

Por medio del estudio de:

- » Estratigrafía
- » Tectónica (estructuras geológicas)
- » Geomorfología
- » Fósiles y yacimientos paleontológicos
- » Minerales y rocas
- » Suelos
- » Recursos hídricos
- » Otras manifestaciones geológicas de significativo valor científico, cultural y educativo

10.1

Tipos de patrimonio geológico

El patrimonio geológico se divide en patrimonio inmueble y patrimonio mueble.

- » **Patrimonio inmueble.** Está constituido por afloramientos o yacimientos fosilíferos que tienen un interés especial desde el punto de vista de su registro fósil: conservación, singularidad, abundancia, diversidad o importancia científica (edad del yacimiento, origen histórico, material o localidad tipo, etc.) (Carcavilla, L., García Cortés, Á. y Díaz, E. 2015).

Un ejemplo de patrimonio inmueble es la laguna de La Llorona. Esta laguna glaciar, catalogada como geotopo por su valor geomorfológico, es de gran belleza, no solo por su valor geológico, sino paisajístico, y por la presencia de flora típica del ecosistema de páramo, principalmente frailejones.



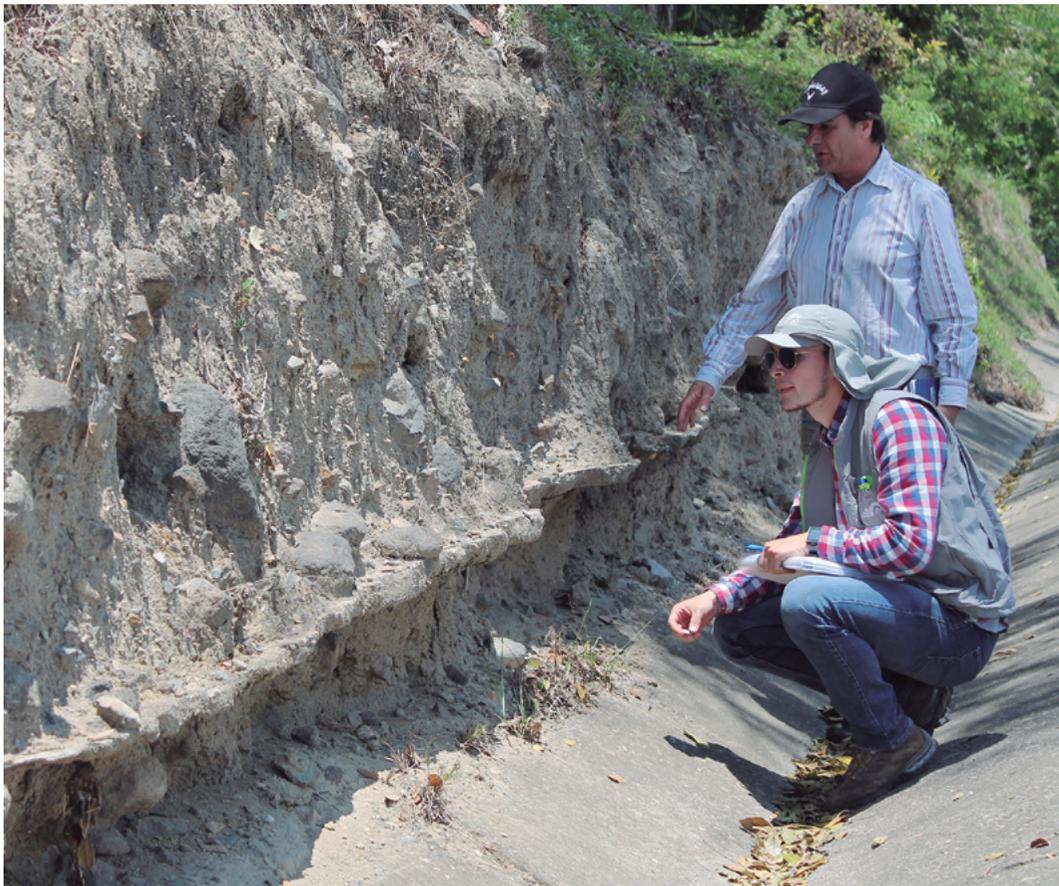
159 Laguna La Llorona, en inmediaciones del volcán Nevado del Ruiz
Fuente: Archivo SGC

En patrimonio geológico se denomina *geotopo* a un segmento o una porción espacial claramente delimitada de la geósfera, definida en virtud de los valores patrimoniales geológicos o paleontológicos existentes en sus elementos integrantes o en el conjunto de los mismos (Carcavilla, L., García Cortés, Á. y Díaz, E. 2015).

- » **Geositio.** Tipo especial de geotopo de interés global (mundial), donde los bienes de interés geológico y paleontológico, individualmente o en conjunto, no solo son relevantes desde el punto de vista patrimonial geológico y paleontológico de la nación, sino como parte del patrimonio natural y el patrimonio de la humanidad. Los geositios son los geotopos de interés científico mundial por excelencia, pues permiten el estudio multidisciplinario de eventos y procesos geológicos propios de la historia del planeta o de la vida, o contienen los registros que permiten la correlación mundial de dichos procesos o eventos (Decreto 1353 de 2018).

Otro ejemplo de patrimonio inmueble es el afloramiento del lahar de 1985, con registro de elementos del Holoceno, en la intersección de la carretera Ibagué-Mariquita, Cambao-Bogotá.

