

la geología
y su futuro
en colombia
MICHEL HERMELIN

la geología
y su futuro
en colombia

MICHEL HERMELIN

1984

f64

LA GEOLOGIA EN EAFIT

La Universidad EAFIT creó la Carrera de Geología en 1982. Fue aprobada por el ICFES por medio de la Resolución

. El Departamento se está desarrollando en forma paralela a las necesidades que plantean los niveles de los estudiantes mas avanzados. Se cuenta ahora con tres profesores especializados de tiempo completo y uno de medio tiempo. Las colecciones de rocas, minerales y fósiles y los equipos de laboratorio se están adquiriendo en función de su necesidad.

La Carrera de Geología de EAFIT presenta varias particularidades:

1. Esta orientada a la geología aplicada. El estudiante después de tomar las materias basicas y las profesionales, puede orientarse hacia una de las tres ramas siguientes: Hidrocarburos/Carbones, Geología Económica (depósitos minerales) y Geología Aplicada a Ingeniería Civil.
2. El énfasis en el trabajo de campo existe desde los primeros semestres. La Carrera se inicia con un curso de Introducción a la Geología que se dicta íntegramente en el campo. Los estudiantes durante una semana, deben acampar y efectuar recorridos y observaciones que se inspiran en el ejercicio real de la profesión, a veces en condiciones algo difíciles.
3. La carrera tiene una duración de 11 semestres, uno de ellos de práctica en una empresa con el fin de que se prepare mejor para la vida profesional.
4. Las materias básicas y profesionales de la carrera de Geología de EAFIT exigen al estudiante un alto rendimiento con el fin de mantener el nivel académico característico de todas las carreras de la Universidad.

f67

los
estudio
705 52

CONTENIDO

Página

1. ✓	INTRODUCCION	
2. ✓	EPISODIOS DE LA PROFESION DE GEOLOGO	
3. ✓	QUE ES GEOLOGIA?	
✓	LA PETROLOGIA	
✓	LA GEOQUIMICA	
✓	LA PALEONTOLOGIA	
✓	LA ESTRATIGRAFIA	
✓	LA TECTONICA	
✓	LA GEOFISICA	
✓	LA GEOMORFOLOGIA	
4. ✓	EL METODO GEOLOGICO	
✓	ESTUDIO DE DOCUMENTOS	
✓	UTILIZACION DE SENSORES REMOTOS	
✓	EL TRABAJO DE CAMPO	
✓	EL TRABAJO DE LABORATORIO	
5. ✓	LAS APLICACIONES DE LA GEOLOGIA	
✓	LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA	
✓	LOS RECURSOS MINERALES NO ENERGETICOS	
✓	LOS RECURSOS MINERALES ENERGETICOS	
✓	Los Hidrocarburos	
✓	El Carbón	
✓	Minerales Radioactivos	
✓	RECURSOS GEOTERMICOS	
✓	AGUAS SUBTERRANEAS	
✓	GEOLOGIA AMBIENTAL REGIONAL	
✓	GEOLOGIA APLICADA A INGENIERIA CIVIL (GEOTECNIA)	
✓	GEOLOGIA URBANA	
6. ✓	RANQRAMA Y PERSPECTIVAS DE LA GEOLOGIA EN COLOMBIA	
✓	EL EJERCICIO DE LA PROFESION	
✓	ORGANIZACIONES	
✓	EL FUTURO DE LA GEOLOGIA EN COLOMBIA	
7. ✓	ENSEÑANZA DE LA GEOLOGIA EN COLOMBIA	NO
8. ✓	CONCLUSION	
9. ✓	BIBLIOGRAFIA ESCOGIDA	

P.66

El autor agradece a las personas que tuvieron la paciencia de leer este trabajo y de ofrecer sus recomendaciones, que permitieron mejorarlo. También agradece al periódico El Tiempo, el permiso para reproducir el dibujo de Ernesto Franco.

INTRODUCCION

Este folleto está destinado a cualquier persona que haya tenido alguna vez curiosidad hacia la Geología pero particularmente a los estudiantes de secundaria y superior que han escogido esta carrera profesional. Intento presentar una breve síntesis de la Geología como Ciencia y profesión. Tal vez motivar a algunos para seguir este camino tan interesante, pero más para que lo han escogido sigue obediendo al interés inextinguible del descubrimiento que siempre se renueva y de la verdad.

El papel que le corresponde desempeñar a la Geología en el desarrollo de un país es tan vasto como el territorio que cubre. Solo un conocimiento completo de la geología de un país le dará al país la posibilidad de explotar sus recursos minerales y energéticos y de planear el uso adecuado de la tierra. La geología de una nación es el fundamento de la geología del mundo. La solución de problemas concretos como hallazgo de reservas minerales, aguas subterráneas y el estudio de las limitaciones al uso de la tierra.

