

## Rocas Sedimentarias

En Geología, se llaman **sedimentos**, o **rocas sedimentarias**, aquellos depósitos, o rocas, cuya formación se debe a la acción de agentes dinámicos externos; se les da también el nombre de rocas **exógenas**, por oposición a las **endógenas**, o rocas eruptivas. Las rocas sedimentarias son de origen secundario, es decir, que los materiales de que están compuestas provienen de la erosión de otras rocas preexistentes.

Las rocas sedimentarias son de gran importancia geológica porque cubren gran superficie de la corteza terrestre, y porque contienen carbón, petróleo, gas y otros minerales importantes, entre los cuales está el hierro, de origen sedimentario, que representa una fuente metálica muy valiosa. Además, el flujo continuo de partículas en suspensión en las aguas de los ríos que depositan en forma de sedimentos marinos nos proporciona un método de medida del tiempo geológico. Este método no es tan preciso como los de la salinidad del mar, u otro basado sobre la radiactividad, porque para la mayoría de las rocas sedimentarias es difícil determinar exactamente la rata de deposición.

En cuanto a su origen los sedimentos pueden dividirse en las siguientes clases:

**1º Sedimentos mecánicos:**

- a) Depósitos eólicos
- b) Aluviones
- c) Depósitos marinos
- d) Depósitos glaciares

**2º Sedimentos químicos.**

**3º Sedimentos orgánicos.**

Los **sedimentos mecánicos** son los que han sido derivados por el proceso de meteorización mecánica. El producto del ataque mecánico de las rocas por erosión se llama **detritus**; el cual puede ser acumulado en depósitos sedimentarios por varios agentes de transporte, como el agua, el viento, o el hielo. Estos sedimentos mecánicos pueden clasificarse según el tamaño de las partículas constituyentes en: rutites, arenites y ludites.

Los **Rutites** son sedimentos bastos, que consisten de **cascajo**, **guija** y **guijarros**, o sea partículas cuyos diámetros son respectivamente mayores de 2 mm. comprendidos entre 2 y 64 mm.; y entre 64 mm. y 254 mm. Los rutites consisten, a sus fuentes, de detritus irregulares, con ángulos prominentes, pero debido a la acción de la abrasión que sufren durante el transporte, estos rutites adquieren una forma esférica, cuando son contenidos por un material homogéneo, o una forma ovoide o disco delgado cuando son constituidos por rocas que tienen planos de clivaje o de foliación.

túan son: la oxidación e hidratación, como en el caso de la formación de la limonita; carbonatación como en el caso de la malaquita y azurita; solución y lixiviación de las calizas. Por acción química, se descomponen los feldespatos, dando origen a arcillas y kaolín de origen secundario. La erosión química de la ortoclasa es la siguiente:



La descomposición completa del feldespato requiere evidentemente una precipitación abundante y un clima caliente o temperado. Parte del dióxido de carbono necesario para la reacción proviene del aire, parte de la descomposición de plantas. El carbonato de potasio es en parte lixiviado, y en parte aprovechado por las plantas si la arcilla se convierte en suelo. Las arcillas también pueden ser formadas por descomposición de amfíboles, piroxenos y otros silicatos aluminicos. Cuando el mineral que se descompone contiene hierro se forma comúnmente limonita dando a la limonita un color amarillo.

Los **sedimentos orgánicos** son originados por acción de organismos sobre soluciones de rocas. Los sedimentos orgánicos pueden dividirse en dos grupos, el primero consiste sobre todo de las partes inorgánicas del esqueleto de los organismos, y forman rocas carbonatadas, silíceas o fosfóricas; el segundo consiste sobre todo de mineral orgánico como carbón y petróleo. Son de especial importancia en todas las formaciones geológicas, los sedimentos calcáreos que forman las calizas zoogénicas, derivadas de restos de animales. Los restos de ciertos animales llamados planktones que secretan sustancias calcáreas, mezclados con sedimentos mecánicos, forman depósitos en diferentes zonas del mar. Entre los principales lodos orgánicos que se encuentran en la profundidad del mar merecen citarse los lodos foraminíferos formados por las conchas de animales compuestas de una sola célula que flotan en grandes cantidades cerca de la superficie de los mares calientes; los lodos radiolarios, formados por otro grupo de organismos microscópicos; en fin los lodos diatomos formados por la acumulación de los restos de plantas microscópicas, que también secretan diminutas conchas de sílice. Los arrecifes coralarios que se forman alrededor de las islas tropicales en mares poco profundos nos brindan otro ejemplo de sedimentación orgánica.

De lo expuesto anteriormente resulta que el fenómeno de sedimentación puede ser considerado como una precipitación mecánica o química, de partículas sólidas al fondo de las aguas. Las rocas sedimentarias difieren de los sedimentos por un sinnúmero de caracteres que resultan de las transformaciones posteriores a la sedimentación, debidas a acciones dinámicas internas o externas sobre los sedimentos. Los sedimentos recién depositados son generalmente sueltos, incoherentes y porosos. Pueden convertirse en rocas mediante la unión de estos granos que puede verificarse por compactación o por cementación, o por cambios físicos y químicos en los constituyentes. La consolidación o litificación de sedimentos en roca por compactación es muy característica en los sedimentos arcillosos. A medida que se depositan los sedimentos aumenta el espesor y los estratos superiores efectúan una presión considerable sobre los inferiores. Por esta razón se produce una reducción de volumen considerable, que no ocurre con tanto vigor con las arenas, pero los granos individuales son juntados, en íntimo contacto de tal manera que la fuerza atractiva molecular produce la cohesión, y la roca se forma. Otro procedimiento de conversión de sedimentos en rocas es el endurecimiento de sedimentos de hábito coloidal; mediante esta coagulación que es función del tiempo, pueden formarse ópalos, que después

túan son: la oxidación e hidratación, como en el caso de la formación de la limonita; carbonatación como en el caso de la malaquita y azurita; solución y lixiviación de las calizas. Por acción química, se descomponen los feldespatos, dando origen a arcillas y kaolín de origen secundario. La erosión química de la ortoclasa es la siguiente:



La descomposición completa del feldespato requiere evidentemente una precipitación abundante y un clima caliente o temperado. Parte del dióxido de carbono necesario para la reacción proviene del aire, parte de la descomposición de plantas. El carbonato de potasio es en parte lixiviado, y en parte aprovechado por las plantas si la arcilla se convierte en suelo. Las arcillas también pueden ser formadas por descomposición de amfíboles, piroxenos y otros silicatos aluminicos. Cuando el mineral que se descompone contiene hierro se forma comúnmente limonita dando a la limonita un color amarillo.

