



Plaza de El Cocuy. Boyacá, Colombia. Angelfire.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 09

ROCAS SEDIMENTARIAS

GONZALO DUQUE
ESCOBAR

La meteorización y erosión producen partículas de diverso tamaño que son transportadas por el hielo, el agua o el aire hasta las zonas de mínima energía donde se acumulan. Una vez en reposo los sedimentos sufren procesos que los transforman en rocas sedimentarias.

Estas rocas se han formado por la consolidación o litificación de sedimentos. Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, y el medio de deposición y forma de litificación.

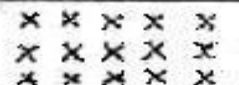

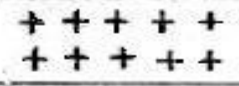

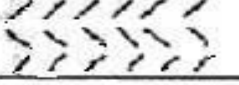


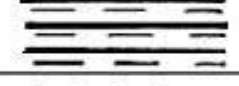
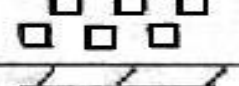

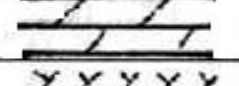
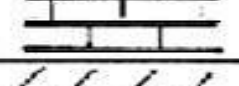
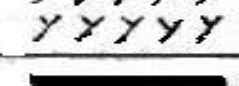
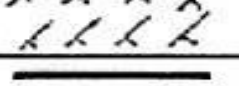
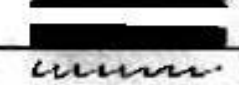

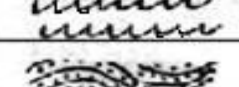

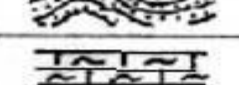

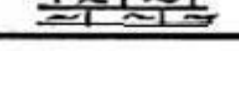

9.1 GENERALIDADES

9.1.1. Origen. Los productos de meteorización pueden ser transportados en el fondo de las corrientes (por arrastre, rodando o por saltación) o bien dentro del fluido (en suspensión, solución o flotando).

Aquellas rocas que se originan a partir de partículas que mantienen su integridad física durante el transporte, son las detríticas, por ejemplo conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, y las que se forman por la precipitación de sustancias que se encontraban en disolución, son las de origen físico-químico, por ejemplo carbonatos, evaporitas, ferruginosas y fosfatos. Existe un tercer grupo de rocas sedimentarias, las biogénicas, en cuya formación interviene directamente la actividad de organismos vivos, por ejemplo carbonatos, fosfatos y silíceas, este grupo abarca desde las que se originan por acumulación de organismos en posición de vida (calizas de arrecifes, etc.) o que han sufrido un transporte mínimo tras su muerte (diatomitas), hasta aquéllas en cuya formación interviene la precipitación de sustancias en disolución favorecida por la actividad orgánica (tobas

calcáreas formadas por la precipitación de CaCO_3 propiciada por la acción fotosintética de vegetales). Finalmente las rocas orgánicas que son las formadas por acumulaciones de materia orgánica (carbones y petróleo)

Cuadro 11. Símbolos para la representación litológica de las principales rocas.

	Granito		Riolita
	Diorita		Andesita
	Gabro		Basalto
	Limolita		Lutita
	Halita		Arenisca
	Dolomía		Caliza
	Yeso		Anhidrita
	Carbón		lodolita
	Filita		Esquistos
	Guarcita		Gneis
	Mármol		Serpentina

Las de origen mecánico o clástico son primordialmente detritos que, transportados y depositados, se litifican por consolidación o cementación. Su clasificación se basa en el tamaño de grano de sus componentes.

Los sedimentos de origen químico, son precipitados en los cuales los cristales individuales están unidos por enlaces químicos. Dentro de las rocas de origen biógeno las más representativas son los carbonatos que se clasifican a su vez según su composición química y el tipo y origen de las partículas que las constituyen.

Los sedimentos de origen orgánico se forman por la acumulación de partes duras de organismos que, al unirse por cementación, constituyen una roca. Las rocas orgánicas se clasifican según su grado de madurez, con base en el contenido de carbono y volátiles.

En la formación de una roca sedimentaria pueden actuar más de un proceso sedimentario por lo que se producen rocas mixtas de difícil asignación a un grupo concreto. Tal es el caso, por ejemplo, de una roca formada por la acumulación in situ de las partes duras de organismos y por partículas aportadas por algún mecanismo de transporte.

9.1.2 Abundancia. En los proyectos de ingeniería las rocas sedimentarias son frecuentes. En el volumen de los primeros 15 km. de la corteza las sedimentitas son el 5%; el 95% restante son rocas ígneas, pues las metamórficas dominan los ambientes profundos. Por el área de afloramiento las sedimentarias son el 75% de la superficie el resto son ígneas, sin quedar margen de significación para las metamórficas.

Son tres las rocas sedimentarias más abundantes clasificadas por su participación: lutitas 45%, areniscas 32% y calizas 22%; otras, 1%. La propiedad fundamental de las lutitas es la plasticidad o la impermeabilidad, la de las areniscas, su posibilidad y eventualmente la dureza (de ser cuarzosa), o de servir como acuífero, y la de las calizas, la de ser roca rígida y soluble. Es también la caliza la materia prima del cemento.

9.2 DIAGENESIS

La formación de las rocas sedimentarias a partir de los sedimentos, comporta la existencia de una serie de procesos que, en general, tienden a la reducción de la porosidad y al aumento de la compacidad de los materiales. Estos procesos se engloban bajo el nombre de diagénesis.

Los procesos diagenéticos se inician antes del reposo de los componentes del sedimento, razón por la cual los fragmentos que forman las rocas detríticas pueden quedar cubiertos por capas de óxidos metálicos y se pueden formar arcillas a partir de algunos minerales que se degradan. En los ambientes marinos, sobre pisos duros, los procesos de perforación e incrustación por diversos organismos resultan frecuentes.

Entre los componentes de un sedimento en reposo circulan fluidos con iones en disolución (Ca^{2+} y CO_3^{2-}) que pueden precipitarse para formar cementos y darle rigidez a los materiales. Sin embargo, la circulación de fluidos puede también producir disolución.

Los procesos de consolidación provocan a su vez una reducción de la porosidad; los efectos visibles son la interpenetración de componentes y las superficies de disolución que afectan porciones más extensas de la roca.

El conjunto de procesos diagenéticos se desarrolla a distintas profundidades sin que exista un límite neto para los procesos típicos que ocurren en profundidad y los del metamorfismo de bajo grado. Usualmente se conviene en aceptar que este límite corresponde a la zona en la que se forma el grafito, a partir de los carbones naturales, y se volatilizan los hidrocarburos.

Los procesos diagenéticos suelen realzar las diferencias originales que existen entre los sedimentos (tamaño y color de granos, etc.) por lo que las rocas sedimentarias se configuran en capas de una cierta continuidad lateral denominadas estratos, donde normalmente su base y techo son plano-parallelos. Algunas veces el paralelismo entre algunas capas presenta distinto ángulo de inclinación con el resto de la serie.

9.2.1 Ambientes sedimentarios. Reciben el nombre de ambientes o medios sedimentarios, los lugares donde pueden depositarse preferentemente los sedimentos.

Algunos ambientes sedimentarios están situados dentro de los **continentes**, como ocurre con el medio fluvial, el cual se forma por la deposición de partículas en el lecho y a ambos lados de los ríos, principalmente durante las crecidas, o el medio lagunar, originado por el material sedimentado en el fondo de los lagos. Otros ambientes se localizan en las **zonas costeras** y sus alrededores. Entre éstos se pueden citar los deltas, formados por los sedimentos que lleva el río al final de su curso, y las playas. Es, sin embargo, en **el mar**, donde suelen encontrarse los máximos espesores de sedimentos de plataforma continental, pero sobre todo los localizados al pie del talud continental y en la desembocadura de los cañones submarinos. En las llanuras abisales, en cambio, el espesor de los sedimentos es muy pequeño, desapareciendo prácticamente al aproximarse a las dorsales.