2. EPISODIOS DE LA PROFESION DE GEOLOGO

La brisa del mar Caribe mece sin contemplación el pesado helicóptero que ya se acerca a la plataforma. El círculo de pintura blanca pintado en el piso cerca de la torre de perforación, se hace cada vez más grande. El aparato se posa y Felipe y sus compañeros saltan sobre el piso metálico. Breve intercambio de saludos con los que con igual rapidez suben a bordo. La carga es bajada con presteza por los ayudantes y el insecto ruidoso se eleva de nuevo.

Felipe se dirige al pequeño laboratorio donde lo esperan las muestras recogidas durante los días anteriores. Durante diez días vivirá en este pequeño espacio de algunas decenas de metros cuadrados, sostenido por tres enormes columnas de acero firmemente ancladas en el piso del mar, a unos treinta metros debajo de la superficie. Día y noche, el enorme taladro sostenido por la torre que se yergue en el extremo de la plataforma perfora sin descanso los sedimentos del fondo del mar. A más de dos kilómetros de profundidad, una broca de acero reforzada con minúsculos diamantes se hunde lentamente entre las capas de roca, en búsqueda de petróleo. Los pequeños fragmentos arrancados por la broca llegan a la superficie a través del denso líquido que permanentemente circula a través de la tubería. Al llegar allí son cuidadosamente separados y almacenados.

Muestra por muestra, Felipe estudia los minerales que contienen. Establece gráficos que le permiten deducir el tipo de roca atravesada; el medio en el que se formó y su posible contenido de hidrocarburos. Cuando aparecen los indicios que señalan la posible presencia de aceite o de gas, establece de común acuerdo con el Ingeniero que tiene a su cargo la perforación, la estrategia que permita recuperar y aprovechar esos combustibles, ahora tan escasos como costosos para el país.

Juan se detiene una vez más para examinar detenidamente con sus binóculos la masa rocosa que se levanta en la otra orilla del Río Magdalena. Después de levantar con gran detalle el mapa geológico de la región circundante, tiene que estudiar paso a paso las características de las rocas donde dentro de unos pocos meses se asentará una enorme represa que permitirá producir varios centenares de miles de kilovatios. Dedicó las semanas anteriores a recorrer el área. Además de establecer su mapa, ha buscado cuidadosamente en los alrededores evidencias de movimientos recientes de la corteza de la tierra, cuya presencia, de ser descubierta, implicará serias restricciones a la construcción de la represa en el lugar escogido inicialmente por los ingenieros.

7

f67

1. INTRODUCCION

Este folleto está destinado a cualquier persona que haya sentido alguna vez curiosidad hacia la Geología pero particularmente a los jóvenes que terminan sus estudios secundarios y aún no han escogido una carrera universitaria. Intento presentar una breve síntesis de la Geología como Ciencia y como Profesión. Tal vez motive a algunos para seguir ese camino tan duro como exigente, pero que para los que lo han escogido sigue ofreciendo el atractivo irremplazable del descubrimiento que siempre se renueva y de la creatividad.

El papel que le queda por desempeñar a la Geología en un país como Colombia es inmenso. Solo un conocimiento completo de su superficie y de su sub-suelo le dará al país la posibilidad de explotar correctamente sus recursos minerales y energéticos y de planear el uso adecuado de su territorio. Es la adquisición de esos conocimientos lo que se espera de los geólogos, así como la solución de problemas concretos como hallazgo de recursos minerales y de aguas subterráneas y el estudio de las limitaciones al uso del territorio.

TÍTULO LETRASEI
 → CARATULA PAREE INFERME



Las muestras recogidas tanto en la superficie como por medio de perforación serán analizadas en los laboratorios para comprobar su composición y sus propiedades mecánicas. En discusiones posteriores con los ingenieros, Juan compartirá la gran responsabilidad de decidir si es viable la inversión de varios centenares de millones de pesos para aumentar la producción hidroeléctrica del país. Deberá además ofrecer recomendaciones concretas sobre las medidas necesarias para evitar cualquier problema durante la vida útil del embalse.

Ascendiendo lentamente en medio de los grandes bloques que rellenan el lecho de la quebrada que baja de la Cordillera Occidental hacia el Atrato, Lina María se detiene para describir un afloramiento de roca de color verde oscuro. La lluvia que cayó hasta la madrugada aún no se ha secado y las paredes abruptas que bordean los orillas tienen un brillo que contrasta con el denso follaje de la selva.