Los **sedimentos orgánicos** son originados por acción de organismos sobre soluciones de rocas. Los sedimentos orgánicos pueden dividirse en dos grupos, el primero consiste sobre todo de las partes inorgánicas del esqueleto de los organismos, y forman rocas carbonatadas, silíceas o fosfóricas; el segundo consiste sobre todo de mineral orgánico como carbón y petróleo. Son de especial importancia en todas las formaciones geológicas, los sedimentos calcáreos que forman las calizas zoogénicas, derivadas de restos de animales. Los restos de ciertos animales llamados planktones que secretan sustancias calcáreas, mezclados con sedimentos mecánicos, forman depósitos en diferentes zonas del mar. Entre los principales lodos orgánicos que se encuentran en la profundidad del mar merecen citarse los lodos foraminíferos formados por las conchas de animales compuestas de una sola célula que flotan en grandes cantidades cerca de la superficie de los mares calientes; los lodos radiolarios, formados por otro grupo de organismos microscópicos; en fin los lodos diatomos formados por la acumulación de los restos de plantas microscópicas, que también secretan diminutas conchas de sílice. Los arrecifes coralarios que se forman alrededor de las islas tropicales en mares poco profundos nos brindan otro ejemplo de sedimentación orgánica.

De lo expuesto anteriormente resulta que el fenómeno de sedimentación puede ser considerado como una precipitación mecánica o química, de partículas sólidas al fondo de las aguas. Las rocas sedimentarias difieren de los sedimentos por un sinnúmero de caracteres que resultan de las transformaciones posteriores a la sedimentación, debidas a acciones dinámicas internas o externas sobre los sedimentos. Los sedimentos recién depositados son generalmente sueltos, incoherentes y porosos. Pueden convertirse en rocas mediante la unión de estos granos que puede verificarse por compactación o por cementación, o por cambios físicos y químicos en los constituyentes. La consolidación o litificación de sedimentos en roca por compactación es muy característica en los sedimentos arcillosos. A medida que se depositan los sedimentos aumenta el espesor y los estratos superiores efectúan una presión considerable sobre los inferiores. Por esta razón se produce una reducción de volumen considerable, que no ocurre con tanto vigor con las arenas, pero los granos individuales son juntados, en íntimo contacto de tal manera que la fuerza atractiva molecular produce la cohesión, y la roca se forma. Otro procedimiento de conversión de sedimentos en rocas es el endurecimiento de sedimentos de hábito coloidal; mediante esta coagulación que es función del tiempo, pueden formarse ópalos, que después

pueden cristalizar en calcedonia. También los espacios entre los granos de los sedimentos pueden rellenarse con calcita, sílice, óxido de hierro, formando una roca cementada.

Las rocas sedimentarias pueden dividirse según la naturaleza de sus elementos constitutivos en

- (Rocas arenáceas.)
- (Rocas arcillosas.)
- (Rocas calcáreas.)
- (Rocas piroclásticas.)

Las **rocas arenáceas** son de naturaleza fragmentaria, y generalmente compuestas de dos elementos: un elemento alotígeno y un elemento autígeno. El elemento alotígeno está compuesto por elementos distintos a los que se hallan en el mismo sitio que la roca sedimentaria. Este elemento alotígeno ha sido arrastrado por las corrientes desde otro lugar, y generalmente es formado de cuarzo. El elemento autígeno es el que se halla *in situ* y que actúa como cemento; cuando este falta, el aluvión se llama arena. Los elementos alotígenos pueden ser cuarzo, mica, zircón, rutilo, granate, turmalina, etc., los autígenos pueden ser la sílice, las cales, el óxido de hierro.

Las **rocas arcillosas**: son las que provienen de la desintegración de feldespatos y otros silicatos aluminícos. Se llama también arcillolita, o sapolita. Cuando la roca es plástica, no tiene laminación y es húmeda, se llama arcilla, cuando ha sufrido un transporte largo, y es un silicato de aluminio pero con un álcali, se llama kaolín, y si en el transporte incluyó elementos calcáreos, arena, óxido de hierro etc., se llama marga. Las rocas arcillosas suelen contener inclusiones de otros minerales como limonita, feldespato, cuarzo, pirita, etc.

Las **rocas calcáreas** son las que son generalmente compuestas de carbonato de calcio, carbonato de hierro o de magnesio. Las rocas calcáreas son compuestas de dos tipos principales, a saber: 1º) de los compuestos predominantemente de partes duras de organismos, como por ejemplo la caliza foraminífera con la cual han sido edificadas las pirámides de Egipto; 2º) de los de grano muy fino y homogéneo que son el resultado de una precipitación inorgánica (evaporación o aumento de temperatura), o de una precipitación bioquímica. En las rocas calcáreas de origen orgánico se encuentran restos de animales y vegetales como algas, corales, crustáceos, foraminíferos, etc. Las rocas calcáreas inorgánicas se dividen en dos grupos: las **oolíticas** y las **pisolíticas**; las primeras son formadas de granos muy finos compuestos de capas concéntricas; las segundas son compuestas de granos muy grandes.