Otras denominaciones de los depósitos se dan según el agente que los transporta, el lugar donde se depositan o la estructura del depósito. En función del **agente**, se denominan coluvial (ladera), eólico (aire), aluvial (ríos) y glacial (hielo); según el **lugar**, palustre, lacustre, marino y terrígeno, y por la **estructura**, clástico y no clástico. Tienen que concurrir varios factores para que un medio sedimentario sea eminentemente deposicional. Si se deposita **material de origen detrítico** (partículas sólidas que han sido transportadas mecánicamente por corrientes fluidas, como ríos), el medio de transporte de las partículas tendrá que perder energía para que pueda llevarse a cabo la sedimentación del material.

En cambio, en los lugares en los que se depositan **sedimentos de origen químico**, será necesario que las condiciones físico- químicas sean adecuadas para que puedan precipitarse sustancias disueltas. En todos los casos es necesario que la zona de deposición sufra un hundimiento progresivo, lo cual posibilitará la formación de grandes espesores de sedimento.

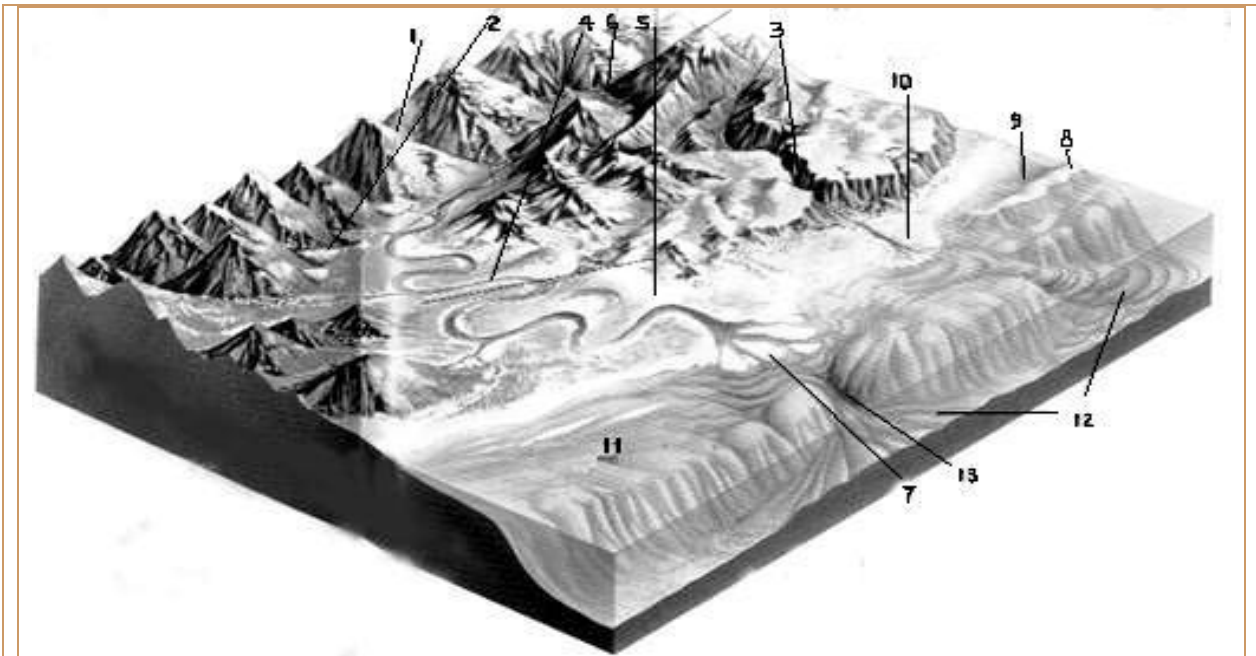


Figura 43. Ambientes sedimentarios: torrente (1), torrencial [cono aluvial (2), canal (3)], fluvial [canal (4), llanura de inundación (5)], lacustre (6), costero [delta fluvial (7), isla barrera (8), laguna (9), delta torrencial (10) plataforma (11)]. Marino [cono turbidítico (12), cañón submarino (13)]. Adaptado de Atlas de Geología. Edibook S. A.

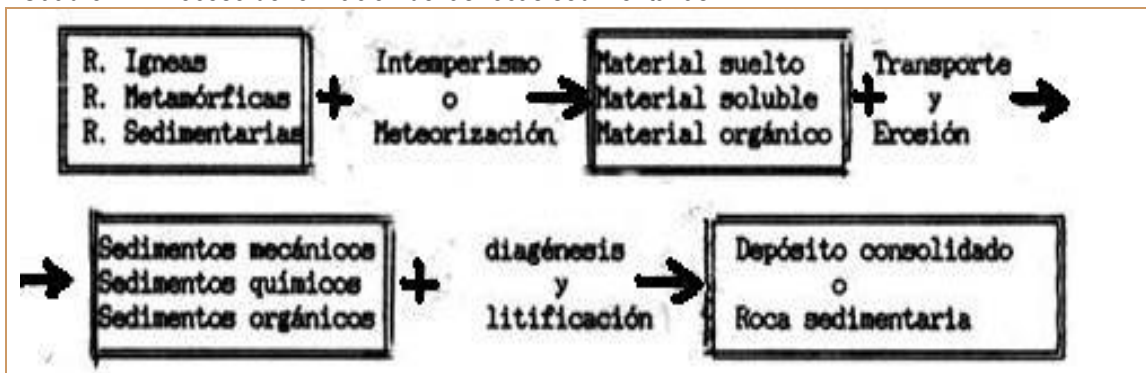
9.2.2 Principales procesos de litificación. Los principales procesos diagenéticos son la cementación, la consolidación-desección y la cristalización. El término litificación se puede entender como el proceso por el cual se forman rocas, en este caso a partir de la consolidación de los sedimentos.

- **Cementación.** Los principales agentes minerales cementantes son: la calcita y la dolomita que llegan disueltos en el agua formando con ella una solución que ocupará los intersticios del depósito. Ello demanda un material poroso y permeable, por lo que este proceso domina la formación de las areniscas, calizas y dolomías.

- **Consolidación y desecación.** Dos procesos generalmente ligados, porque la consolidación trae implícita la salida del agua. No obstante en el caso de los depósitos de arena transportados por el viento, después de la evaporación se puede dar la litificación. Este proceso exige un material poroso y no necesariamente permeable. Las arcillas a un km. de profundidad, por la presión confinante, pierden el 60% del volumen y dan paso a la formación de lutitas.

- **Cristalización.** La formación de nuevos cristales (neocristalización) y el crecimiento cristalino (recristalización), permiten el endurecimiento de los depósitos, por unión de cristales individuales.

Cuadro 12. Proceso de formación de las rocas sedimentarias.



Fuente. Notas del curso de Suelos. G. Duque, Geología.

9.3 CLASIFICACION DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Cuadro 13. Las rocas sedimentarias.

ORIGEN	AGENTE	DEPOSITO	ROCA
Mecánico	Agua	Canto rodado	Conglomerados
		Guijarro	Brechas, aglomerados
	Arena	Areniscas	
		Limo	Limolitas, lodolitas
		Arcilla	Arcillolitas, lutitas
	Viento	Médanos o dunas	Areniscas
		Loess (limo)	Limolitas
	Hielo	Till (peñascos en una matriz fina)	Morrenas y otras tillitas (peñascos en una matriz fina pero consolidados)

ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO CONSOLIDADO
Químico	Calcárea	Caliza, dolomía, travertino
	Calcárea- arcillosa	Marga
	Silicosa	Pedernal, geiserita
	Salina (evaporitas)	Sal, yeso, bórax
Orgánico	Carbonosa (% de C libre)	Turba C<50%: carbón compresible y de formación reciente
		Lignito C ≈ 50%: carbón de formación Intermedia
		Hulla C ≈ 75%: carbón fósil o mineral

Adaptado de Lexis 22 Mineralogía Geología, Círculo de Lectores, 1983.