Una bandada de monos, espantados por los golpes de martillo, huyen con gritos agudos, acompañados por loros chillones. El silencio vuelve a adueñarse de la selva.

Lina María y su ayudante están a tres días de camino del sitio habitado más cercano. Transportan en su morrales, sus hamacas, mosquiteros y alimentos para dos semanas. Un pequeño radio portátil les permite, cada noche, conversar con los otros dos grupos que trabajan en el área. Pero la intensidad misma del trabajo no les permite sentir la soledad que los rodea.

Hay que teminar el mapa, cueste lo que cueste.

De regreso a la oficina, las muestras cuidadosamente numeradas serán preparadas para los análisis: microscopio, laboratorio químico, rayos X, microsonda electrónica, paleomagnetismo.

La superficie coloreada del mapa irá ampliándose, centímetro por centímetro, indicando los diferentes tipos de rocas encontrados. Los datos procedentes tanto del campo como del laboratorio ingresarán a la memoria magnética del computador, y podrán ser procesados con el fin de obtener la máxima utilización de una información que costó tantos esfuerzos, y cuyo valor es definitivo para el conocimiento de los recursos minerales de país.

un espesor del orden de 150 km, tanto oceánicas como continentales, pueden desplazarse sobre el material subyacente a una velocidad de varios centímetros por año. En ciertas zonas longitudinales llamadas dorsales, como la que se extiende en dirección aproximadamente norte-sur del Océano Atlántico, se genera nueva corteza. En otras zonas, como en el borde occidental del Continente Suramericano, la corteza oceánica es subducida, es decir introducida debajo del Continente.

Resultados de ese último fenómeno son los sismos frecuentes y la actividad volcánica relativamente reciente que afectan a prácticamente toda la Cordillera de los Andes.

El desarrollo de la hipótesis anterior ha permitido un avance enorme en el conocimiento de la dinámica de la parte superior del planeta; el modelo ha sido aplicado en temas tan heterogéneos como son la búsqueda del petróleo, la localización preferencial de depósitos de cobre y la zonificación de territorios urbanos en función de su susceptibilidad a los eventos sísmicos.

LA GEOFISICA

La aplicación de las leyes y razonamientos de la Física al conocimiento de la tierra constituye la Geofísica. La interpretación de los registros sísmicos, basada en los conocimientos acerca de la propagación de las ondas en diferentes medios, ha permitido evidenciar la presencia de las varias capas que constituyen el globo; corteza, manto y núcleo. Este conocimiento es obviamente indirecto, dada la dificultad, aún hoy en día, de realizar perforaciones a profundidades superiores a 6 ó 7 kilómetros.

Además de la Sismología, la Geofísica estudia la gravedad de la tierra, su magnetismo, su conductibilidad térmica, etc. Cada una de esas ramas se aplica en una u otra forma a la prospección de hidrocarburos y minerales y al estudio de la disposición y calidad de las rocas que deben soportar obras civiles.

Parte de esa prospección se efectúa en forma aerotransportada, lo que ha permitido investigar extensas áreas en tiempos relativamente cortos. Ecopetrol utiliza desde hace varios años levantamientos aeromagnéticos para la prospección del petróleo y también se ha pensado aprovecharlos para buscar minerales ferrosos en la zona oriental del país.

LA GEOMORFOLOGIA

Es el estudio de la superficie de la tierra e investiga tanto las formas como los depósitos recientes, interpretándolos en función de los factores que

- También se utilizan los rayos X para obtener la composición química de los minerales y rocas por medio de la técnica llamada espectrometría. Se basa en el hecho de que un átomo de un elemento dado, al recibir una radiación de rayos X, emite una radiación secundaria con una longitud de onda peculiar para cada elemento. El análisis de los registros correspondientes permite obtener la composición química del material analizado.
- La microsonda electrónica, gracias a la incidencia de un chorro de electrones sobre una superficie muy localizada, del orden de algunas milésimas de milímetro, permite examinar las variaciones químicas de minerales y rocas a muy pequeñas escalas.
- Con el microscopio electrónico se pueden obtener aumentos muy superiores a los que se llega con microscopios ópticos; se ha utilizado recientemente para establecer criterios de procedencia de minerales de arcillas.

La petrología estudia las rocas ígneas formadas tanto a grandes profundidades por cristalización lenta del magma (rocas plutónicas), como las que provienen de la solidificación de lavas de los volcanes (rocas volcánicas); las rocas sedimentarias, producto del depósito en mares y continentes de los materiales acarreados por los ríos, el viento y los glaciares (sedimentología); las rocas metamórficas, recristalizadas a presiones y temperaturas altas a partir de las rocas anteriormente mencionadas.