Las **rocas piroclásticas** son las rocas fragmentarias formadas por elementos emitidos por los volcanes, en oposición a las **clásicas** que son las producidas por la meteorización y erosión de rocas antiguas. El material fragmentario que ha sido expulsado al aire por un volcán se llama material piroclástico. Se dividen según su tamaño en cenizas volcánicas, lapilli y bombas volcánicas. Las bombas y lapilli caen cerca del cráter, y forman un cono volcánico, mientras que las cenizas finas son transportadas por los vientos dominantes a centenares de millas y diseminados sobre una gran área. Estas cenizas destruyen la vegetación y perjudican la vida animal, pero el suelo que forman es sumamente fértil. Las tufas volcánicas son aglomeradas de ceniza volcánica con alguna consistencia y las brechas están constituidas por fragmentos de rocas vítreas. Algunos autores consideran estas rocas como ígneas, por provenir de actividad volcánica, sin embargo están constituidas de fragmentos que se acumulan se-

gún las leyes de la sedimentación y entonces pueden considerarse como sedimentos.

Las principales características de las rocas sedimentarias son:

- (1º) estratificación
- (2º) la presencia de fósiles
- (3º) las grietas de fango
- (4º) las ondulaciones
- (5º) la estratificación cruzada
- (6º) las concreciones
- (7º) el color

Una de las características principales de las rocas sedimentarias es la **estratificación**, la disposición en estratos, o capas superpuestas que indican cierta periodicidad del depósito. Esta característica no es de ningún modo absoluta, porque existen rocas sedimentarias macizas, que no presentan, en grandes espesores, ninguna traza de estratificación y además existen rocas endógenas de aspecto estratificado. La estratificación proviene generalmente de la disminución de velocidad del agente transportador. La estratificación causada por cambios de velocidad de las corrientes, da lugar a estratos en los cuales los granos detritales están arreglados según el tamaño de las partículas, pero las capas sucesivas difieren muy poco por su composición. Algunas rocas sedimentarias muestran una alternación regular de material de dos clases, dando lugar a las rocas bandadas. Estas características sugieren la influencia de un ciclo, o deposición rítmica, que puede ser causado por flujo y reflujo de la marea, sucesión de los inviernos y veranos.

Las rocas sedimentarias incluyen a menudo **fósiles**, mientras que las de origen interno no los contienen casi nunca.—Los fósiles son constituidos por los restos de plantas y organismos sepultados en la acumulación de los sedimentos. Pocos organismos permanecen enteros en las rocas; solamente las partes duras pueden formar parte de ella. Estas partes pueden permanecer en su forma primitiva, o también pueden ser disueltas y sus constituyentes pueden ser sustituidos por un material nuevo, en una forma tal que los detalles y las estructuras primitivas sean preservados. También las conchas pueden ser destruidas totalmente, dejando la huella o molde en la roca, formando un molde natural, que posteriormente puede llenarse con otro mineral formando vacíos naturales. En las cenizas volcánicas se encuentran a veces huellas de vegetales o animales aniquilados por la erupción.

En las llanuras de inundación, las partes interiores de los grandes deltas, en las orillas planas de lagos que se retiran o que desaparecen en las estaciones secas, se forman en el suelo unas grietas poligonales, llamadas **grietas de fango** que son características de las rocas sedimentarias. Estas grietas se forman por la exposición al sol y al aire de los sedimentos lodosos y arcillosos.

Las llamadas **ondulaciones** tienen lugar al fondo de las corrientes que arrasan sedimentos, resultando una superficie surcada con protuberancias paralelas.

La **estratificación cruzada** es característica de ciertos depósitos sedimentarios y está constituida por capas inclinadas con respecto a los planos generales de estratificación, y se produce donde los sedimentos en movimiento están arrojados sobre un depósito en estado de crecimiento. Esto ocurre en los deltas, las barras costaneras y las dunas.

La presencia de **concreciones** es igualmente característica de las rocas se-

dimentarias. En las rocas porosas, que incluyen sustancias solubles, estas sustancias se concentran en nódulos esféricos, elipsoidales o botroideos. La formación de estos nódulos ha debido ocurrir partiendo de un punto central, que es algunas veces un cuerpo inorgánico, pero que es lo más a menudo un organismo, una concha, o el cuerpo de un crustáceo. Las concreciones calcáreas son frecuentes en medio de sedimentos arcillosos, en particular en margas. Cuando las concreciones son huecas y el interior está forrado de cristales se llaman geodas.

El color de las rocas sedimentarias es determinado por el color del mineral predominante del cual están compuestos, y por la distribución de los pigmentos. El carbón y el hierro son los principales pigmentos. Las rocas que contienen materias carbonáceas tienen un color gris oscuro hasta negro; generalmente más oscuro al interior que sobre la superficie. Este pigmento proviene generalmente de materias orgánicas sepultadas en los sedimentos. Los compuestos de hierro dan a las rocas sedimentarias todos los matices de rojo, amarillo y rosado.

El fenómeno de sedimentación, no solamente tiene como resultado la formación de rocas sedimentarias, sino también la formación de depósitos de minerales valiosos de hierro, manganeso, cobre, fosfatos, carbonatos, calizas, arcillas, tierras diatomáceas, tierra de batán, azufre, uranio, vanadio, tiza, mármol, dolomita, yeso, pedernal y en fin, carbón y petróleo. La formación de un depósito sedimentario comprende cuatro etapas:

- (1<sup>a</sup>) una fuente adecuada del material.
- (2<sup>a</sup>) acumulación del material por solución u otro procedimiento.
- (3<sup>a</sup>) transporte del material al lugar de acumulación, si es necesario.
- (4<sup>a</sup>) precipitación de la materia en la cuenca sedimentaria.