9.3.1 Minerales componentes de las rocas sedimentarias. Son tres los principales: la arcilla, principalmente la illita y la caolinita, el cuarzo y la calcita. Otros minerales son los feldespatos, de sodio y calcio principalmente, dolomita, yeso, anhidrita y halita.

En los conglomerados la composición es cualquiera, dominando el cuarzo. En las areniscas, si es ortocuarcita, domina el cuarzo, si es grawaca habrá fragmentos de roca, cuarzo y arcilla y si es arcosa feldespatos, cuarzos, micas y carbonato cálcico.

En las arcillolitas habrá, hidróxidos de hierro y aluminio, en las lateritas; caolinita, en los caolines; montmorillonita, en la bentonita, y arcilla, cuarzo, feldespatos y calcita, en los loess. En las margas se tendrá carbonato cálcico y arcilla.

En travertinos, tobas, calizas, y caliches, habrá carbonato cálcico, como también en las calizas de bacterias y algas; en las cretas y calizas, conchíferas y coralinas; en las dolomías y calizas dolomíticas, formadas por procesos metasomáticos, habrá calcita y dolomita.

En el sílex, pedernal, gliceritas, trípoli, jaspe y lidita, se tiene sílice coloidal y criptocristalina. En los yesos, sal gema y otras evaporitas, habrá sulfato cálcico y cloruros de sodio, potasio y magnesio. En las sideríticas y pantanosas, que son ferruginosas, carbonato, óxidos e hidróxidos de hierro. En las fosforitas y guano, fosfatos de calcio y otros elementos.

9.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Las principales características de las rocas sedimentarias son la estratificación, las facies y el color.

Estudiando el **entorno** actual se tienen indicios acerca de la formación de las rocas sedimentarias: los sedimentos de grano muy fino, en un entorno costero típico se depositan sobre los pantanos de sal, y los de grano más grueso, en las dunas y en la playa; en ambos casos habrá huellas fósiles que se conservarán para su interpretación futura. También el tamaño de las partículas sedimentarias tiene que ver con el entorno de deposición: los lodos pantanosos se acumulan en condiciones acuáticas de relativa calma, mientras las dunas son depositadas por el viento y las arenas de la playa donde rompen las olas.

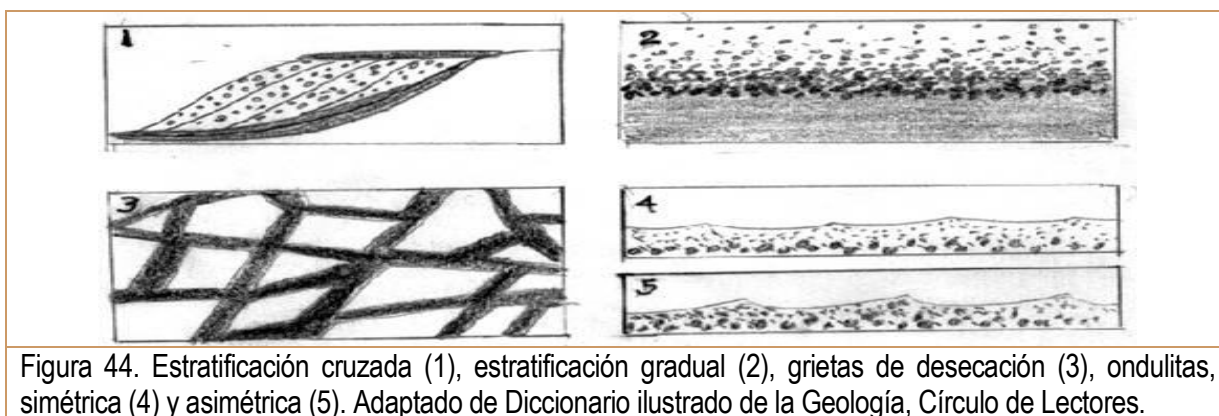
Los granos, según su forma y tamaño demandan entornos de diferente energía y turbulencia; así la distribución de los tamaños y forma de los granos en las playas y arenas de las dunas varía: en las primeras la granulometría muestra mejor clasificación y las partículas aparecen muy bien redondeadas.

Tamaño, clasificación y forma de granos condicionan la **textura** de un sedimento. Contrario a lo que ocurre con los sedimentos de entornos de baja energía, los sedimentos transportados durante largos períodos en entornos de alta energía y depositados en condiciones similares, están bien redondeados y bien clasificados. Las

corrientes rápidas transportan granos mayores no sólo en suspensión por el fluido en movimiento, sino también por saltación y rodamiento a lo largo de la superficie del lecho, mientras los lodos del entorno de un pantano de sal han sido depositados de la suspensión, fundamentalmente. Los organismos que viven dentro o en los sedimentos costeros o en un entorno cualquiera, son también huellas fósiles potenciales y útiles indicadores del entorno.

El examen de los diferentes granos de mineral presentes en las rocas sedimentarias permite establecer la naturaleza de la **roca fuente** y de los procesos de meteorización que la degradaron. La interpretación se facilita en granos gruesos como cantos de playas y se dificulta con una arena donde un grano puede ser sólo una parte de un cristal único. Una arenisca totalmente cuarzosa no informa sobre la roca madre pero sí es testigo de varios procesos de meteorización, erosión y deposición. La forma en que la roca fuente haya sido fraccionada por procesos superficiales determina la categoría de la roca sedimentaria. El grado de fraccionamiento conseguido en las rocas fuentes es de importancia económica, toda vez que favorece la formación de concentraciones de carbono, carbonato cálcico, óxidos de aluminio y de hierro y evaporitas.

Los diferentes tipos de rocas sedimentaria, pueden relacionarse no sólo con los procesos de meteorización, sino también con la **zona climática** de la Tierra en que se formaron, pues aquéllas están condicionadas por el clima, así como por las diferentes partes del ambiente tectónico sobre las cuales pueden estar operando los procesos superficiales.



9.4.1 La estratificación. Es la más importante. Cada capa marca la terminación de un evento. Interesa en una capa su geometría interna en el conjunto, la geometría de las capas, pues dichas estructuras ponen en evidencia el ambiente de formación. Las capas pueden ser horizontales, si el ambiente de formación es tranquilo (lacustre); onduladas, si se trata en el ambiente de las dunas; inclinadas, si el ambiente es detrítico; rizadas, cuando son marcas de ambiente de playa; cruzadas, si el ambiente es pantano, y geodas, si son capas esféricas concéntricas explicadas por un fenómeno osmótico por diferencia de salinidad.

Las grietas de desecación se producen cuando el barro húmedo se seca al aire y se genera un diseño de grietas de varios lados, típico de lagos poco profundos que se han secado.

La estratificación grano-clasificada es una estratificación en la cual las partículas mayores están en el fondo de una unidad y las pequeñas en la parte superior; la estratificación cruzada es una estratificación original en la cual los planos de los estratos están en el ángulo de la superficie principal sobre la cual los sedimentos fueron depositados; la estratificación de corriente es la misma cruzada; la estratificación de médano es una estratificación cruzada de tamaño más bien grande.

En las estructuras sedimentarias las ondulitas son marcas como ondas formadas por el movimiento del agua o del aire sobre la superficie de un sedimento recién depositado, y las dos principales ondulitas son la simétrica y las huellas fósiles de corriente asimétrica.

9.4.2 Facies sedimentaria. El término alude a la acumulación de depósitos con características específicas que gradúan lateralmente a otras acumulaciones sedimentarias, formadas simultáneamente, pero que presentan características diferentes. A veces se subdividen en litofacies o facies litológicas y biofacies o facies marina. Entre las facies de agua dulce se distinguen la fluvial y la lacustre; entre las marinas, la litoral o costera, la nerítica y la abisal, y entre las terrestres o continentales, muy variadas, la fluvial, la eólica, la glacial, etc.