- » **Holoceno.** Es la Época más reciente del Neógeno y se extiende desde hace unos 10.000 años.
- » **Lahar.** Depósito de sedimentos y agua provenientes de los volcanes y de materiales que son arrancados e incorporados al flujo por su paso (pendiente abajo) hasta alcanzar su ángulo de estabilidad.



160 Afloramiento del lahar de 1985, con registro de elementos del Holoceno (vestigios de la antigua carretera) en la intersección de la carretera Ibagué-Mariquita, Cambao-Bogotá
Fuente: Estefanía Salgado

- » **Patrimonio mueble.** Se denomina *patrimonio mueble* a los fósiles, rocas y minerales que tienen un interés especial y que se encuentran fuera del yacimiento o emplazamiento original. Incluye colecciones de fósiles museísticas o científicas, colecciones ubicadas en museos, centros de investigación, exposiciones locales o centros de interpretación.



161 Ejemplo de patrimonio mueble (mastodonte)
Fuente: Archivo SGC



162 Ejemplo de patrimonio mueble, Museo Geológico SGC
Fuente: Archivo SGC

10.2

Geotopo

Es el área que ocupa un elemento o conjunto de elementos geológicos que tienen valor patrimonial, o sea, el área ocupada por el patrimonio geológico.

SELECCIÓN DE GEOTOPOS

Existen varios parámetros de valoración para seleccionar un geotopo, entre ellos se tienen:

- » Representatividad
- » Carácter de localidad de referencia
- » Grado de conocimiento científico del lugar
- » Potencial de investigación relevante para las geociencias
- » Estado de conservación
- » Condiciones de observación
- » Rareza
- » Diversidad geológica

El Servicio Geológico Colombiano, ha optado por los anteriores que determinan el valor científico, sin embargo cada país podrá dejar esta lista que es la más universal o acogerse a algunos e incluir otros; lo importante de mencionarlos es el de dar al usuario, elementos a tener en cuenta en el momento de seleccionar si un afloramiento aplica como geotopo o no.



163 Cascada la Periquera, Santa Sofía, Boyacá.
Ejemplo de geotopo
Fuente: Ángela Henao

Siguiendo las directrices del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Servicio Geológico Colombiano está implementando una metodología de valoración patrimonial adaptada a nuestro medio.

10.3

Geositio

Territorio de excepcional importancia científica y pedagógica desde el punto de vista de alguna de las disciplinas de la geología. Los geositios son los lugares donde mejor se pueden observar y estudiar registros o procesos geológicos que contribuyen al conocimiento de la geología a nivel global. Son parte del patrimonio natural y patrimonio de la humanidad.

El proyecto “Global Geosites”, liderado por la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS, Heritage Sites and Collections Subcommittee) tiene como objetivo promover la identificación, la protección y la preservación del patrimonio cultural y natural mundial.



164

Volcán Nevado del Ruiz (propuesto como geositio por el Observatorio Vulcanológico de Manizales y el Grupo Museo Geológico e Investigaciones Asociadas del SGC)

Fuente: Archivo SGC

10.4

Zona de protección patrimonial geológica y paleontológica

Es una zona donde existen bienes inmuebles de interés geológico y paleontológico. Suele tratarse de un geotopo o conjunto de geotopos determinados y declarados como *zona de protección patrimonial geológica y paleontológica* por el SGC, como áreas de protección y aplicación de consideraciones especiales en virtud de la presencia de patrimonio geológico o paleontológico.

El SGC tiene entre sus funciones relacionadas con el campo del patrimonio geológico, las de identificar, evaluar y establecer zonas de protección geológica y paleontológica (ZPGYP) en Colombia.

10.5

Inventario nacional geológico y paleontológico (INGEP)

Es el registro de todos los bienes geológicos y paleontológicos de interés científico y patrimonial que se identifiquen, en el cual se anotará su descripción, naturaleza, tenedor, quién lo declaró y la condición en que se encuentra, entre otros. Dicho inventario será llevado por el Servicio Geológico Colombiano en una plataforma electrónica que integrará las diferentes colecciones y piezas geológicas y paleontológicas del país. Una vez realizada la valoración por el Servicio Geológico Colombiano se determinará qué elementos son bienes de interés, así como los geotopos y geositios que harán parte del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación (Decreto 1353 de 2018).

10.6

Tipos de inventarios

En el ámbito internacional se utilizan tres tipos de inventario: uno de reconocimiento, uno sistemático y uno detallado. En la tabla 3 se muestran estos tipos de inventario y su alcance.

Tabla 3. Tipos de inventario del patrimonio geológico y paleontológico de la nación

Tipos de inventario			
	Reconocimiento	Sistemático	Detallado
Sistema de selección de lugares de interés geológico (LIG)	Bibliografía, consulta, Visitas ligeras a campo	Bibliografía, consulta, clasificación y campo	Conocimiento especializado y mucho trabajo de campo
Delimitación de LIG	No (sí)	Sí	Sí
Cartografía geológica detallada	No	No	Sí
Ventajas	Rápido, requiere pocos recursos	Representativo	Exhaustividad y gran precisión
Inconvenientes	Heterogéneo y poco representativo	Requiere bastantes recursos y tiempo	Inasumible en territorios extensos
Indicado para la geoconservación	No, solo para los LIG más singulares	Sí. Contempla singularidad, representatividad y diversidad	Sí. Contempla singularidad, representatividad y diversidad
Herramienta de gestión	No	Sistema de aproximación avanzada	Sistema ideal

Fuente: Archivo SGC

El Servicio Geológico Colombiano, con asesoría del Instituto Geológico y Minero de España, ha optado por el tipo sistemático, y en el momento de realizar esta publicación se estaba inventariando la cordillera Oriental.