**Minerales de hierro.**—El hierro que entra en los depósitos de hierro sedimentario, proviene, sobre todo, de la erosión de rocas superficiales, de rocas ígneas, como la hornblenda, el piroxeno, o las micas; de rocas sedimentarias o metamórficas ricas en hierro; y de la materia colorante de ciertas rocas sedimentarias. Cuando es hierro ferroso, la solución principia al mismo tiempo que la erosión de la roca madre, cuando es férrico debe reducirse primero a ferroso mediante materias orgánicas. Los solventes naturales del hierro son: las aguas carbonatadas, los ácidos orgánicos, y las soluciones sulfúricas. Las aguas carbonatadas disuelven el hierro como bicarbonato. Los ácidos orgánicos que provienen de la descomposición de las plantas y las soluciones sulfúricas son buenos solventes. El mineral en solución acuosa es transportado por las corrientes o por las aguas subterráneas. El hierro permanecerá en solución hasta que sufra un cambio químico o físico apreciable; como por ejemplo la disminución del CO<sub>2</sub> de la solución; la evaporación de la solución estacionada en una determinada cuenca; o el paso a través de una caliza donde el hierro se deposita como carbonato u óxido. El bicarbonato de hierro puede precipitarse como ya se ha dicho, por pérdida de CO<sub>2</sub> dando óxido férrico o siderita; por oxidación e hidrólisis, dando limonita; por acción de la bacteria de hierro, dando óxido férrico; por reemplazo de las conchas marinas, dando hematita fósil. El sulfato de hierro puede depositarse por reacción con el CaCO<sub>3</sub> en presencia de oxígeno para dar óxido férrico; en presencia de materias orgánicas para dar siderita; por hidrólisis u oxidación dando óxido férrico; por reacción con silicatos dando un silicato ferroso hidratado de color verde. El hierro en solución orgánica puede precipitar por oxidación del carbonato ferroso a

óxido férrico; por acción de las bacterias o plantas, por hidrólisis o por reacción con álcalis. De una manera general el hierro precipita como siderita, goetita, limonita o hematita. Los depósitos sedimentarios de hierro se forman tanto en agua dulce como en aguas marinas. Estos depósitos pueden tener lugar en lagos y pantanos, resultando pequeños depósitos locales. El hierro es depositado como hidróxido o carbonato ferroso que pasa fácilmente a óxido férrico. Es generalmente impuro y contiene alrededor de 45% de Fe. Los depósitos también pueden ocurrir en cuencas pantanosas y depresiones de peniplanos. Grandes cantidades de silicato de hierro hidratado se han depositado en mares abiertos.

Los más grandes depósitos sedimentarios de hierro que existen son los de las lagunas marinas y mares epeiricos. Las mejores condiciones para la formación de tal depósito son las representadas por un río perezoso, que viene de una región fuertemente erodada, con unos gradientes demasiado pequeños para permitir que una cantidad abundante de material fuera transportado. En estas condiciones solamente una pequeña cantidad de sedimento se acumula con el mineral. Se ha ensayado la explotación comercial de estos depósitos. El carbonato se encuentra en EE. UU., en Inglaterra y Escocia, el silicato en Suiza, Rusia y África del Sur; yacimientos del tipo de óxidos marinos se hallan en Lorena, Luxemburgo y en Rusia (Kursh) y en el Brasil.

El ciclo del **Manganoso** sedimentario es muy parecido al del hierro. Estos dos metales tienen la misma fuente, se disuelven de una manera semejante, son transportados juntos en compuestos similares y son depositados como carbonatos y óxido por los mismos agentes. Depósitos sedimentarios de manganeso se encuentran en Estados Unidos, Bélgica y Rusia, Georgia y Ucrania.

Los **fosfatos sedimentarios** provienen de la erosión de la apatita y colofanita, son solubilizados en aguas carbonatadas en ausencia de  $\text{CaCO}_3$ , y el fosfato de calcio precipita en presencia del carbonato de calcio. Grandes depósitos de fosfatos sedimentarios se han formado en Marruecos y Túnez.

El **Azufre** nativo puede ocurrir en depósitos ígneo y sedimentarios. El azufre sedimentario es derivado de rocas sulfatadas y ácido sulfídrico de las emanaciones volcánicas. Los sulfatos son reducidos por bacterias a sulfuro de hidrógeno, el cual a su vez se oxida en azufre y agua. Importantes depósitos de azufre sedimentario ocurren en Kuibyshev Rusia, y Sicilia, donde los depósitos consisten en cuencas aisladas de 5 millas de largo por  $\frac{1}{2}$  milla de ancho, y alcanza hasta 200 pies de profundidad. El azufre está diseminado en caliza y ocurre también en banda de azufre puro de 1 pulgada de espesor. Otros depósitos de azufre son los de Rumania, Croacia y Silesia.

La **caliza** y la **dolomita** son rocas sedimentarias que ocurren tanto en aguas marinas como en aguas dulces. El calcio proviene de la erosión de rocas calcáreas y es transportado a las cuencas sedimentarias como bicarbonato, carbonato, y sulfato. El carbonato de calcio es precipitado por fenómenos orgánico e inorgánicos. El  $\text{CO}_2$  desempeña un papel importante en el proceso inorgánico, el cual depende de la temperatura del agua y de la cantidad de aire que están en equilibrio en esta agua. La evaporación en los lagos da lugar a las tufas. La deposición orgánica es llevada a cabo por algas, bacterias, corales, foraminíferos, etc. Las calizas pueden ser formadas mecánicamente por deposición continua de conchas coralíferas, que cementan en caliza compacta. Ciertas calizas impuras son utilizadas para la fabricación del cemento hidráulico. Para la manu-

factura del cemento portland se necesita una caliza que contenga 70-80% de  $\text{CaCO}_3$ ; 20-30% material arcilloso.

La tiza también es de origen sedimentario y consiste de un precipitado químico de  $\text{CaSO}_3$  y de diminutas conchas de foraminíferos y otros organismos. La tiza se forma generalmente en aguas poco profundas.

La Dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaCO}_3$ : 54. 35%;  $\text{MgCO}_3$ : 45. 65%) pero en las calizas dolomíticas el porcentaje de  $\text{MgCO}_3$  es mucho menor. Las llamadas dolomitas, son generalmente calizas dolomíticas. Parte de magnesio puede ser reemplazado por Fe, o Manganese, dando una mezcla de tres carbonatos, isómorfos dentro de ciertos límites.