La interpretación de los análisis de las rocas con el fin de entender a cabalidad su origen (petrogénesis) está basada en la físico-química, particularmente en la termodinámica. La aplicación de estas ciencias, junto con la reproducción en laboratorio de condiciones que asemejan las que caracterizan las zonas internas de la corteza terrestre y aún del manto, han permitido en los últimos años grandes progresos en el campo de la petrología de las rocas cristalinas.

LA GEOQUIMICA

Estudia el comportamiento de los diferentes elementos en la corteza terrestre: litosfera, hidrosfera, atmósfera: su distribución, su dispersión, sus concentraciones. Pese a los grandes progresos hechos recientemente en esta área, quedan por resolver problemas de envergadura como el balance de los intercambios entre la corteza basáltica generada en las zonas dorsales en el fondo de los océanos y las aguas marinas. La geoquímica se relaciona con la petrología en su búsqueda de la interpretación del origen de las rocas.

Tiene por otra parte una aplicación muy importante: la presencia de un yacimiento de un mineral dado en una región significa un cierto enriquecimiento del elemento predominante (por ejemplo cobre) en los suelos, los sedimentos de los ríos, sus aguas, y aún a veces en las hojas de las plantas que crecen en la zona. Un muestreo geoquímico sistemático (en Colombia se ha trabajado ahora con éxito con los sedimentos activos de los ríos y quebradas) permite, previo análisis e interpretación de los resultados, localizar en un mapa geológico el área de un posible yacimiento y concentrar entonces los esfuerzos de prospección.

El uso de los isótopos en Geología, iniciado en la década de los años 40, ha permitido establecer una cronología absoluta. El principio es sencillo: si un mineral, al cristalizar, contiene átomos de una sustancia natural radiactiva, su descomposición espontánea seguirá cualquiera que sea el ambiente en el que se conserve el cristal. Tomando el ejemplo de un cristal de mica, que además de oxígeno, hidrógeno, silicio y aluminio contiene en su estructura el elemento potasio, una cierta cantidad de esos átomos de potasio corresponderá al isótopo 40 , que se transforma espontáneamente en argón. Como se conoce el tiempo necesario para esa reacción, sí se puede medir para esa mica su contenido en K^{40} y en Ar, puede calcularse el tiempo transcurrido desde que cristalizó hasta el presente. Existen otros métodos basados en estos isótopos, incluyendo el del C^{14} ampliamente utilizado en geología reciente y en arqueología. Los isótopos también se han utilizado para determinar el origen de las aguas subterráneas, tanto para uso humano o agrícola como cuando éstas son la causa de deslizamientos. El principio del método se basa en el hecho comprobado de que la proporción de moléculas de $H_2^{16}O$ y $H_2^{18}O$ en las aguas de lluvia varía con la temperatura de formación de las nubes. El Instituto de Asuntos Nucleares ha utilizado con éxito este método para resolver problemas hidrológicos en varias regiones del país.

LA PALEONTOLOGIA

Es la ciencia que estudia los fósiles, remanentes de épocas geológicas pasadas. Estos son fragmentos de esqueletos, dientes, hojas, etc., que pertenecieron a animales y plantas muchas veces desaparecidas de la superficie de la tierra, y que fueron conservados generalmente en sedimentos depositados en el fondo de lagos o en el mar. La Paleontología se divide entonces en dos ramas básicas: Paleozoología y Paleobotánica. Una de las ramas de ésta última es la Paleopalinoología, el estudio de los polenes fósiles. Por su tamaño microscópico y su ubicuidad en áreas cubiertas de vegetación, el polen se transforma en una poderosa herramienta para correlacionar formaciones geológicas. El profesor Thomas Van der Hammen, de la Universidad de Amsterdam y sus colaborad-

CUADRO No. 1

Era	Período	Epoca	En millones de años	
			Duración	Antes del Presente
Cenozoica	Cenozoica	Pleistoceno	1.5 - 2	65
Mesozoica		Plioceno	5 - 5.5	
Paleozoica		Mioceno	19	
		Oligoceno	11 - 12	
		Eoceno	15 - 17	
		Paleoceno	11 - 12	
Proterozoica	Creraceo		71	225
		Jurásico	54 - 59	
		Triásico	30 - 35	
	Arcaico	Permico	55	
		Pensilvaniano	45	
		Misisipiano	20	
Arcaico	Devonico	50		
	Silurico	35 - 45		
	Ordovícico	60 - 70		
Arcaico	Cámbrico		70	570
				2500

la geología y su futuro en Colombia

MICHEL HERMELIN

res, tanto holandeses como colombianos lo han utilizado, entre otras cosas, para deducir la secuencia de climas cuaternarios que afectaron a la Sabana de Bogotá desde el levantamiento de ésta parte de la Cordillera, iniciado hace unos 7 millones de años.