10.7

Dominios geológicos

Cuando hablamos de yacimientos minerales, de tipos de roca, de acuíferos, entre otros, nos referimos a "dominios" para dar un alcance al tema tratado. De igual manera, para facilitar la identificación y valoración del patrimonio geológico, es de gran importancia definir las reglas de juego bajo las cuales se levantará el inventario, para su identificación, valoración y definir medidas de protección cuando haya lugar.

Para empezar a identificar los posibles geotopos e iniciar el Inventario nacional geológico y paleontológico de bienes inmuebles, el SGC se encuentra en proceso de delimitación de los dominios geológicos del territorio nacional. Esto con el objetivo de definir áreas con ciertas características geológicas, dadas por su génesis, que permitan enfocar el trabajo de identificación y valoración de los geotopos bajo ciertas premisas.

10.8

Criterios de valoración de patrimonio inmueble (geotopos y geositios)

Como guía se dan algunos lineamientos a tener en cuenta en temas de valoración patrimonial inmueble

- » Establecimiento de las áreas de estudio
- » Recopilación bibliográfica y documental
- » Selección preliminar de geotopos

Una vez cumplidas estas actividades, se da inicio al diligenciamiento de los formularios o guías, que contienen entre otros los siguientes criterios:

- » Identificación
- » Localización
- » Fisiografía
- » Situación geológica
- » Interés (geológico y no geológico) Parámetros de valoración
- » Susceptibilidad de degradación natural y antrópica
- » Uso y recomendaciones del seguimiento y datos adicionales para la organización de visitas

Realizada la valoración y, de ser necesario, se deben realizar planes de gestión y plantear medidas de protección para los geotopos que lo requieran.



165 Taller de patrimonio inmueble, loma La Yesera, en Villa de Leyva (Boyacá)
Fuente: Archivo SGC

10.9

Geoconservación

Es el conjunto de técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación) del patrimonio geológico y de la geodiversidad, a partir del análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y el riesgo de degradación (Carcavilla, L., García Cortés, Á. y Díaz, E. 2015). Entre ellas se encuentran las siguientes:

- » Estrategias, programas y acciones dirigidas a la conservación de la geodiversidad y el patrimonio geológico (equivalente abiótico de la conservación de especies, hábitats y ecosistemas)
- » Preparar una guía de buenas prácticas para la gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad en áreas protegidas
- » Calcular el valor y la vulnerabilidad de los elementos que conforman el patrimonio geológico
- » Prevenir, corregir y minimizar impactos
- » Mantener el ritmo de evolución natural

En el ejemplo de geoconservación observable en la figura 166 se modificó el ancho de la berma del separador de la vía, con el objeto de no destruir la estructura sedimentaria.



166 Ejemplo de geoconservación de estructuras sedimentarias en España
Fuente: (Carcavilla, L., García Cortés, Á. y Díaz, E. 2015)

10.10

Divulgación

Su principal objetivo es aprovechar los recursos y las oportunidades para divulgar el valor e interés del patrimonio geológico. El SGC realiza diferentes estrategias de divulgación entre las cuales se encuentran charlas dirigidas a estudiantes, público general y especializado, y la generación de material divulgativo impreso.

Una de las primeras publicaciones realizadas por el SGC en el tema de patrimonio geológico, fue la correspondiente a la Mesa de Barichara (Santander), donde se resalta su geología, paleontología y riqueza histórica, entre otros aspectos.



167 Ejemplo de divulgación. Patrimonio geológico de Barichara
Fuente: Archivo SGC

Entre las actividades educativas y comunicativas del Museo está la de realizar exposiciones temporales con el objeto de divulgar la geología a estudiantes, principalmente de colegios, de una manera sencilla y amena.

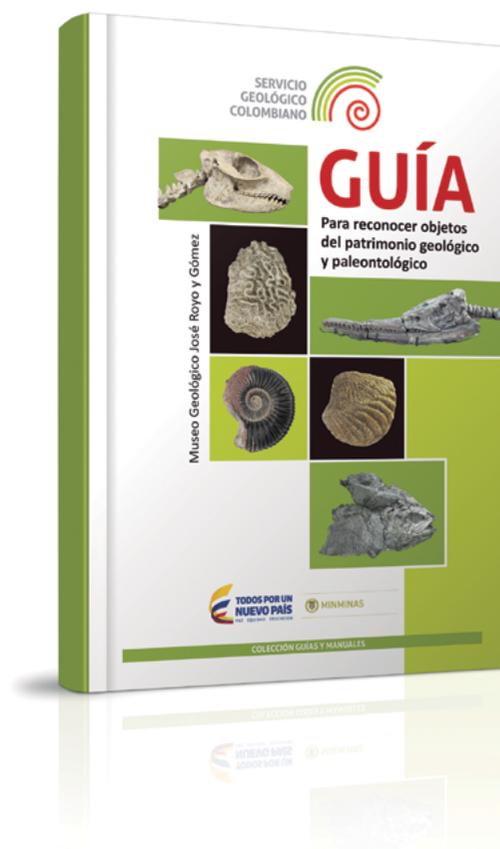


168 Charlas a estudiantes en el Museo Geológico del SGC
Fuente: Museo SGC

El Servicio Geológico Colombiano, por intermedio del Grupo del Museo Geológico e Investigaciones Especiales, ha preparado material de divulgación, en el que se destaca la *Guía para reconocer objetos del patrimonio geológico y paleontológico*, cartilla que se ha repartido principalmente entre personal de la Policía de Turismo, la Aeronáutica y la DIAN, y cuyo objeto es enseñar a identificar piezas que tienen valor patrimonial y colaborar en la prevención del tráfico ilícito de bienes patrimoniales muebles.