Averiguar en qué tipo de ambiente se originó una roca sedimentaria tiene gran interés en geología, debido a sus múltiples aplicaciones. Hace posible, por ejemplo, reconstruir la situación de ríos, torrentes y costas, hace millones de años (reconstrucciones paleográficas); permiten averiguar los avances y retrocesos del mar que se han producido en otras épocas, así como localizar trampas estratigráficas, lo cual es de gran interés en prospección de petróleo.

9.4.3 Color. En las rocas sedimentarias los colores gris y negro pueden explicarse por la presencia de humus y otras sustancias afines (materiales carbonosos); pero el principal agente colorante son los óxidos de hierro, así: por la hematita (Fe_2O_3) color rosado; por la limonita, (hierro de pantanos) amarillo y café; por la goethita (hierro acicular) pardo oscuro a negro, y por el hierro libre o nativo, verde, púrpura o negro.

Se recuerda que el color es una de las propiedades físicas más importantes de los minerales, sin embargo, deben tenerse presente:

- Puede ser constante y definido para varias muestras de un mismo mineral (la pirita de brillo metálico es un indicador) o puede variar de una a otra muestra en un mismo mineral (en el cuarzo el color no es indicativo).
- Como precaución, la identificación por los minerales se basará en muestras frescas. Se tendrá en cuenta la pátina, que es una alteración superficial pigmentada por otros minerales.
- En minerales opacos y de brillo metálico, no alterados, se expondrá el color del mineral. No obstante el color puede variar entre límites amplios.

9.5 DESCRIPCION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

La descripción de las rocas se hace en lenguaje gráfico y alfabético. El lenguaje gráfico se apoya en diagramas y planos, como se muestra en la figura 45. Cada tipo de roca y cada rasgo estructural, tiene su propia nomenclatura.

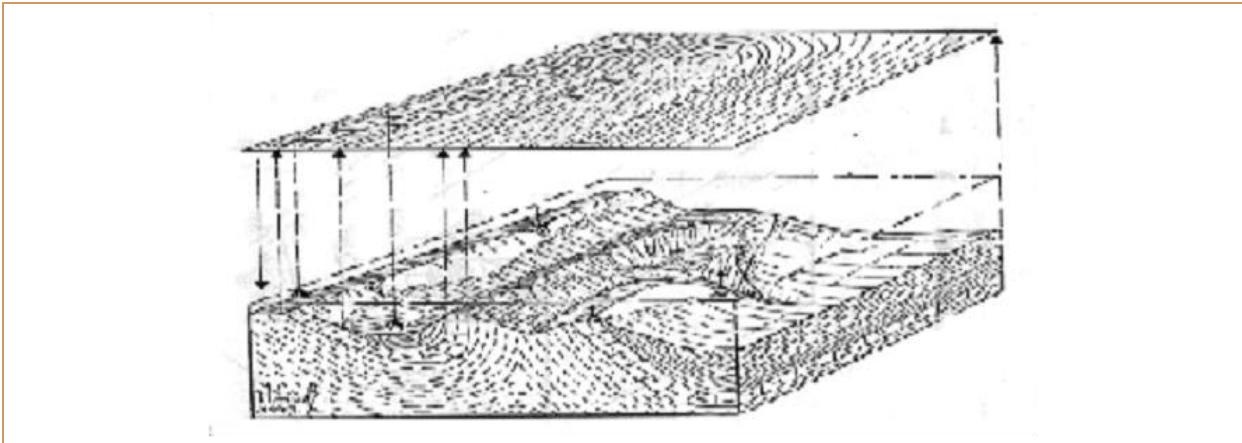


Figura 45. Representación de una estructura sedimentaria (pliegue): arriba, expresión en carta geológica; abajo, expresión en diagrama de bloque. Tomado de las notas del curso de geología de Pedro Hernández, U. Nal...

9.5.1 Areniscas. La mayoría están compuestas principalmente de granos de cuarzo y arcilla en pequeñas cantidades. Pueden ser, por su composición, arcosa, si son ricas en feldespatos; cuarzosas, ricas en SiO_2 ; grawacas, ricas en ferromagnesianos, y micazas ricas en micas. También las areniscas se denominan, por la matriz cementante, así: ferruginosa, silicosa, arcillosa y calcárea. Las areniscas son útiles en construcción, revestimientos y fabricación de vidrio.

9.5.2 Areniscas de cuarzo. Son el resultado de una considerable fragmentación de restos de roca soltados por procesos de meteorización como lo demuestra su pobreza en minerales incapaces de resistir la meteorización química.

Texturalmente exhiben gran porosidad y permeabilidad, por lo menos inmediatamente después de su deposición, pues más tarde los poros serán rellenos por cemento mineral, compuesto frecuentemente de sílice o calcita, e incluso hierro. Una variedad, de las arenas verdes, es arenisca de cuarzo con glauconita, típica de ambiente marino, y otra las areniscas (y pizarras) de los lechos rojos, a causa de las hematitas que recubren los granos de arena y que denuncian un grado de aridez del entorno de deposición donde la lámina acuífera permaneció baja permitiendo a los minerales de hierro su oxidación.

9.5.3 Arcosa. Esta arenisca además de cuarzo, tiene feldespatos en una cantidad del orden del 25%. Ambos minerales soportan la degradación mecánica durante el transporte, siendo el segundo más susceptible a la descomposición. Su aparición en proporciones mayores a las de un pequeño porcentaje, evidencian condiciones de aridez y de transporte corto o rápido.

9.5.4 Grawaca. El término significa gris y duro y describe bien esta arenisca que contiene una mezcla de productos de meteorización de rocas ígneas y metamórficas, en los que se incluyen, además de partículas de descomposición mecánica, minerales arcillosos de la meteorización química. Las grawacas son el resultado de un fraccionamiento incompleto de productos de meteorización, reflejado en la pobre clasificación y escasa redondez de los clastos. Las rocas usualmente duras y oscuras en extremo pueden confundirse con basaltos si las variedades de grano son finas. Se asocian con pizarras negras, sobre todo cuando son fruto de corrientes de turbidez o de densidad.

9.5.5 Brechas. La palabra significa cascote y con ellas se describe una roca formada por fragmentos angulosos; dicha angulosidad significa una cantidad mínima de transporte, razón por la cual la fuente está cercana y puede estar asociada a arrecifes de coral, fósil y moderno. Los depósitos de brechas pueden formarse por la meteorización mecánica en la cara de los acantilados en cuya base se forman los taludes o depósitos de deyección; también pueden ser depositados por ríos de flujo esporádico en regiones áridas. Las brechas son útiles en construcción, revestimiento y decoración.

9.5.6 Conglomerados. Se distinguen de las brechas por la naturaleza redondeada de sus clastos. Si los clastos se tocan entre sí se dice que es clastosoportado y se sabe que ha sido depositado en condiciones de alta energía, como puede ser el contexto de playa o la llanura de inundación de un gran río no sujeto a períodos de desecación. Si es matriz soportado, caso en que los clastos más grandes se separan por una matriz fina de arena y arcilla, indica que el material sedimentario fue transportado y depositado rápidamente sin dar lugar a la clasificación del depósito. Tal es el caso de los conos aluviales con inundaciones rápidas.

De otro lado existen conglomerados extraformacionales compuestos por clastos de fuera del área de deposición y conglomerados intraformacionales derivados de la erosión de sedimentos locales, como es el caso de un banco de río cercano. Los conglomerados, por las gravas, son útiles para el hormigón.

9.5.7 Rocas calcáreas. Calizas y dolomías, contienen por lo menos la mitad, o bien de calcita o bien de dolomita. Ambos minerales pueden estar formados como precipitaciones directas del agua del mar, pero la forma más importante es la que el calcio y el magnesio - liberados originalmente por meteorización química- quedan fijados, es mediante la secreción de minerales carbonatados, por animales y plantas. En la actualidad, los sedimentos calcáreos, aparte de los lodos de mares profundos, se encuentran frecuentemente sólo en clima tropical y subtropical donde florecen los organismos secretores del carbonato. Su aparición, la de antiguas rocas calcáreas, es un indicador paleoclimático.