En la actualidad este método se utiliza en los laboratorios del Ingeominas para correlacionar las capas de carbón de varias cuencas sedimentarias del país.

La Paleontología, por medio del análisis de los organismos cada vez más evolucionados que se encuentran en las sucesivas capas sedimentarias, fue hasta el descubrimiento de los métodos radioactivos, la única herramienta para establecer la edad relativa de las rocas de la litosfera. Su tendencia actual apunta hacia la deducción de antiguos ambientes de vida: La Paleocología.

LA PETROLOGÍA

Estudia las rocas y se hace actualmente cada vez más importante en el estudio de las mismas. Se estudian las rocas cristalinas que forman el núcleo de las montañas en las partes: la petrología describe las rocas de la corteza superior. Las rocas ígneas efectivamente se forman al solidarse un fragmento de roca desgasificada en un horno.

OXIDADO

La petrografía tiene a su disposición una gran variedad de métodos.

El microscopio polarizante permite estudiar las rocas cristalinas y distinguir sus características. Por la polarización se ven los cristales de cuarzo y de feldspato de alta presión, así como los cristales de $0,001 \text{ mm}$. Este tipo de estudio se hace en un microscopio polarizante, y cada petrologo lo practica con más o menos frecuencia.

Con los minerales opacos, particularmente los metales, se hace todo lo contrario: los reflejos a partir de secciones pulidas.

Los rayos X se utilizan en la técnica de difracción. Los cristales de las rocas depositadas en capas regulares, al ser bombardeados por rayos X, difractan estos rayos en función de su estructura cristalina. Este tipo de estudio se hace en un difractor de rayos X. Este tipo de estudio permite estudiar la estructura interna de los minerales de las rocas, que muchas veces no puede ser estudiada por otros métodos.

PSI

LA ESTRATIGRAFIA

Es la rama de la geología que estudia las diferentes capas de la corteza terrestre, en cuanto a su composición, su secuencia, su distribución y su correlación con formaciones semejantes en diversas partes del globo. Para cada conjunto de estratos, debe establecerse el medio ambiente en el que fue depositado: llanura aluvial, lecho de un lago, zona litoral, profundidades abisales, etc., así como su origen: químico, biológico, glacial, etc. La Estratigrafía tiene muchos puntos comunes con la tectónica ya que al plantearse el origen de los sedimentos, debe tenerse en cuenta el levantamiento de las montañas de donde son arrancados por fenómenos erosivos. La estratigrafía ha creado la nomenclatura para el tiempo geológico, que aparece en el cuadro No. 1.

Al ser el objetivo de la estratigrafía las rocas sedimentarias, se ha transformado en una herramienta indispensable para la búsqueda de elementos tan necesarios para la economía moderna, como son el petróleo y el carbón. Muchos de los grandes progresos de la estratigrafía y de su disciplina vecina, la sedimentología, proceden de las investigaciones relacionadas con la prospección petrolera; realidad muy común en las ciencias geológicas, donde existe un aporte mutuo permanente entre la investigación básica y la aplicada.

LA TECTONICA

La corteza de la tierra dista mucho de ser estática; sus movimientos tanto verticales como horizontales y las deformaciones de las rocas que resultan de esa dinámica, son estudiados por la Tectónica. La magnitud vertical de esos movimientos había sido notada desde muchos años; efectivamente, al encontrarse como componentes de montañas de grandes alturas a rocas formadas en condiciones marinas, se infería correctamente que los levantamientos y plegamientos de la corteza las habían colocado en esa situación; es el caso tanto de las rocas del Monte Everest, del Himalaya, como de nuestra Sierra Nevada del Cocuy.

La resistencia de los geólogos para aceptar esa posibilidad de movimientos horizontales en gran escala ha cedido en los últimos años; el cúmulo de evidencias obtenidas gracias a las perforaciones realizadas en el fondo de los océanos, al estudio de las variaciones periódicas del magnetismo terrestre que quedan registradas en las rocas cuando éstas cristalizan y la sismología, ha permitido el desarrollo de la hipótesis llamada "Tectónica de Placas" (se utiliza a veces el término erróneo "deriva de continentes" para identificarla). Se trata de la primera explicación de los fenómenos geológicos a escala global: "placas" de

QUE ES GEOLOGIA ?

La define el diccionario como la ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre; de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación; cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen y colocación que tienen en su actual estado.