La Magnesita es otro mineral sedimentario importante, que ocurre asociado con yeso y caliza, y es compuesto de carbonato de magnesio. Parece haber sido depositado por precipitación química seguida de deshidratación. Probablemente el Mg fue transportado como sulfato por las aguas subterráneas y reaccionó con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , para dar hidromagnesita y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  soluble. Depósitos de magnesita se encuentran en EE. UU. y Alemania.

La tierra diatomácea, es un mineral sedimentario que consiste de diátomas y otros organismos que secretan sílice. La tierra diatomácea se parece a la tiza o a la arcilla, pero consiste sobre todo de sílice, agua y pequeñas cantidades de Aluminio y álcalis. Ocurre interstratificada con sedimentos marinos y de agua dulce, en el fondo de lagos y pantanos. Los estratos de tierra diatomácea tienen generalmente un espesor de unas pocas pulgadas hasta unos pies. Los restos de los diátomas han sido acumulados cuando la deposición de otros sedimentos era suspendida temporalmente. Se cree que la sílice ha sido extraída por plantas microscópicas de silicatos como arcillas en suspensión en el agua.

En las rocas sedimentarias se encuentran grandes reservas de combustibles. Las principales fuentes de energía utilizable son, el carbón, el petróleo, los gases naturales, el agua, la madera y las radiaciones solares. Las tres primeras son las más importantes, y la tres ocurren en rocas sedimentarias. Actualmente la principal fuente de energía es el carbón, que suministra aproximadamente un 70% a pesar del desplazamiento parcial que éste ha sufrido por la competencia del petróleo. Los principales productores de carbón son: Alemania con el 25% de la producción mundial, los Estados Unidos con el 24%, Gran Bretaña con el 14%; Rusia con el 6% y Francia con el 3% (Antes de la guerra, según Bateman).

El carbón es de origen vegetal, y más de 3.000 especies de plantas han sido identificadas en los estratos carboníferos. El análisis microscópico revela que la materia prima de los carbones estratificados fue una vegetación vascular de los pantanos. Las raíces y cepas encontradas en arcillas debajo de los estratos carboníferos prueba que la vegetación creció y se acumuló in situ. En la época carbonífera creció una vegetación lusuriante con árboles gigantes como Lipidodendrón cuyo tronco tenía un diámetro de 4 a 6 pies y su altura podía alcanzar 100 pies. Algunos cordaites tenían una altura de 120 pies y un diámetro de 3 pies. Este último parece ser uno de los que más ha contribuido a la formación del carbón paleozoico.

El cambio de los restos de las plantas al carbón envuelve varios procesos bioquímicos y dinamoquímicos. Cuando un árbol cae sobre un terreno seco, se descompone en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  sin formar carbón. Lo cual parece indicar que el clima húmedo y caliente del período carbonífero favoreció la transformación completa de la planta al carbón. Cuando un árbol cae en el agua, su descompo-

sición es más lenta que en el aire, pero la presencia de bacterias suspende la descomposición antes de la destrucción total. La acción bioquímica libera oxígeno e hidrógeno y concentra el carbón.

Según las etapas de formación, se obtiene turba, lignito, carbón bituminoso y antracita. La **turba** es una acumulación de plantas parcialmente descompuestas, que representa la primera etapa en la formación de los carbones. El **lignito** o carbón pardo, representa la segunda etapa. Es café negruzco, y es compuesto de materia leñosa mezclada con materia vegetal descompuesta. Contiene gran cantidad de agua, y se descompone después de secarse al aire. No tiene importancia económica. En Alemania se usa para la producción de petróleo sintético. Los **carbonos bituminosos y subbituminosos** son densos, negros y quebradizos, se rompen fácilmente en bloques prismáticos y cúbicos y no se desintegran al aire. El origen vegetal no se ve ordinariamente al ojo. Tiene entre 68 y 86% de carbón fijo, de 14 a 31% de materias volátiles. Quema fácilmente con una llama amarilla y humeante. Es uno de los carbonos más utilizados y sirve para máquinas de vapor, y fabricación del gas pobre. La **antracita** es muy negra con una gran lustre, quebradiza y se rompe con fractura conchoidal. Quema lentamente y sin humos, con una llama azul y corta. Contiene entre 86 y 98% de carbón fijo y entre 2 y 14% de materiales volátiles.

La mayor parte del **petróleo** se halla en rocas sedimentarias raras veces se encuentran adyacente a rocas ígneas. Las rocas que contienen los depósitos comerciales son arenas, areniscas, conglomeradas, calizas y dolomitas porosas. El petróleo se ha formado en muchas edades geológicas, pero el período más propílico es el terciario.

Existen varias teorías acerca de la formación de petróleos. Las teorías inorgánicas de origen volcánico han sido en gran parte abandonadas. Se admite que los materiales orgánicos sepultados en los lodos marinos sufrieron cambios hasta producir los hidrocarburos naturales, y que estos se movieron a través de rocas porosas para formar los depósitos comerciales. Se considera pues, que el origen del petróleo está en la descomposición lenta y libre de oxígeno, de plantas y organismos animales.

La acumulación del petróleo no tiene lugar sino en rocas porosas y permeables, como arenas y areniscas, y calizas. Mientras mayor sea la porosidad del suelo, mayor será el depósito de petróleo. La migración del petróleo en los estratos sedimentarios inclinados continúa hasta que escape a la superficie o sea detenida por alguna estructura para formar el depósito. La estructura más común es la del anticlino o del domo, donde la migración del petróleo termina al alcanzar la parte superior del domo.