9.5.8 Calizas. Pueden ser de agua dulce o de origen marino, y componerse de material químicamente precipitado, orgánico o detrítico. La mayoría de las calizas se formaron en aguas poco profundas y las condiciones de turbulencia o de ambiente tranquilo se reflejan en la existencia del soporte de grano con relleno de calcita cementante en el primer caso, o la existencia de espacios porosos rellenos con lodo carbonatado, en el segundo.

Las calizas son la materia prima de la cal y el cemento, complementando el proceso con arcillas ferruginosas. Las calizas fosfóricas son útiles como materia prima para fertilizantes. Hay calizas útiles en litografía (detrítica de ambiente marino) y para productos refractarios (organógena marina).

9.5.9 Dolomías. La roca tiene una mezcla de carbonato cálcico y magnésico y puede tener dos orígenes. El primero aparece dentro de la cuenca de deposición, sólo a unos cuantos decímetros por debajo de la superficie e inmediatamente después de la deposición de la caliza, en un proceso asociado a la formación de las evaporitas, y el segundo tiene lugar a más profundidad y mucho tiempo después de la deposición (aquí se produce una dolomita de grano grueso y la sustitución está causada por soluciones ricas en magnesio que se filtran a través de la caliza).

9.5.10 Rocas ferruginosas. Pueden ser de tres tipos: las ferruginosas veteadas, de edad precámbrica, que muestran láminas de óxido de hierro, carbonato de hierro o sulfuro de hierro, y sílice tipo calcedonia. Contienen varias estructuras sedimentarias incluyendo marcas de rizadura y grietas de lodo, las que sugieren deposición en aguas poco profundas. Las rocas de hierro oolítico sedimentario, formadas durante los últimos 600 millones de años, que poseen las características texturales de las calizas, pero no están compuestas de carbonato cálcico sino de minerales de hierro, incluyendo el carbonato de hierro y los silicatos ferroaluminicos que pueden formarse sólo en condiciones anóxicas, y las rocas ferruginosas de arcilla, que resultan insignificantes cuantitativamente, hoy en día, pero que soportaron la industria del acero asociada a campos de carbón. Están conformadas por acumulaciones redondas de carbonato de hierro, que sustituyen las pizarras en muchos estratos, especialmente cubriendo vetas de carbón. Estas rocas, de ambiente continental y marino, facilitan la obtención del hierro.

9.5.11 Bauxitas y lateritas. Dos productos de la meteorización química en donde el material no ha sido disuelto incluso después del más intenso ataque por aguas subterráneas ácidas y se han dado condiciones para que la erosión mecánica y la retirada del material sean virtualmente nulas. Este es el ambiente tropical de las tierras bajas o las áreas planas mal drenadas, donde la capa residual del perfil de meteorización, compuesta de hidróxidos de hierro y aluminio, se conoce como laterita. Cuando la mayor parte de los componentes de hierro es lixiviada de una laterita, se convierte en la bauxita; ambos depósitos están coloreados generalmente con profundos tintes de rojo, marrón y naranja.

9.5.12 Evaporitas. Son rocas sedimentarias producidas en clima cálido y árido, por la evaporación del agua del mar. Experimentalmente al evaporarse el agua marina se origina la formación de carbonato cálcico, después

sulfato cálcico (yeso) y finalmente las sales más solubles, incluida la halita (sal común). Sin embargo, cuantitativamente las evaporitas no pueden deberse a una simple evaporación puesto que una capa de metro y medio de halita requiere la desecación de 100 metros de profundidad marina y hay muchos depósitos de sal con cientos de metros de espesor en mares abiertos. El resultado de tales procesos, si se dan sedimentos porosos, es que la caliza original se sustituye por dolomita de grano fino y el sulfato cálcico (anhidrita) crece dentro del sedimento y lo deforma.

9.5.13 Chert. Roca silíceo densa y dura, compuesta de sílice casi pura, bien con una cristalización extremadamente fina o criptocristalina que no muestra evidencia alguna de estructura cristalina regular. El jaspe, el pedernal y el ópalo son variedades denominadas calcedonias. Hay dos tipos diferentes de chert: los que sustituyen a las calizas en forma de nódulos o vetas de calcedonia y los realmente estratificados asociados con pizarras o con formaciones estratificadas de piedra ferruginosa. Los primeros provienen de microfósiles silíceos como los organismos unicelulares marinos llamados radiolarios; los segundos forman el sílex, son de origen inorgánico y pueden estar asociados a precipitados, lavas submarinas o ceniza volcánica.

9.5.14 Shale o lutita. Se denominan así a las limolitas y arcillolitas mejor consolidadas. La marga es una lutita calcárea.

Según el grado de consolidación diagenética, pueden clasificarse así:

- **De bajo grado de consolidación.** Arcillolita, lodolita y limolita.
- **De mediano grado de consolidación.** Shale arenoso, shale lodoso y limolita laminada.
- **De alto grado de consolidación.** Argilita, una roca más competente que las anteriores.

Aunque la argilita sea más resistente y menos deformable, no es por ello la más durable, pues las lutitas, pueden tener mucho o poco cementante pero su durabilidad está supeditada a su naturaleza silíceo, ferruginosa o calcárea.

9.6 SEDIMENTOS ORGANICOS

Los compuestos orgánicos se descomponen rápidamente por la acción de bacterias anaeróbicas (o de putrefacción) pues en contacto con el aire se oxidan por la acción de bacterias aeróbicas (que consumen oxígeno). Si los materiales se cubren de aguas pobres en oxígeno se fermentan por la acción anaeróbica incrementando su porcentaje de carbono libre.

9.6.1 Carbón y petróleo. El carbón se forma en los continentes a partir de materiales vegetales; el petróleo en el océano a partir de microorganismos animales y vegetales (plancton).

Del metamorfismo de los carbones se obtienen esquistos grafitosos, no el diamante, asociado a rocas ígneas ultrabásicas.

- **El carbón.** Existen dos tipos de cuencas hulleras, las parálicas o costeras como el Cerrejón, que son extensas pero de poca potencia (medio metro de espesor en promedio) y las límnicas o intramontañosas, como lo es la cuenca carbonífera de Quinchía-Riosucio, del terciario carbonífero de Antioquia, que son de poca extensión pero donde la potencia de los estratos de carbón llega a los 5 metros en promedio.

En las cuencas costeras los estratos del cicloclima son: conglomerados, areniscas, pizarras arenosas y con raíces, pizarras fósiles y estériles, vienen luego las capas marinas (caliza marina y pizarra marina, ambas con fósiles y pizarras ferruginosas). En las cuencas continentales, faltan en el cicloclima las capas marinas.

Si día a día, El Cerrejón y la Drummond exportan más de 150 mil toneladas de carbón, la clave para extraer el carbón andino, radica en implementar medios de transporte más económicos, como lo son las líneas férreas y la hidrovías del Magdalena, logrando de esa manera precios remunerativos para hacer viable una minería técnicamente desarrollada y social y ambientalmente responsable.

También habrá que recordar que mientras el petróleo se negocia en tiempo real, el carbón no, dado que recordar que el negocio responde a mercados de futuros: cuando se hace un pedido de carbón, se fijan los rangos del poder calorífico, granulometría, volátiles y contenido de azufre que satisfacen al cliente, y luego se procede a un acuerdo de precios, donde el valor final permite la venta de carbones de baja calidad, arrastrados por los de buena calidad que participan de la mezcla. Dada la alta calidad de los carbones de los distritos carboníferos de la Cordillera Oriental, y la posibilidad de implementar el Ferrocarril Cafetero para articular el sistema férreo de la región andina, esto resulta importante para sacar dicho producto a los mercados de la Cuenca del Pacífico, resolviendo de paso las barreras de carga para viabilizar la inversión en líneas férreas y de menor calidad de los carbones de la cuenca del río Cauca.