La definición anterior puede resumirse sencillamente diciendo que la geología es la ciencia que estudia la tierra. Una corta descripción de cada una de las ramas que la componen ayudará a entender mejor su contenido real.

LA PETROLOGIA

Estudia las rocas y se basa naturalmente en la mineralogía que a su vez tiene como objeto el estudio de los minerales, sustancias químicas inorgánicas cristalizadas que ocurren en la naturaleza. La petrología puede dividirse en dos partes: la petrografía, que describe las rocas y la petrogenia que investiga su origen. Las dos son inseparables: efectivamente no existe justificación alguna para estudiar un fragmento de roca desligándolo del ambiente en el cual se formó.

La petrografía tiene a su disposición una serie de herramientas poderosas:

- El microscopio polarizante permite identificar los minerales que forman las rocas y examinar sus interrelaciones. Por lo anterior se preparan, por medio de sierras y de pulidores de alta precisión, secciones delgadas de roca de un espesor de 0,03 mm. Esta sigue siendo la técnica más usual para el estudio petrográfico, y todo geólogo la practica con mas o menos frecuencia.
- Para los minerales opacos, particularmente los metálicos, se utiliza un método semejante: luz reflejada a partir de secciones pulidas de roca.
- Los rayos X se utilizan en la técnica de difracción: los átomos de los minerales están dispuestos en capas regulares; al ser bombardeados por haces de rayos X, dichas capas devuelven energía radiante en una forma ordenada cuya distribución e intensidad puede registrarse. La interpretación de estos registros permite deducir la estructura interna de los minerales y por lo tanto su naturaleza, que muchas veces no puede obtenerse con el microscopio.

EL METODO GEOLOGICO

Una corta descripción de los métodos de trabajo utilizados en forma corriente en la actividad geológica permitirá apreciar mejor el desempeño del geólogo en sus tareas.

ESTUDIO DE DOCUMENTOS

Antes de iniciar un trabajo geológico, es indispensable revisar cuidadosamente los estudios que puedan existir; sería absurdo repetir una actividad muy costosa como es la geología de campo. La revisión incluirá todos los documentos: mapas e informes que se hayan producido sobre el área de interés.

UTILIZACION DE SENSORES REMOTOS

Hoy en día se usan en forma habitual una serie de técnicas basadas en sensores remotos que eran perfectamente desconocidas hace pocos años. El método más clásico es la observación estereoscópica de las fotos aéreas, que permite una visión tridimensional de la región de estudio. Sobre esas fotografías, el geólogo realiza una identificación de los rasgos que le interesan, según la naturaleza de su trabajo. Procede también a una interpretación preliminar, que deberá naturalmente verificarse en el campo.

Para cartografía regional y ciertas aplicaciones se utilizan también:

- Imágenes de Radar (SLAR = side looking airborne radar) que se obtienen a partir de aviones que envían señales de radar sobre el territorio que sobrevuelan; dichas señales rebotan en la superficie terrestre y son recibidas nuevamente por el avión. Tienen sobre las fotografías aéreas la gran ventaja de no ser afectadas por la presencia de nubes. Imágenes SLAR de extensas áreas del territorio nacional, particularmente del Departamento del Chocó y de la zona de Orinoquia Amazonas han sido obtenidas y se utilizan en la actualidad.
- Imágenes de satélites, de escala generalmente menor, que por medio de una combinación de diferentes longitudes de onda permiten obtener, además de la fotografía del terreno datos complementarios muy útiles para la interpretación geológica; puede citarse, en el espectro infrarrojo, la obtención de la distribución del calor que irradia la superficie de la tierra, información muy útil que se utilizaba ~~través~~ en Colombia para la prospección de recursos geotérmicos.

173

intervinieron en su formación; factores internos como son la tectónica y el volcanismo y factores externos, o sea climáticos. El enfoque de la geomorfología está entonces dirigido hacia los fenómenos actuales y sus resultados recientes; está por lo tanto muy ligada al estudio del Cuaternario, período geológico que cubre aproximadamente el último millón de años.

En un país como Colombia, las aplicaciones de la Geomorfología están tomando un auge importante; el ambicioso programa hidroeléctrico exige conocimientos adecuados de la superficie de los terrenos donde se edificarán los embalses, pero también de las cuencas fluviales utilizadas. En ese tipo de estudio, la geomorfología trabaja en estrecha colaboración con la geotecnia, dedicada a su vez a la mecánica de suelos y de rocas con un enfoque lógicamente más relacionado con la ingeniería civil.

Por otra parte el crecimiento acelerado que caracteriza nuestras ciudades exige un conocimiento adecuado de las restricciones al uso que puedan ofrecer los terrenos urbanizables.