169 Afiche promocional "Nuestro perezoso gigante, un viajero americano"
Fuente: Museo SGC



170 Guía para reconocer objetos del patrimonio geológico y paleontológico
Fuente: Archivo SGC

10.11

Legislación

Es el conjunto de normas legales que responden a tres preguntas: qué proteger, cómo protegerlo y cómo gestionarlo. A continuación se mencionan las principales normas que tienen como propósito la geoconservación, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, todas ellas vigentes a 2018.

- » Convención de París de 1972 (patrimonio mundial)
- » Resoluciones de la Unión Internacional de Ciencias de la naturaleza (UICN) de 2008 y 2012
- » Normativa internacional de la UICN
- » Resolución 4040 de la UICN (Barcelona, 2008)
- » Resolución 5048 de la UICN (Jeju, 2012)

El SGC, como entidad estatal encargada de la protección del patrimonio geológico del país, impulsó el Decreto 1353 de 2018 cuyo propósito es garantizar la protección del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación.

En el ámbito nacional se destacan las siguientes normas:

COMISIÓN INTERSECTORIAL NACIONAL DEL PATRIMONIO MUNDIAL

Mediante el Decreto 1464 del 15 de septiembre de 2016 se incorporó al Servicio Geológico Colombiano como parte de la Comisión Intersectorial Nacional del Patrimonio Mundial, cuyo objeto es salvaguardar, proteger, recuperar, conservar, sostener y divulgar los bienes y las manifestaciones incluidas en la *Lista de patrimonio mundial* y en la *Lista representativa del patrimonio cultural inmaterial de la humanidad*.

CONVENIO PARA LA PREVENCIÓN DEL TRÁFICO ILÍCITO DE BIENES CULTURALES MUEBLES

Este convenio fue suscrito por las siguientes instituciones:

- » Ministerio de Cultura
- » Ministerio de Relaciones Exteriores
- » Procuraduría General de la Nación
- » Fiscalía General de la Nación
- » Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH)
- » Archivo General de la Nación
- » Dirección de Impuestos y de Aduanas Nacionales
- » Policía Nacional de Colombia
- » Universidad Externado de Colombia
- » Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
- » Consejo Internacional de Museos (ICOM) de Colombia

- » Servicio Geológico Colombiano
- » Unidad administrativa especial de aeronáutica civil



171 Firma del Convenio para la Prevención del Tráfico Ilícito de Bienes Patrimoniales Muebles, 16 de noviembre de 2017
Fuente: Archivo SGC

DECRETO 1353 DE 2018 POR EL CUAL SE REGULA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y PALEONTOLÓGICO DE LA NACIÓN Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES

Su objeto es establecer el sistema de gestión integral que permita la identificación, la protección, la conservación, la rehabilitación y la transmisión a las futuras generaciones del patrimonio geológico y paleontológico de la nación.

En el marco de la gestión integral de patrimonio geológico y paleontológico de la nación, el Servicio Geológico Colombiano lideró la promulgación de este decreto para regular la gestión en este campo, entre otros ítems inherentes a la misión del SGC.

RESOLUCIÓN 732 DE 2018

Mediante esta resolución se establecieron los requisitos y procedimientos para la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación la cual contempla seis trámites:

- a) Registro en el Inventario Nacional Geológico y Paleontológico.
- b) Autorización para la tenencia temporal de bienes de interés geológico y paleontológico.
- c) Autorización para la exportación temporal de bienes de interés geológico y paleontológico para su estudio y/o exhibición fuera del país.
- d) Autorización para la movilización y/o la exhibición de bienes de interés geológico y paleontológico dentro del territorio nacional.
- e) e) Autorización para el desarrollo de actividades de excavación e intervención de carácter paleontológico.

10.12

Geoturismo

Abarca todas las estrategias divulgativas encaminadas a promocionar de forma turística el patrimonio geológico de un lugar. El geoturismo es una actividad recreativa con fines principalmente educativos en la cual se interpretan elementos geocientíficos.

A través del geoturismo las comunidades se pueden beneficiar económicamente del territorio donde se encuentra el patrimonio geológico. El geoturismo se puede vincular con otros elementos naturales y culturales que se encuentren en el área para su mayor aprovechamiento.

Un escenario de aplicación del geoturismo son los geoparques.

Para ello se diseñan diferentes georutas, en algunas de las cuales prevalece el carácter científico, mientras en otras se hace hincapié en el carácter paisajístico; lo importante es que dichas rutas estén bien señalizadas con paneles acordes con cada objetivo.



172 Cascada Santa Elena Paramillo, Santa Rosa, Risaralda
Fuente: Zoraida Chacon Ortíz

10.13

Geoparques

En el año 2004 la Unesco auspició el programa Geoparks en la División de Ciencias Ecológicas y de la Tierra. Existen directrices para desarrollar geoparques con la asistencia de la Unesco, con miras a incluirlos en la Red Mundial de Geoparques Nacionales (Global Geoparks Network [GGN]). Las directrices incluyen los criterios a los cuales los geoparques aspirantes adhieren durante su participación voluntaria en la GGN.