Ver: **Sistema Bimodal Cafetero** <http://www.bdigital.unal.edu.co/39715/>

- **Petróleo.** Los hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos dependen de la longitud de las cadenas de los compuestos. Las largas para los primeros, por ej., asfalto y betunes, las más cortas para los gaseosos, como metano, acetileno, propano y butano. La porción líquida flotará sobre aguas marinas fósiles. La presión de extracción del yacimiento la dan los gases, disueltos. Todo el compuesto se origina del plancton que por acción anaeróbica, similar al proceso de carbonatación, se transforma en sapropel - hay carbón sapropélico- y luego en hidrocarburos.

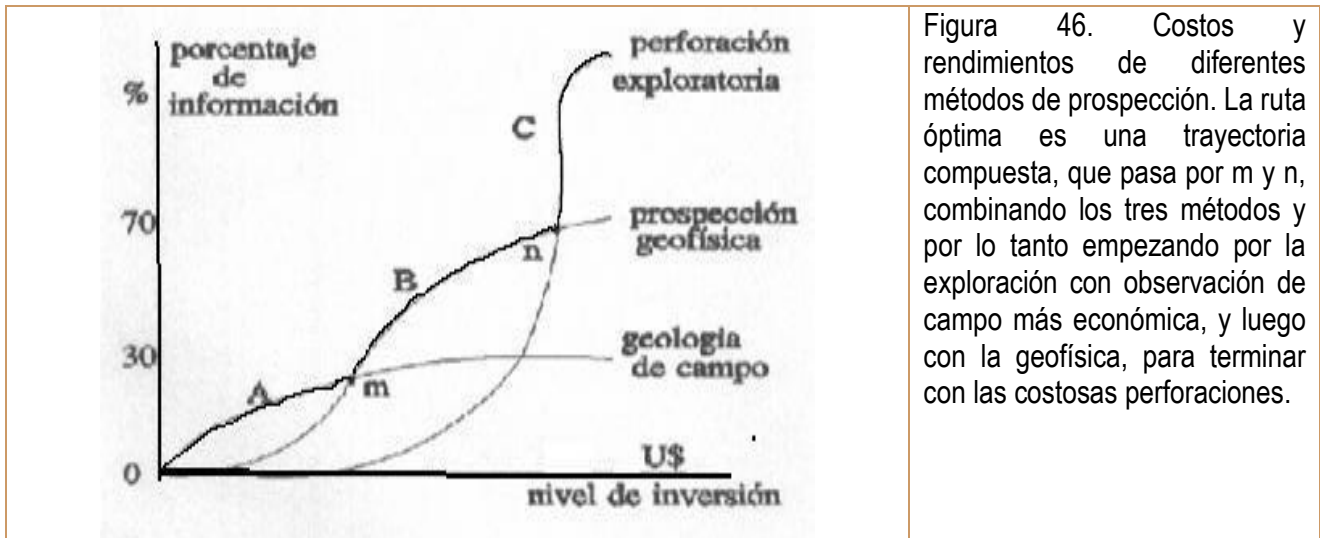
La roca madre es marina pero en la orogenia el petróleo aprovecha acuíferos y emigra al continente a zonas de menor presión con dos posibilidades: dispersarse en la atmósfera para perderse en la acción anaeróbica o entrar a reservorios preservándose gracias a trampas de cinco tipos: pliegues anticlinales, fallas, diapiros salinos (domos), lentes de masas coralinas (calizas) y otros tipos de discordancias.

9.7 FASES DE EXPLORACION GEOLOGICA

La geología de campo es un método de prospección de bajo costo pero con bajo nivel de eficiencia respecto a la información que demanda la inversión para la explotación de recursos.

En la fig. 46 la parte más eficiente de este método es la primera porción de la curva A, donde por regla general el nivel de información obtenido alcanza cerca del 30% de lo demandado. Si se continúa con la inversión, el porcentaje de información no crece, pues la curva ya es plana. Lo contrario ocurre con las perforaciones exploratorias, son de alto costo y sólo después de una inversión importante muestran óptima eficiencia (la curva C se levanta) y gran alcance (llega al 100% de información). Por costos y eficiencia los métodos geofísicos son intermedios entre los señalados (ver curva B). Las abscisas tienen escalas de costos diferentes, para cada método.

De lo anterior se desprende que existe una ruta óptima resultante de la aplicación debida y combinada de los tres métodos de exploración; primero se recurrirá a la geología de campo con costos del primer orden; luego a la prospección geofísica (entre m y n) con costos de segundo orden, y finalmente a los pozos exploratorios, para obtener el 100% de información demandada, siendo los costos del último método, de tres órdenes, aplicables sólo a los últimos niveles de información faltantes. La economía proveniente de la combinación de métodos surge de la consecución de información más económica en los primeros niveles.



9.8 EJEMPLOS DE SEDIMENTITAS EN COLOMBIA

En la Serranía de la Macarena, la región norte exhibe una sucesión rítmica de grawacas turbidíticas de grano fino a grueso y color gris. Hay calizas delgadas fosilíferas y shale gris oscuro, arenitas finogranulares cuarcíticas muy

micáceas, que gradan a arenitas arcillosas cuarcíticas y shale arenoso rojo. Son sedimentitas, además, todas las secuencias del paleozoico temprano.

En la región de los Llanos Orientales hay remanentes de coberturas detríticas del precámbrico con arenitas de cuarzo blancas y grises de grano fino a medio, bien gradadas, en estratos delgados a gruesos intercalados con arcillolitas grises, verdes o rojas. En la región de la selva amazónica las arenitas rojas oscuras se intercalan con tobas y materiales vulcanoclásticos. En la margen llanera al sur-orientado de Bogotá, las sedimentitas, que son de ambiente pericontinental, están constituidas por calizas, arcillolitas rojas, areniscas, conglomerados, arcillolitas y limolitas grises fosilíferas.

En la Sierra Nevada se encuentran además de pelitas, ruditas y calizas del paleozoico, además pelitas y tobas del mesozoico y coberturas locales pelíticas y calcáreas.

En la región del Cerrejón se presenta una secuencia clástica a vulcanoclástica granodecreciente: los sedimentos de grano muy fino conglomerados, areniscas, lodolitas con intercalaciones calcáreas, localmente sedimentitas rojas del mesozoico temprano, y otra secuencia, de hasta 1000 metros de espesor, de arenitas, lodolitas, calizas y rocas comúnmente ricas en materia orgánica depositadas en ambientes predominantemente marinos durante el mesozoico tardío. Más reciente se presenta otra secuencia clástica de arenitas y lodolitas con mantos de carbón, depositada en ambiente marino transicional y continental durante el cenozoico, (terciario). Su espesor alcanza 1000 metros.

En la península de la Guajira hay lodolitas rojas, verdes y grises, arenitas pardas, conglomerados, calizas y lutitas calcáreas. Al NW hay un supraterrano terciario marino. En la baja Guajira una secuencia de arenitas y limolitas en la base y, localmente, capas delgadas de carbón ricas en materia orgánica y calizas glauconíticas depositadas en ambiente transicional a marino, a finales del cretácico. Igualmente, una secuencia de arenitas y lodolitas de colores rojizos suprayacida por otras oscuras de ambiente continental a marino, del mesozoico tardío. En la región de Santa Marta se tiene una cobertura pelítica y calcárea y, localmente, mantos de carbón.