Las **formaciones sedimentarias de Colombia** pueden clasificarse desde el punto de vista petrográfico así:

	Cretáceo	Piso de Girón Piso de Villeta Piso de Guadalupe
ROCAS SEDIMENTARIAS	Cretaterciario o terciario inferior.	Piso de Guaduas Piso de Barzalosa Piso de Gualanday
	Terciario Cuaternario	Piso de Honda El Carare La Goajira

Las líneas que siguen a continuación sobre los terrenos sedimentarios en Colombia son tomadas del estudio del Geólogo Colombiano Ricardo Lleras Codazzi, titulado "Regiones Geológicas de Colombia", publicado en el N° 14 del Tomo IV de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Citaré luego un resumen sobre las mismas rocas en Antioquia tomado de un trabajo del Dr. Roberto Sheibe, publicado en el Tomo I de la Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia del Ministerio de Minas y Petróleos.

**TERRENO CRETACEO.**—La delimitación de los diferentes pisos es fácil de verificar, no solamente por el carácter litológico de las capas, sino por la abundancia de fósiles. Sus estratos están a veces doblados, pero estos dobleces, tanto sinclinales como anticlinales, son de difícil apreciación en el terreno por el inmenso trabajo de erosión verificado por las aguas; en cambio las fallas son muy visibles y de dimensiones colosales.

Algunas rocas eruptivas atraviesan las capas (Chita, los Farallones de Medina, Ariari, etc.), pero ocupan áreas muy pequeñas comparadas con la gran masa estratificada.

La subdivisión de este terreno, según los geólogos alemanes, es como sigue:  
Superior: Piso de Guadalupe.

Medio: Piso de Villeta.

Inferior: Piso de Girón.

Cada uno de estos pisos está constituido por diferentes capas, muy bien caracterizadas por sus fósiles; estas capas, enumeradas de arriba a abajo, son:

**Piso de Guadalupe:** Arenisca con pectens.

Arenisca de labor compacta, uniforme, con algunos lechos intercalados de arenisca pintada ("Tigersandstein").

Arenisca cúbica muy silícea ("Quadersandstein").

Esquistos silíceos en placas ("Plaenersandstein"), a veces son fósiles, principalmente inoceramus y foraminíferos.

Lechos alternados de arcilla hojosa gris y arenisca negra azulosa de cemento silíceo.

Pizarra tierna de foraminíferos, calcárea blanca con numerosos fósiles, principalmente exogirias, grífeas, trigonias y amonitas.

**Piso de Villeta:** Pizarras grises tiernas, cruzadas por vénulas de limonita que le dan aspecto de septarias.

Pizarras negras bituminosas, con venas de calcita y capas delgadas de pirita; los fósiles de estas pizarras son principalmente amonitas y trigonias. Calcárea negra de amonitas.

**Piso de Girón:** Conglomerado de grandes elementos, en el cual se destacan gruesos cantos rodados de cuarcita.

Este terreno cubre una área considerable en el país: se presenta con unos mismos caracteres en el Cauca, Antioquia y Tolima y adquiere un desarrollo enorme en la Cordillera Oriental. El piso de Guadalupe predomina en las partes altas; el de Villeta en las bajas y el de Girón sólo se presenta en muy pocas localidades; sin embargo, a causa de los numerosos pliegues y de las dislocaciones verdaderamente gigantescas que presenta, se puede ver el piso de Guadalupe a un nivel relativamente bajo, como al occidente de Cundinamarca, y el de Villeta a la altura de las altiplanicies, como en Ubaté y Zipaquirá. La inclinación de los estratos varía muchísimo, lo mismo que su rumbo lo cual depende de los diversos accidentes tectónicos apuntados; el estudio de este terreno, desde ese

punto de vista, no se ha hecho hasta hoy sino para localidades muy circunscritas a causa de las dificultades que ofrece.

Esta formación principia a diseñarse bastante al sur de Cali y se extiende en una zona relativamente angosta a un lado y otro del río Cauca, para entrar en el territorio antioqueño por las regiones de Supía, Caramanta y Titiribí; en esta parte sufre muchas dislocaciones y transformaciones por la influencia de las rocas eruptivas, pero, a pesar de las interrupciones, puede seguirse por Amagá, Heliconia, Ebéjico, Sopetrán, Liborina, Cáceres, Sucre y Zaragoza.

En la Cordillera Oriental cubre una vasta extensión comprendida entre la margen derecha del río Magdalena y el borde oriental de las altiplanicies y páramos de Cundinamarca y Boyacá, borde en el cual principia la zona precretácea; pero hacia el oriente de esta zona, contra los llanos de Casanare y San Martín, vuelve a aparecer este terreno con sus pisos característicos. En el sentido S. N. su extensión es enorme, porque va desde el sur del Tolima hasta el páramo del Almorzadero, donde principian las formaciones cristalinas ya mencionadas. Al N. de la mesa de Ocaña vuelve a definirse este terreno y forma la elevación lineal que, con los nombres de Sierra de Motilones y Perijá, va a terminar en la Guajira.

Fuera del sistema andino se presenta esta formación también en la cordillera de Baudó y en algunos sitios de la cuenca del Chocó.

Desde el punto de vista de la minería tiene este terreno bastante importancia: el piso de Guadalupe suministra a la industria arcillas, margas, calcáreas y piedras de aparejo y en el de Villeta se encuentran localizadas las salinas, las minas de esmeraldas y algunos filones de cobre.

(5) TERRENO CRETATERCIARIO.—Este terreno está colocado sobre el anterior en estratificación discordante; los pisos que lo constituyen son también discordantes entre sí y presentan a veces notables transgresiones. Estos pisos, enumerados de arriba a abajo, son:

Superior: Piso de Gualanday.

Medio: Piso de Barzalosa.

Inferior: Piso de Guaduas.

Las capas de estos pisos, enumeradas también de arriba a abajo, son:

**Piso de Gualanday:** Arcilla gris hojosa con delgadas capas de un liñito terroso, a veces compacto, casi siempre con piritas.

Arenisca tierna gris verdosa con granos redondos de sílice negra.

Capas de conglomerado, compuesto de guijarros relativamente gruesos de sílex cárneo y cuarzo lechoso, que alternan con una arenisca margosa, tierna, con manchas rojas.