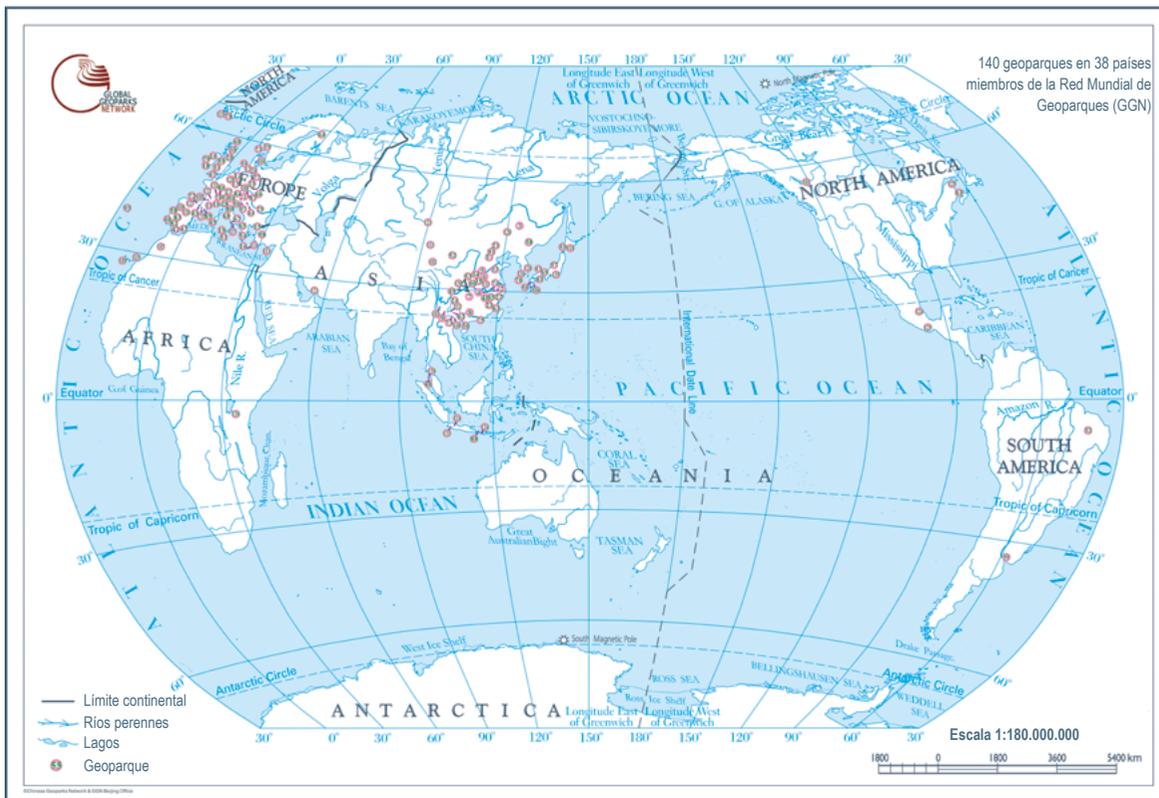


173 Presentación de la Unesco sobre la Red Mundial de Geoparques
Fuente: Unesco (2018)

- » **Geoparque.** Es un área geográfica única en la que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional con un concepto holístico (Unesco, 2017). Son espacios declarados por la Red Mundial de Geoparques por contener un importante patrimonio geológico, que es el eje fundamental de una estrategia de desarrollo socioeconómico propia. En abril del 2018, estaban avalados por Unesco 140 geoparques (Unesco 2018).
- » **Parque geológico.** Es un territorio poseedor de patrimonio geológico que es gestionado para asegurar su conservación mediante proyectos nacionales, territoriales o locales de desarrollo socioeconómico y cultural basados en la divulgación científica y la promoción turística, con objetivos económicos definidos y criterios específicos de desarrollo ambiental sostenible. Cuando cuentan con el reconocimiento de la Red Global de Geoparques se denominan *geoparques*.

Un geoparque que busque convertirse en miembro de la Global Geoparks Network debe cumplir con los siguientes requisitos:

- » Tener un área con límites claramente definidos y ser lo suficientemente grande como para impulsar el desarrollo económico y cultural local (especialmente por medio del turismo).
- » Presentar lugares de interés geológico (LIG) de importancia internacional, regional o nacional.
- » Representar la historia geológica de la región y los acontecimientos y procesos que la formaron.
- » Tener importancia desde el punto de vista científico, educativo, rareza o estética, educación y desarrollo sostenible y tener en cuenta el entorno geográfico de la región.
- » Incluir la sinergia entre la geodiversidad, la biodiversidad y la cultura, sin dejar de lado el patrimonio tangible e intangible.
- » Incluir y resaltar sitios de importancia ecológica, arqueológica, histórica y cultural en cada geoparque.
- » Tener establecido un sistema de gestión y manejo eficaz del área y un programa de implementación.
- » Contar con un fuerte apoyo de la comunidad y posibilitar la participación local.



174 Distribución de geoparques en el ámbito mundial (abril 2018)
 Fuente: <http://www.globalgeopark.org>

La iniciativa de crear un geoparque debe provenir de las comunidades locales o autoridades que tengan un fuerte compromiso para desarrollar e implementar un plan de gestión que cumpla con las necesidades de las comunidades, así como con las necesidades económicas de la población local; además, las comunidades y autoridades deben estar comprometidas con la protección del paisaje en el cual viven.

El solicitante debe buscar la cooperación de los respectivos servicios geológicos nacionales, organismos de turismo local, comunidades locales, universidades y organismos de investigación y grupos de interés privados, y ampliar la composición del equipo encargado de poner en marcha el proyecto de geoparque. Estos grupos deben ser representativos de las comunidades científicas, de conservación, culturales y de desarrollo socioeconómico del área.