En Córdoba hay turbiditas con fragmentos de serpentinitas, shale, chert y tobas. Más al sur y al occidente del río Cauca, hasta Cartago, hay turbiditas fino a grueso granulares, chert, calizas y piroclastitas básicas. Continuando desde Cartago hacia el sur, la estratigrafía se repite pero presenta metamorfismo. En Santander del Norte hay una sedimentación predominantemente samítica y pelítica y localmente calcárea que reposa discordantemente sobre el basamento ígneo-metamórfico. Entre Tunja y Bucaramanga, región de la Floresta, hay una sedimentación pericontinental durante el paleozoico temprano que se reanuda posteriormente. Las sedimentitas son conglomerados, arcillolitas generalmente amarillentas, limolitas y areniscas.

Al sur de Ibagué, y hasta Mocoa, hay sedimentitas del paleozoico medio y superior con sedimentos calcáreos epicontinentales del mesozoico. Entre los Llanos orientales y el sistema de Romeral, en la región que comprende Cundinamarca y Santander, hay sedimentitas clásticas, en desarrollos faciales, y calizas bioclásticas y evaporitas. Se trata de una sedimentación epicontinental que culmina con el levantamiento progresivo a finales del mesozoico.

La región de los valles del San Juan-Atrato y la costa Pacífica al sur de Buenaventura, presenta shales, arenitas, conglomerados turbidíticos y calizas en menor proporción. Localmente se encuentran afloramientos de arenitas cuarzosas. La región del Baudó muestra piroclastitas básicas, arenitas turbidíticas, shale, chert y calizas. Al norte, la región del Sinú tiene turbiditas, hemipelágicas (carbonatos y silicatos) y depósitos marinos terrígenos.

9.9- CARBÓN ANDINO COLOMBIANO

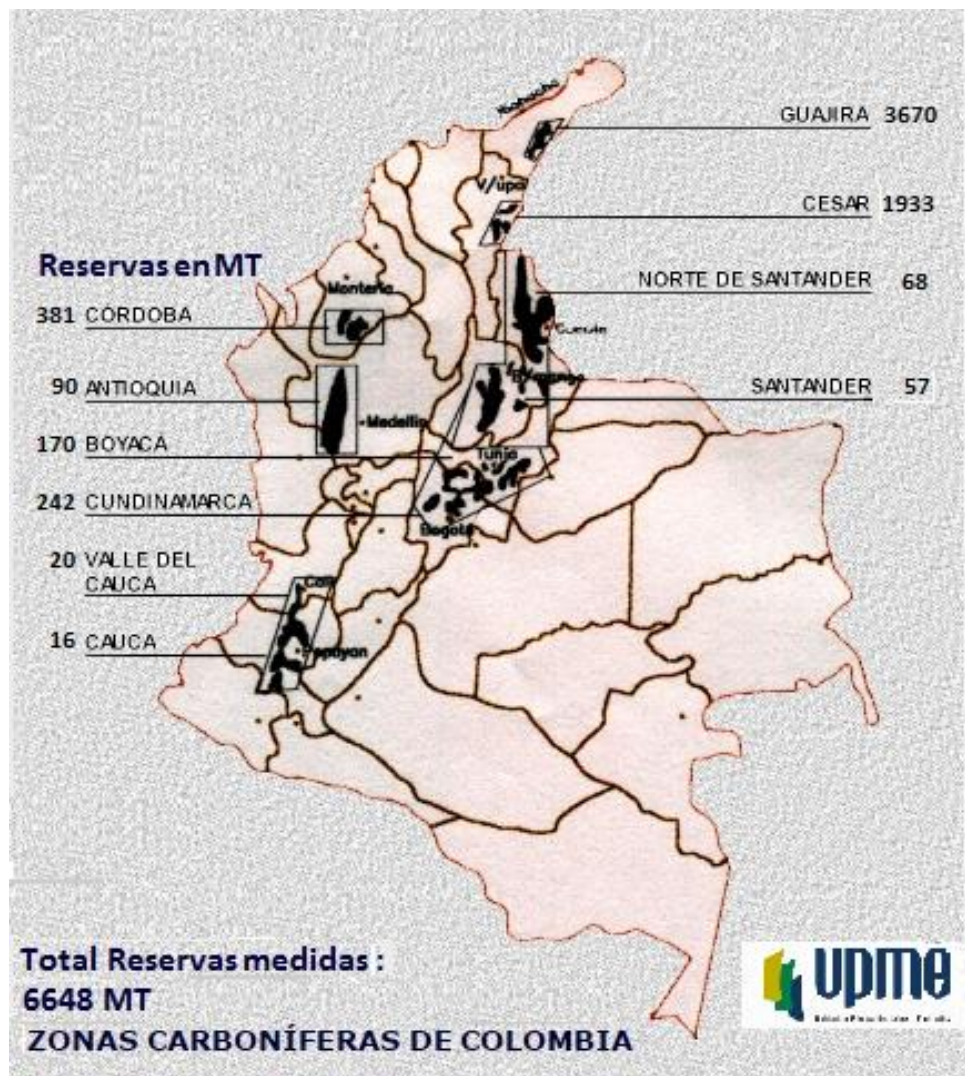


Imagen 24: Distritos carboníferos y reservas medidas de carbón en Colombia, en millones de toneladas MT. Fuente: UPME.

En 2014, la producción nacional de carbón mineral superó los 84 millones de toneladas, 93% de ella concentrada en La Guajira y Cesar donde la explotación es a gran escala, y 7% en el interior donde se destacaron los distritos carboníferos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, y en menor grado Antioquia,

todos estos explotados con una minería de corte artesanal y de alta generación de empleo. Colombia cuenta con unas reservas medidas de 7 mil millones de toneladas MT de carbón.

Los carbones colombianos que son básicamente duros, bajos en azufre y de elevado poder calorífico, pueden tener gran desempeño durante las próximas décadas como carbones térmicos de cara a la crisis ambiental. Pese a que por el cambio climático al 2050 deberá reducirse el 80% del consumo mundial de carbón, el 50% del gas natural y el 30% del petróleo, habrá que consumir las enormes reservas del país en los próximos 40 años, asunto por fortuna viable gracias a que todo el carbón de Colombia es exportable.

La Región Andina de Colombia, con sus importantes yacimientos mineros según el inventario de Ingeominas (1972), aunque cuenta con información cartográfica estandarizada y oficializada de su geología, debería propender no sólo por la exploración geológica, una actividad importante para el desarrollo del conocimiento científico y la identificación del potencial de los recursos minerales, sino por su transformación incentivando la inversión minera, minero-energética e industrial, para impulsar el progreso económico y social del país.

Ya se ha citado la visión al respecto de Gabriel Poveda Ramos proponiendo varias industrias químicas de base minera como las contempladas en el “Plan Minero- Industrial de Caldas”, y he señalado las ventajas del Magdalena Centro y del Corredor del Cauca para su emplazamiento, gracias a su ubicación respecto a nuestros escenarios energéticos y de transporte, entre otras ventajas como agua disponible y recurso humano. Me referiré ahora al carbón mineral, recurso que en el quinquenio 2006-2010 aportó al fondo nacional de regalías 0,8 billones de pesos anuales y cuantiosas divisas por su participación del 35% en el PIB minero de 2012, un bien aún demandado en el mercado hemisférico configurado por consumidores de carbón térmico, que seguirá siendo estratégico para empresas de fundición ferrosa y no ferrosa, y siderúrgicas importadoras de coque.

Colombia, con el siglo XXI entra al escenario mundial del carbón, donde se consolida como sexto exportador mundial en 2004, cuando el comercio del período 1980-2004 en Asia-Pacífico aumentaba 3,6 veces y el consumo mundial pasaba de 2.780 millones de toneladas Mt a 4.282 Mt. Poseemos las mayores reservas de carbón en América Latina: 17 mil Mt, de las cuales 7 mil Mt son medidas, en un escenario donde el carbón de la costa norte colombiana, aunque representa el 90% del recurso, por ser térmico y contar con mayores sustitutos, no tiene las ventajas del carbón coquizable y bajo contenido en azufre existente en varios yacimientos intra-montañosos de la Cordillera Oriental colombiana, un bien aún con demanda global estable, que demanda el ferrocarril andino como medio de transporte eficiente para ubicarlo sobre la cuenca del Pacífico.