Arenisca blanca o amarilla de grano fino.

Arenisca roja.

Arcilla roja o violácea.

**Piso de Barzalosa.**—Arcilla roja.

Arenisca tierna gris, de grano fino en la parte superior y de guijarros redondos de cuarzo blanco y negro en la parte inferior (varias capas que alternan con arcilla roja).

Arenisca roja.

Litomargas amarillas en grandes bolas.

Arcilla con esquisto papiráceo impregnado de materias orgánicas. Septarias calcáreas en grandes lentejas que tienden a formar una capa.

Arenisca tierna, esquistosa en la parte superior y compacta en la inferior.

Una capa no muy gruesa de una arenisca muy ferruginosa.

Arcilla gris, azulosa, con vénulas de yeso.

Capas alternadas de un conglomerado compuesto de fragmentos de esquisto silíceo (Plaener) y de una arenisca tierna, blanca, de grano fino, también de silíceo.

**Piso de Guaduas:** (en la región de Tocaima) Capas de areniscas blancas o rojizas, de grano variado, separadas por arcillas rojas.

Capas de areniscas ferruginosa de grano grueso, algunas de las cuales contienen guijarros redondos de cuarzo.

Areniscas de colores claros, de grano fino, con restos carbonizados de plantas ("Haecksel").

Arcilla gris esquistosa con capas de carbón.

Capas de arenisca ferruginosa, de grano grueso, guijarros cuarzosos.

Arcillas grises con infiltraciones de limonita.

**Piso de Guaduas** (en las partes altas de la cordillera como Zipaquirá, Nemocón, etc.) Pizarras negras.

Areniscas.

Arcillas esquistosas rojas y grises con muchas capas de arenisca intercaladas.

Areniscas de grano grueso.

Esquistos negros con capas de carbón.

Arcillas grises con areniscas.

Arcillas con vetas de carbón.

Arenisca de grano grueso.

Arenisca de grano fino.

Arenisca de grano muy grueso.

Pizarras grises y negras.

El piso de Guaduas en Antioquia ocupa algunas regiones circunscritas, como una extensión considerable al sur de Cali. Fuera de estas localidades se presenta también en el golfo de Urabá y otros parajes de la costa. Por sus riquezas minerales, el terreno que estamos estudiando tiene alguna significación: el piso de Gualanday suministra una arenisca utilizable como balasto en las vías férreas y como piedra de labor en trabajos ordinarios; el piso de Barzalosa con tiene numerosas vetas de yeso que actualmente están en explotación, y el piso de Guaduas suministra todo el carbón mineral que se consume en el país.

**TERRENO TERCIARIO (6):** Este terreno está caracterizado por la abundancia de fósiles marinos, entre los cuales predominan los pectens, cardiums, y turritelas. Las capas que lo constituyen son, de arriba a abajo:

Costras delgadas de arenisca ferruginosa.

Pizarras grises con láminas de yeso.

Arenisca tierna micácea.

Bancos gruesos de calcárea de fósiles.

Predomina este terreno en la Guajira, principalmente en la costa oriental; sus estratos horizontales están en estratificación discordante con los del piso de Guadalupe, que constituyen las diversas serranías del centro de la península.

En cuanto a minerales útiles sólo pueden mencionarse el yeso y el fosfato de cal, que se encuentra en pequeñas cantidades en las calcáreas de la costa oriental.

**TERRENO CUATERNARIO.**—Este terreno reposa horizontalmente o con ligeras ondulaciones, sobre los anteriormente descritos; en las distintas localidades se presenta con distintos caracteres, a causa de la diversidad de materiales de que está compuesto.

En las regiones de Antioquia en donde se presenta este terreno, lo mismo que en las Sabanas Bolívar, abundan las gravas, las arcillas y las arenas, que en muchas partes forman aluviones uríferos bastante ricos.

En el centro del Valle del Cauca y en la región del Chocó la formación cuaternaria es parecida a la de Antioquia.

En las altiplanicies del Sur, como Pasto, Túquerres etc., el terreno está compuesto principalmente de cenizas volcánicas.

**CARBONERAS:** Dondequiera que afloran los estratos del piso de Guaduas se han encontrado minas de carbón, pero las que se han explotado activamente y se han explorado lo bastante para juzgar de su riqueza, son las que están situadas en los dos bordes de la altiplanicie, por estar más próximas a los centros de consumo. Las capas de carbón llevan la dirección de los estratos, de suerte que son horizontales en Tequendama y Zipacón y muy inclinadas en las inmediaciones de Bogotá; muy frecuentemente forman artesas geológicas (sinclinales), como en San Jorge y el Llano de las Animas, cerca de Zipaquirá, o bien galápagos o anticlinales, como entre Pubenza y La Virginia. Su espesor es variable pero puede contarse con un promedio de un metro; rara vez presentan pliegues estrechos, pero sí son frecuentes las fallas y dislocaciones.

La capa está generalmente comprendida entre dos respaldos de una arcilla gris, hojosa y muy plástica, y éstos a su vez van comprendidos entre lechos de areniscas propias del terreno. En el Cretáceo propiamente dicho no se ha encontrado carbón sino únicamente algunos delgados lechos de antracita de mala calidad en las pizarras del piso de Villeta. También en Muzo y otras regiones análogas se han encontrado brechas de fragmento de antracita aglutinados por calcita diáfana o ligeramente teñida de verde.

#### Carbón de Tequendama:

Carbón fijo .....	70
Cenizas .....	9
	—
	79
Coke .....	79
Materiales volátiles.....	20
Humedad .....	1
	—
	100

Fuera del carbón mineral hay, en algunas localidades próximas a las carboneras, pequeños yacimientos de betún que no se han explorado lo bastante para dar un concepto sobre ellos, también suelen encontrarse areniscas y arcillas impregnadas de este mineral.