CONSERVACIÓN

El objetivo de un geoparque es conservar su patrimonio geológico, para lo cual se explorará y se aplicarán métodos de geoconservación. Los gestores de un geoparque deben adoptar medidas de conservación en colaboración con centros de investigación, universidades y autoridades locales.

DIVULGACIÓN

Los geoparques sirven de enlace entre los centros de investigación científica y la población local. Para lograrlo se organizan actividades divulgativas y se proporciona infraestructura para la promoción del conocimiento científico y la divulgación geológica. Estos objetivos se alcanzan mediante actividades de interpretación del patrimonio geológico, museos, centros de visitantes, rutas, visitas guiadas, excursiones de colegiales, seminarios, etc.

En Colombia, en el 2018 se tenían identificadas algunas áreas geográficas con potencial para ser presentados ante Unesco como geoparques, como el Cañón del Chicamocha (Santander), el Alto Ricaurte (Boyacá), Floresta (Boyacá) y la iniciativa denominada Geoparque Volcánico del Ruiz (Caldas, Tolima, Risaralda y Quindío).

CAÑÓN DEL CHICAMOCHA



175 Cañón del Chicamocha, en el departamento de Santander. Al fondo, el río Chicamocha con potencial de convertirse en geoparque
Fuente: Archivo SGC

Un sitio de notable importancia geológica, paisajística y turística es el cañón del Chicamocha, que tiene grandes posibilidades de convertirse en geoparque. Aparte de sus valores geológicos y geomorfológicos, contiene yacimientos paleontológicos de valor científico, estructuras kársticas e infraestructura para desarrollar actividades de geoturismo.



176

Cañón del río Sogamoso, en el departamento de Santander, con potencial de ser geoparque. La fotografía muestra algunas de las formaciones geológicas aflorantes en el sector

Fuente: archivo SGC

ALTO RICAURTE

Colombia posee sitios que por su importancia geológica, paisajística y turística, como es la región del Alto Ricaurte (Villa de Leyva, Sutamarchán, Sáchica, Santa Sofía, etc.), son candidatos a convertirse en geoparques.

El Alto Ricaurte es especialmente rico en fósiles de fauna del cretácico (principalmente reptiles), de gran interés científico, y por ello es un territorio que debe gestionarse y preservarse como geoparque.



177 Gestión de patrimonio geológico en la provincia del Alto Ricaurte, en el departamento de Boyacá. Plaza central de Villa de Leyva
Fuente: archivo SGC



178 Posible geoparque, provincia del Alto Ricaurte, departamento de Boyacá. Parque principal de Villa de Leyva
Fuente: Archivo SGC

FLORESTA

Floresta contiene fósiles de fauna del Paleozoico (Devónico) de gran valor científico, así como geofomas y otros elementos que la convierten en candidata a ser declarada geoparque.



179 Posible geoparque en Floresta, Boyacá. Afloramientos de estoraques
Fuente: Jaime Reyes



180 Desierto de la Tatacoa, rico en fósiles mamíferos del Cenozoico, con potencial para ser declarado geoparque
Fuente: Archivo SGC

El desierto de la Tatacoa (Huila) contiene una gran cantidad de fósiles del Cenozoico, geoformas, población y otros elementos que lo convierten en candidato a ser declarado geoparque.

GEOPARQUE VOLCÁNICO DEL RUIZ

Esta iniciativa de geoparque cubija los departamentos de Caldas, Tolima, Risaralda y Quindío. En el momento de la impresión de esta publicación se estaban adelantando actividades en el polígono de la propuesta de geoparque para presentarlo ante la Unesco.

El volcán Nevado de Santa Isabel es otro de los lugares de interés geológico integrados en la iniciativa del geoparque Volcánico del Ruiz.



181 Volcán Nevado de Santa Isabel visto desde el occidente
Fuente: archivo SGC



182 Volcán Cerro Bravo, ubicado en el límite norte del polígono de la iniciativa de geoparque Volcánico del Ruiz
Fuente: archivo SGC



183 Identificación de lugares de Interés geológico en la iniciativa de geoparque Volcánico del Ruiz. Fotografía tomada en la cima del Nevado del Ruiz, 2017
Fuente: archivo SGC



184 Identificación de lugares de interés geológico, en el proyecto geoparque Volcánico del Ruiz. Andesitas columnares en Casabianca, Tolima
Fuente: Manuel Eduardo Gómez

En el mundo hay pocos ejemplos en que las andesitas y los basaltos columnares se encuentren bien expuestos. En el municipio de Casabianca (Tolima), estas rocas volcánicas exponen con claridad su valor científico mezclado con su belleza.

En el año 2017, el SGC participó en la primera iniciativa de geoparque colombiano, el geoparque Volcánico del Ruiz, liderada por Inficaldas ese mismo año y por la Gobernación de Caldas en el 2018. En el momento de impresión de esta publicación se estaba realizando el expediente que se presentaría ante la Unesco.

10.14

Ejemplos de patrimonio mueble en el país

A continuación se muestran algunos ejemplos de patrimonio mueble identificados (todas las fotografías relacionadas con este tema corresponden a material exhibido en el Museo Geológico José Royo y Gómez del Servicio Geológico Colombiano, con sede en Bogotá).

Es importante mencionar que el SGC, posee aparte del de Bogotá (llamado José Royo y Gómez); otro museo geológico en la ciudad de Cali y exhibiciones permanentes en temas inherentes a la geología, vulcanología y sismología en Medellín, Pasto, Popayán y Manizales.