— La gravimetría, por medio de la medida de las variaciones del campo gravitatorio del planeta, permite una inferencia de la constitución de la corteza terrestre. La interpretación de los datos gravimétricos es sin embargo compleja; debe tener en cuenta entre otros factores, la densidad de las rocas y la topografía del terreno circundante.

— Los métodos sísmicos se basan en el estudio de la propagación de las ondas en la corteza terrestre. Las ondas se provocan artificialmente, por

medio de una explosión o de un golpe fuerte en o cerca de la superficie de la tierra. Su velocidad es característica para cada tipo de roca y puede obtenerse a partir de lecturas hechas en estaciones portátiles de recepción. Al llegar a un medio de características distintas, las ondas se reflejan y se refractan: ambas se utilizan (reflexión y refracción sísmica, respectivamente).

— La interpretación de cada uno de los métodos geofísicos debe combinarse con la información geológica existente, con el fin de lograr un entendimiento de la estructura subterránea. Por otra parte, la descripción anterior de los métodos geofísicos es muy simplificada; para cada uno de ellos existen variaciones cada vez más perfeccionadas que ofrecen muchos recursos para la prospección moderna.

EL TRABAJO DE LABORATORIO

Las muestras de rocas y minerales recogidas en el campo deben ser analizadas cuidadosamente. Los métodos son muy numerosos y fueron en parte mencionados en los párrafos sobre petrología y geoquímica. Los fósiles recolectados también deben estudiarse detalladamente, incluyendo los microcópicos; es una tarea a menudo laboriosa, que es realizada por expertos paleontólogos.

Tanto la información recogida en el campo, como la procedente del laboratorio, sirven de base para la elaboración del informe correspondiente. Hoy en día, en muchas empresas privadas y entidades estatales, se almacena la totalidad de la información en la memoria magnética de un computador lo que permite su recuperación en un tiempo mínimo y en forma discriminada.

EL TRABAJO DE CAMPO

La parte principal del trabajo del geólogo se efectúa en el campo. El geólogo debe observar cuidadosamente el paisaje, las rocas, los suelos; usando las tradicionales herramientas: martillo, brújula, lupa y libreta; va verificando sus observaciones en las fotografías aéreas, describiendo minuciosamente los afloramientos que encuentren en su recorrido. Anota las medidas necesarias para caracterizar las rocas y toma las muestras de roca o de fósiles que se analizarán en el laboratorio.

En nuestro país, el trabajo de campo tiene que desarrollarse en condiciones a menudo difíciles: pendientes fuertes, vegetación densa, climas extremos. La profunda capa de roca alterada que suele caracterizar el paisaje del trópico húmedo obliga a restringir las observaciones al lecho de las quebradas, que hay que seguir paso a paso con el fin de encontrar afloramientos de roca sin descomponer. Es una actividad dura, exigente, que requiere condiciones físicas óptimas.

El trabajo de campo se complementa a veces con trincheras, cortadas de tal manera que permitan la observación directa de ciertas capas; es práctica común, por ejemplo, en la evaluación de los depósitos de carbón. También se utilizan perforaciones, túneles o más usualmente pozos hechos con brocas con corona de diamante, que permiten un "corazonamiento" de la roca que se quiere aprovechar como materia prima o para fines geotécnicos. Este método permite obtener cilindros de roca de diámetro variable, a profundidades de hasta varios centenares de metros. Los costos de esta técnica son muy altos. Por lo tanto solo se utiliza, cuando se han agotado los métodos de observación superficiales. También se han desarrollado métodos indirectos de observación, fundamentados en la geofísica:

— La resistividad eléctrica, que se basa en la capacidad variable que tienen los diferentes tipos de rocas para transmitir una corriente eléctrica. Esa propiedad se relaciona a su vez con la porosidad de las rocas; de allí su uso común en la prospección de aguas subterráneas.

— La magnetometría se fundamenta en las propiedades magnéticas de las rocas. Existen en la actualidad magnetómetros portátiles que le permiten al geólogo levantar un mapa de anomalías magnéticas en forma simultánea con su trabajo de campo habitual.

el níquel, el cobalto, el cromo, el estaño. El aluminio, cuya utilización industrial data de fines del siglo pasado, es hoy uno de los metales más versátiles; su producción mundial aumenta muy rápidamente.

Existen por otra parte elementos que requiere la tecnología actual y cuyos usos eran prácticamente desconocidos hace una generación; el berilio que se utiliza en aleaciones y en la construcción de reactores atómicos, así como el litio; el zirconio también se utiliza en la obtención de aleaciones destinadas a resistir temperaturas muy altas.