#### Piso de Guadalupe — Mineral de Evaporación en rocas sedimentarias.

**SALINAS:** Las minas de sal-gema que abastecen el consumo de la parte más poblada del país están localizadas en Cundinamarca y de ellas la más rica es la de Zipaquirá: ésta es una masa de sal-gema de un volumen tal que se necesitarían siglos de una explotación activa para agotarla completamente. Su aspecto es el de una colina que surge de entre las rocas estratificadas que la

rodean en semicírculo. Estas rocas, areniscas, calcárea cristalina, calcárea de conchas etc., pertenecen al piso de Guadalupe.

La sal de las minas de Cundinamarca tiene la siguiente composición:

Cloruro de sodio .....	88.91
Cloruro de magnesio .....	0.03
Sulfato de calcio .....	0.05
Sulfato de sodio .....	0.09
Materia insoluble .....	1.10
Agua .....	9.60
Pérdida .....	0.22
	100.00

Comercialmente, la sal blanca, cristalizada, llamada "paloma" por los mineros, puede conceptuarse como pura; la que en la salina se expende como de primera clase rinde hasta el 90 por ciento; la de segunda clase rinde hasta el 75 por ciento; y la de tercera clase, menos del 60 por ciento.

Todas las salinas del país son de propiedad nacional y su administración está sujeta a una legislación especial.

De la Compilación de los Estudios Geológicos de Colombia:

LAS "ROCAS SEDIMENTARIAS O ESTRATIFICADAS". Tomado de un estudio sobre el Sur de Antioquia del Dr. Roberto Sheibe.

1) Un conjunto visible en poca extensión se presenta caracterizado por esquistos horbléndicos, cuyos afloramientos tienden a formar una faja que va desde Sonsón hasta Ancón, al norte de Medellín, y se muestra también en el río Cauca, al este de Marmato. Dicho conjunto se estima muy antiguo, y probablemente pertenece a la era arcaica.

2) Otra formación comprende un conjunto de esquistos micáceos (metamórficos) y arcillosos, un conjunto de cuarcitas y tiene además bancos de cal, despedazados en parte por rocas graníticas. Esta formación se observó principalmente hacia las estribaciones de la Cordillera Central, y se manifiesta en los cortes del ferrocarril de Antioquia entre Barbosa y Puerto Berrio. La Comisión apenas tuvo ocasión de visitar la región en donde aparecen estas rocas. Por lo que indican las huellas de fósiles del conjunto arcilloso, la edad geológica se estima posterior al arcaico y es posible que la formación pertenezca al paleozoico.

3) Una formación distinta a la anterior comprende esquistos micáceos, cloríticos, grafíticos, arcillosos, cuarcíticos y capas de cal, y está representada, principalmente hacia el Occidente, por arcillas pizarrosas con bancos de arenisca, siendo evidente que éstas reflejan el estado original, mientras aquéllas representan su estado metamórfico. Una particularidad importante de esa formación consiste en que en ella ocurren rocas efusivas básicas, y está atravesada por rocas plutónicas. La era a que ella pertenece se considera ser mesozoica y la edad geológica, según lo indican los fósiles encontrados en unos bancos que se atribuyen por ahora a la misma formación, es probablemente jurásica, si no es menor.

4) Una formación de conglomerados, areniscas y arcillas con mantos de carbón que hemos llamado "formación carbonífera de Antioquia", se desarrolla de Sur a Norte, atravesando el Departamento principalmente por su parte media. En cuanto a la edad, se le estima preliminarmente como terciario inferior.

5) Dos conjuntos que se asemejan al precedente por su composición, pero en los cuales no se conoce el carbón y por su posición los separamos preliminarmente de la formación carbonífera. Las rocas de estos conjuntos se extienden por la hoya del Cauca, uno de ellos principalmente en los alrededores de Anzá y el otro cerca de la ciudad de Antioquia. Su edad se juzga terciaria.

6) Unos conjuntos de conglomerados, compuestos de fragmentos de rocas eruptivas volcánicas, de edad más reciente que la formación carbonífera, afloran al norte de Arma, al sur y al oeste de Fredonia, al sur de Jericó y cerca de Andes. Se considera que la edad geológica equivalga al terciario más moderno o ya al cuaternario.

7) Los conjuntos del cuaternario incluyen los cascajos, arenas y arcillas fluviales que constituyen las terrazas elevadas; las tobas de cal, los cascajos, arenas y arcillas que forman las altiplanicies; las cenizas volcánicas; los depósitos que se encuentran en los cauces actuales de los ríos y otros.

Las investigaciones de la Comisión Científica aún no han podido adelantarse lo suficiente para poder hacer la descripción detallada de todos estos conjuntos, y en cuanto a la determinación exacta de su edad geológica faltan todavía las bases paleontológicas y el conocimiento íntimo de las relaciones estratigráficas entre ellas y las formaciones conocidas de las regiones y países vecinos. Por este motivo, lo que hemos dicho con respecto a la edad de los conjuntos y formaciones debe tomarse con la debida precaución.

## RESUMEN

### I —DEFINICION

- II —ORIGEN
- III.—NATURALEZA
- IV.—CARACTERISTICAS
- V .—PRINCIPALES MINERALES SEDIMENTARIOS.
- VI.—ROCAS SEDIMENTARIAS EN COLOMBIA.

- 1.—Sedimentos mecánicos:
  - a) Depósitos eólicos.
  - b) Aluviones.
  - c) Depósitos marinos.
  - d) Depósitos glaciares.
- 2.—Sedimentos químicos.
- 3.—Sedimentos orgánicos.

- 1.—Rocas Arenáceas.
- 2.— " Arcillosas.
- 3.— " Calcáreas.
- 4.— " Piroclásticas.

- 1.—Estratificación.
- 2.—Presencia de Fósiles.
- 3.—Grietas de fangfo.
- 4.—Ondulaciones.
- 5.—Estratificación cruzada.
- 6.—Concreciones.
- 7.—Color.

*Jacques Delleur*

(Alumno de la Facultad)