185 Mastodonte (Pubenza, Cundinamarca)
Fuente: Museo SGC

En la región de Pubenza - Tocaima se han encontrado restos de mamíferos que habitaron la región hace aproximadamente 15000 años. El mastodonte de la fotografía es uno de los símbolos del Museo Geológico del SGC.

La región de Vélez, como todo el corredor hasta la Mesa de los Santos, es muy rica en amonitas (moluscos) que habitaron este territorio hace aproximadamente 110 millones de años. El Museo Geológico del SGC contiene una gran cantidad de amonitas de gran valor científico, tales como algunos holotipos.



186 Amonita del Cretácico (Vélez, Santander)
Fuente: Museo SGC



Aunque en el mundo existen varios afloramientos de braquiópodos del Devónico, solo en algunos sitios, como Floresta, se encuentran completos y bien preservados, y además de tamaño gigante, lo cual hace que tengan mayor valor patrimonial.



187 Braquiópodo del Devónico (Floresta, Boyacá)
Fuente: Museo SGC

Los plesiosauros fueron reptiles marinos que habitaron los mares en el Jurásico y el Cretácico. En la región del Alto Ricaurte, principalmente en Villa Leyva y Sáchica, se han encontrado varios especímenes bien conservados. Como en el mundo son muy escasos, los fósiles encontrados han convertido esta región en muy apreciada por los paleontólogos que estudian el tema.



188 Plesiosauro del Cretácico (Villa de Leyva)
Fuente: Museo SGC



189 Ictiosaurio del Cretácico (Villa de Leyva)
Fuente: Museo SGC

Estos reptiles marinos habitaron la región de Villa de Leyva durante el Cretácico. Algunos de ellos han sido extraídos, como el que se muestra en la fotografía 189, que se exhibe en el Museo del SGC.

Desde el punto de vista patrimonial, los holotipos (ejemplares tomados por un autor para describir o presentar una nueva especie) son especialmente importantes por su valor científico, y como tales deben ser resguardados y protegidos.



190 Pez *Pachyrhizodus*. Holotipo del Cretácico
Fuente: Museo SGC



191 Vértebra de titanoboa del Paleoceno (Cerrejón)
Fuente: Museo SGC

Este fósil (fotografía 191) fue descubierto en la mina del Cerrejón, en La Guajira. Se le reconoce gran valor científico y patrimonial a nivel mundial.



192 Megaterio del Pleistoceno (Villa Vieja, Huila)
Fuente: Museo SGC

El perezoso gigante que aparece en la figura 192 es una de las piezas más emblemáticas del Museo del SGC. Estos mamíferos alcanzaron los tres metros de altura y llegaron a pesar más de una tonelada.

La foto de la amonita (molusco) (fotografía 193) corresponde a un holotipo (ejemplar utilizado para describir una nueva especie).

Las tectitas (fotografía 194) son vidrios naturales formados por el impacto de meteoritos. Por su rareza tienen gran valor patrimonial.



193 Amonita (holotipo)
Fuente: Museo SGC



194 Tectita
Fuente: Museo SGC

Los meteoritos, como su nombre lo indica, son fragmentos de rocas que provienen del exterior de la Tierra. Dependiendo de su tamaño, pueden dejar grandes huellas cuando impactan contra el planeta. Por su rareza son considerados bienes patrimoniales. La mayoría de ellos están compuestos por silicatos, hierro y níquel. También se les denomina *cuerpos sólidos extraterrestres que alcanzan la superficie de la Tierra* (Lexis 22, 1980).

Los cuarzos (óxido de silicio) son minerales muy comunes, pero el hecho de contener un cuarzo con un mineral inmerso, como en este caso, en el que el cuarzo contiene un cloritoide (silicato de hierro y aluminio), los hace especiales y los dotan de un valor patrimonial.



195 Meteorito
Fuente: Museo SGC



196 Cuarzo con cloritoide
Fuente: Museo SGC

Las estalagmitas son depósitos de minerales que se forman por precipitación química, principalmente de carbonatos y sílice, en cuevas. Cuando crecen a partir del techo de la cueva se denominan *estalactitas*, y cuando crecen a partir del piso se denominan *estalagmitas*; cuando se unen las dos se les denomina *columnas*, y a todo el conjunto, que puede incluir otras formas, se le llama *espeleotema*.



197 Estalagmita
Fuente: Museo SGC



11. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (2009). Conceptos básicos de geología y geofísica. Disponible en <http://www.anh.gov.co/Informacion - Geologica y Geofisica>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (2017). <http://www.anh.gov.co>
- American Geological Institute (1962). *Dictionary of geological terms*. New York: Dolphin Brooks.
- Belard Rodríguez, C. (2001). *Biología y geología*. Madrid: Editex.
- Bennett, J., Donahue, M., Schneider, N. y Voit, M. (2009). *The essential cosmic perspective*. San Francisco: Pearson.
- Carcavilla, L. y García Cortés, Á. (2015). *Geoparques: significado y funcionamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Disponible en <http://www.igme.es/patrimonio/Geoparques-IGME2014-1.pdf>
- Carcavilla, L., García Cortés, Á. y Díaz, E. (2015). *Memorias del Taller Patrimonio Geológico*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Cohen, K., Finney, S. Gibbard, P. y Fan, J. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. Disponible en <http://www.stratigraphy.org/icschart/chronostratchart2017-02.pdf>
- Dana y Hurlburt. (1960). *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverte. Barcelona, Buenos Aires, México.
- Dana, E. (1966). *A textbook of mineralogy with an extended treatise on crystallography and physical mineralogy*. New York, London y Sydney: John Wiley & Sons.
- Díaz Nava, C., Olguín M., Solache Ríos, M., Alarcón Herrera, T. y Aguilar Elguezábal, A. (2002). *Caracterización de minerales arcillosos*. Memorias del XI Congreso Técnico Científico ININ-SUTIN, México.
- Erickson, J. (2003). *Asteroids, comets and meteorites*. New York: Facts. On File.
- Estrada, D. (1991). *Gemología: estudio de la esmeralda, el rubí y el zafiro natural y sintético y del diamante*. Bogotá: Centro de Estudios Interdisciplinarios.