Mientras cada día Cerrejón saca 9,2 trenes de diez mil toneladas, y Drummond 8,5 trenes, cuantías que sumadas equivalen a 61 Mt anuales, y Antioquia con 90 Mt de reservas medidas produce 1 Mt por año, en 2013 el Tren de Occidente movilizó sólo 150 mil toneladas de carga. De ahí la propuesta del Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, para sacar inicialmente 5 Mt del carbón por año, que provendría de la Región Andina con destino al Pacífico, cantidad equivalente a seis trenes de montaña, cada uno llevando 50 vagones de 50 toneladas, cantidad suficiente para financiar el Túnel Cumanday y el corredor bimodal cafetero, propuesto en apartes de esta obra.

Sabemos que el petróleo, después de desplazar al carbón como recurso energético a mediados del Siglo XX, marca el comportamiento del mercado energético internacional: primero, con la crisis energética de 1973 resultado de la confrontación árabe – israelí; luego, con la revolución en Irán (1979) y su guerra con Irak

(1980); y ahora, con la destorcida de precios favorecida por la OPEP, previniendo los efectos de largo plazo relacionados con la gran escalada de la exploración – explotación, las tendencias generalizadas hacia la conservación de energía y la investigación de fuentes alternas previendo atenuar el cambio climático. Mientras los dos primeros momentos incrementaron el precio de los combustibles fósiles, el segundo ha logrado lo contrario.

A diferencia del petróleo que se vende de forma directa, el mercadeo del carbón responde a operaciones de futuro: se acuerdan previamente las características del carbón, como son poder calorífico, contenidos de azufre y volátiles, y granulometría. Al gestionar su precio según dichas cuantías acordes a su empleo, el valor estará condicionado por otras consideraciones para el cliente, dado que para un mismo uso como lo es el energético, el patrón de compra temporal depende del destino: se negocia caro cuando el país comprador en contratos ocasionales busca satisfacer necesidades de consumo que demandan energía fluctuante, o a precios estables mediante contratos de largo plazo, para asegurar un suministro a bajo costo cuando se trata de producción industrial que requiere energía de base.

[Ref. La Patria, Manizales, 2015.01.5].

Lecturas complementarias

Sistema Bimodal Cafetero: ferrocarril y carretera para integrar la Región Andina.

Perfil de proyecto para un corredor bimodal transversal de unos 150 km, constituido por el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41 y la Transversal Cafetera de Caldas, además del nuevo Túnel Cumanday. Documento para el taller de lanzamiento de un Centro de Altos Estudios del Asia – Pacífico en la Universidad Libre de Pereira, del Lunes 28/07/2014.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1674/1/prospectiva-energetica.pdf>

Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano.

Las ciudades, que surgen cuando la especie humana se ha establecido para facilitar las actividades socioeconómicas propias de una economía compleja, han evolucionado. Con el descubrimiento de América, los desarrollos urbanos de los poblados precolombinos cambiaron por otros que parten del modelo castellano. Pero ya en el siglo XX, al pasar de la arriería a los ferrocarriles cafeteros, y luego al automóvil, la ciudad se deshumaniza al concederle el espacio al transporte motorizado y a la jungla de concreto. Dicho hábitat comporta el reto de enfrentar profundos desafíos, para resolver ese modelo urbano conflictivo, no sustentable.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/43092/1/gonzaloduqueescobar.201442.pdf>

Eje Cafetero: elementos para una visión prospectiva.

Las ciudades, que surgen cuando la especie humana se ha establecido para facilitar las actividades socioeconómicas propias de una economía compleja, han evolucionado. Con el descubrimiento de América, los desarrollos urbanos de los poblados precolombinos cambiaron por otros que parten del modelo castellano. Pero ya en el siglo XX, al pasar de la arriería a los ferrocarriles cafeteros, y luego al automóvil, la ciudad se deshumaniza al concederle el espacio al transporte motorizado y a la jungla de concreto. Hoy, dicho hábitat comporta el reto de tener que enfrentar profundos desafíos, para resolver ese modelo urbano conflictivo, no sustentable.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/10948/1/gonzaloduqueescobar.201336.pdf>

Medio ambiente, mercado y Estado.

Las grandes problemáticas de Colombia, más que responder a componentes técnicos y económicos, se relacionan con aspectos estructurales de naturaleza socioambiental. La fuerza del mercado frente a las falencias del Estado, como factores que explican las barreras para el desarrollo de la vacuna sintética contra la malaria en Colombia y la falta de control a las causas antrópicas del ecosidio de los chigüiros en el desierto de muerte del Casanare.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12360/1/gonzaloduqueescobar.201414.pdf>

Desarrollo energético y clima salvaje

No es viable quemar las actuales reservas de petróleo, gas y carbón sin afectar el clima de la Tierra. Urge descarbonizar la economía para reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para llevándolas a un nivel que impida las interferencias antrópicas en el clima global, que ponen en riesgo la adaptación natural de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico sostenible. Colombia, deberá replantear su política minero - energética relacionada con el carbón. Ver en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/46530/1/desarrolloenergeticoyclimasalvaje.pdf>

ENLACES TEMÁTICOS

ECONOMÍA GENERAL

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2744/1/gonzaloduqueescobar.20063.pdf>

MACROECONOMÍA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2745/1/gonzaloduqueescobar.20062.pdf>

MICROECONOMÍA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2747/1/gonzaloduqueescobar.20061.pdf>

PARTICIPACIÓN DE LA SOCIEDAD CIVIL EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1671/3/gonzaloduqueescobar.20091.pdf>

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CAMPOALEGRE: FASE PROSPECTIVA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1695/1/gonzaloduqueescobar.200811.pdf>

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL CUENCA DEL RÍO GUARINÓ: FASE PROSPECTIVA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1696/1/gonzaloduqueescobar.20099.pdf>

LEGALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA GUADUA EN LA ECORREGIÓN CAFETERA

<https://drive.google.com/file/d/0Bz0MIJ0BciGtNEVtbzq2al85QU0/view>

CONTROL Y VIGILANCIA FORESTAL EN LA REGIÓN PACÍFICA Y ANDINA

<https://drive.google.com/file/d/0Bz0MIJ0BciGteHN3VU1aUEInck/view>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2016

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Presentación

Contenido

[Cap01](#) Ciclo geológico
[Cap02](#) Materia y Energía
[Cap03](#) El sistema Solar
[Cap04](#) La Tierra sólida y fluida
[Cap05](#) Los minerales
[Cap06](#) Vulcanismo
[Cap07](#) Rocas ígneas
[Cap08](#) Intemperismo ó meteorización
[Cap09](#) Rocas sedimentarias
[Cap10](#) Tiempo geológico

[Cap11](#) Geología estructural
[Cap12](#) Macizo rocoso
[Cap13](#) Rocas Metamórficas
[Cap14](#) Montañas y teorías orogénicas
[Cap15](#) Sismos
[Cap16](#) Movimientos masales
[Cap17](#) Aguas superficiales
[Cap18](#) Aguas subterráneas
[Cap19](#) Glaciares y desiertos
[Cap20](#) Geomorfología
[Lecturas complementarias](#)
[Bibliografía](#)

Anexo 1: Agua y Clima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/54046/>

Anexo 2: Calentamiento global en Colombia

<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>

Anexo 3: Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9484/>

Anexo 4: Economía para el constructor

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1698/>

Anexo 5: Gestión del riesgo

<http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/>

Anexo 6: Geotecnia para el trópico andino

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

Anexo 7: La Luna

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/>

Anexo 8: ¿Para dónde va el Magdalena?

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51046/>

Anexo 9: Túnel Manizales

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>

Anexo 10: UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga

<http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/>

Anexo 11: Mecánica de los suelos

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>

[El Autor:](#) Gonzalo Duque-Escobar

HOME:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>