- Folk, R. (1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Texas: Hemphill Publishing.
- Font-Altaba, M. y San Miguel, A. (1978). *Atlas de geología*. Barcelona: Jover.
- Gary, M., McAfee, R. y Wolf, C. L. (1973). *Glossary of geology*. Washington: American Geological Institute.
- González, L., Vásquez, L., Muñoz, R., Gómez, H., Parrado, G. y Vargas, S. (2008). *Exploración de recursos energéticos: exploración de uranio en Paipa, Iza, Pesca y Chivatá* (Boyacá). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Guiry, M. y Guiry, G. (2006). *Algaebase*, version 4.2. National University of Ireland. Disponible en <http://www.algaebase.org>
- Hurlbut, J. y Cornelius, S. (1978). *Manual de mineralogía de Dana*. Barcelona: Reverte.
- Ingeominas (1987). *Recursos minerales de Colombia*. Tomos I y II. Bogotá.
- Lexis 22 (1980). *Mineralogía y geología: Diccionario enciclopédico Vox*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Lutgens, F., Tarbuck, E. y Tasa, D. (2014). *Foundations of Earth science*. Upper Saddle River: Pearson.
- Molina Garza, R. (2018). Vida en el pasado. Disponible en <http://www.geociencias.unam.mx/~r-molina/fosiles/fosiles.htm>
- Mora, C., Tittensor, D., Adl, S., Simpson, A. y Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *Plos Biology*, 9(8), e1001127. Doi: 10.1371/journal.pbio.1001127.
- Museum of the Rockies. *The process of paleontology*. Disponible en https://museumoftherockies.org/uploads/Resources/Trunks__Kits/Background_Info-Process_of_Paleontology.pdf
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Panachi. <https://www.parquenacionaldelchicamocho.com>
- Pettijohn, F. (1957). *Sedimentary rocks*. New York: Harper and Brothers.
- Reynolds, S., Johnson, J., Morin, P. y Carter, C. (2016). *Exploring geology*. New York: McGraw-Hill.
- Rojas, D. y Paredes, J. (2008). *Compendio de geología general*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sparke, L. y Gallagher, J. (2007). *Galaxies in the universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stanley, S. (2009). *Earth system history*. New York: W. H. Freeman & Co. Ltd.
- Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Disponible en <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>.
- Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson.
- Tilley, R. (2006). *Crystals and crystal structures*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Tilling, R. (1998). *Volcanoes*: U. S. Geological Survey. Disponible en <https://pubs.usgs.gov/gip/7000038/report.pdf>
- Turek, V., Marek, J. y Benes, J. (1989). *La gran enciclopedia de los fósiles*. Madrid: Susaeta.
- Turner, F. y Verhoogen, J. (1960). *Igneous and metamorphic petrology*. New York: McGraw-Hill.
- Unesco. (2017). *Los geoparques mundiales de la Unesco*, París.
- Unesco. (2018) <http://www.globalgeopark.org>
- Winkler, H. (1978). *Petrogénesis de rocas metamórficas*. Madrid: H. Blume.



Geología, ciencia y cultura

se terminó de imprimir

en la Imprenta Nacional de Colombia,

en julio de 2019.

Para su composición se utilizaron

las tipografías Arial para el cuerpo de texto, y

Aller para la titulación.

Bogotá, Colombia

En conmemoración de los cien años de existencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC), se emite esta segunda edición de una publicación que nos narra, de una forma sencilla y amena, lo que es la geología, la paleontología, la mineralogía y la petrografía. Es una publicación didáctica dirigida a estudiantes y personas interesadas en tener un conocimiento general en estos campos, con ejemplos y fotografías tomadas en las diferentes campañas de campo, en su gran mayoría de Colombia.

La publicación contiene un capítulo de conceptos generales sobre lo que es la geología, de qué está compuesto nuestro planeta, cuáles sus componentes geológicos básicos, por qué debemos estudiar los minerales y las rocas, qué es un mineral y una roca, dónde se encuentran, qué es un yacimiento, qué es una mena, cómo es la estructura de los minerales y cuáles son los tipos de roca. De igual manera, se incluyen capítulos sobre gemas minerales, rocas de usos industriales y paleontología, y se responden preguntas esenciales, como qué son los fósiles y dónde se encuentran, qué son las eras geológicas o cómo hacer una colección de minerales, rocas y fósiles.

Esta nueva edición ha incorporado un capítulo sobre patrimonio geológico, en el que, aparte de definirlo, se expone cuáles son los tipos de patrimonio, los lugares de interés geológico, en qué consiste la geoconservación y cómo se divulga el conocimiento relativo a la geología, entre otros tópicos.

La primera edición de esta obra fue publicada en 1990 con el título *La geología: ciencia y cultura*, cuyo tiraje se agotó rápidamente. Por ello fue necesario hacer una reimpresión en el año 2001, que también se agotó. Desde entonces solo ha estado disponible en formato digital.

Esperamos de esta forma seguir aportando al estudiantado y al público en general un conocimiento global sobre la geología y los recursos minerales.

Oscar E. Paredes Zapata
Director General