No sobra anotar una verdad de Perogrullo en cuanto a los recursos minerales; no son renovables. Cuando las reservas de un yacimiento se han agotado, la mina tiene que suspender su actividad en forma definitiva.

Otros aspectos de la actividad minera moderna son los enormes capitales que deben invertirse antes de empezar la producción y los plazos tan largos que median entre la identificación de un yacimiento y su explotación.

Es de tener en cuenta que la inmensa mayoría de los metales que requiere la industria no se encuentran en la naturaleza en estado nativo, exceptuando el oro y otros muy pocos. Existen en forma de óxidos o de sales (sulfuros, sulfatos, carbonatos, silicatos, etc.) que reciben el nombre de mena, o sea mineral económicamente aprovechable.

Ahora bien, para que un depósito, o mejor un yacimiento sea económicamente aprovechable, se requieren varias condiciones. En primer lugar, la "explotabilidad" de un yacimiento es un concepto muy variable; variación en primer lugar con el tiempo, ya que el precio internacional de un metal, por ejemplo, puede ^{variar} ~~variar~~ considerablemente. Los altos precios del oro en el mercado internacional han permitido la reapertura en Colombia de una cantidad de pequeñas minas que se habían cerrado hace muchos años por falta de rentabilidad.

En segundo lugar, la localización de un depósito puede hacerlo o no explotable; los gastos de transporte pueden ser excesivos para un desarrollo minero en un momento dado.

Las nociones básicas que acompañan el análisis de factibilidad de una mina son dos: tenor, o sea concentración promedio del material a explotar dentro de la roca circundante y volumen del depósito. Las tendencias del valor del producto en el mercado internacional también influyen en la decisión que puede significar la inversión de varios miles de millones de dólares en un solo proyecto minero.

70
8. LAS APLICACIONES DE LA GEOLOGIA

Hasta ahora el tema de la Geología se ha expuesto prácticamente en abstracto, como si se tratara de una actividad desligada de las necesidades económicas. La realidad es muy distinta. De hecho la mayoría de los geólogos hoy empleados en el país se dedican a los diferentes aspectos de la geología aplicada.

El cuadro No. 2 sintetiza las principales áreas de la geología aplicada:

CUADRO No. 2

GEOLOGIA APLICADA

A. CARTOGRAFIA GEOLOGICA

B. GEOLOGIA APLICADA A LA BUSQUEDA DE RECURSOS:

1. Recursos minerales no energéticos

- metálicos
- no metálicos

2. Recursos minerales energéticos

- hidrocarburos
- carbón
- minerales radioactivos

3. Recursos geotérmicos

4. Aguas subterráneas

C. GEOLOGIA APLICADA AL APROVECHAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA (GEOLOGIA AMBIENTAL)

1. Geología ambiental regional

2. Geología aplicada a Ingeniería Civil

3. Geología urbana.

Es de mencionar que además de la gran minería clásica, también existen explotaciones a escala más modesta, pero a veces igualmente importantes para el desarrollo de un país. Materiales como las arcillas necesarias para la elaboración de tejas y ladrillos, cerámicos y otros muchos usos, no suelen requerir inversiones tan cuantiosas para su explotación.

Cuál es el papel del geólogo dentro de la obtención de los recursos minerales?

En primer lugar se tienen en la actualidad conocimientos bastantes avanzados acerca de las asociaciones entre yacimientos minerales y tipos de roca que las contienen. Poco a poco, a través de varios siglos, se ha ido acumulando experiencia en ese sentido. En los últimos años dicha experiencia se ha complementado con experimentos de laboratorio cada vez más sofisticados, que han permitido definir con una precisión en aumento las condiciones físico-químicas de la formación de los depósitos minerales.

Los conocimientos anteriores permiten dar el primer enfoque de la prospección; el geólogo puede indicar en primera instancia los ambientes geológicos en los que pueden buscarse yacimientos de cobre o de fosfato; los mantos de carbón de la Cordillera Oriental están localizados en la Formación Guaduas, que fue depositada a finales del Cretáceo.

Estas consideraciones acerca del parentesco entre los yacimientos minerales y la geología regional permiten concretar la prospección a áreas mucho más limitadas.

En la ubicación de un depósito, se pueden utilizar también métodos de sensores remotos: fotos aéreas, combinaciones de imágenes de satélites obtenidas con diferentes longitudes de ondas, aeromagnetismo. Una vez localizada el área más prometedora, el geólogo efectúa un levantamiento detallado, abriendo a veces trincheras y recogiendo muestras para análisis tanto petrográfico como químico. Se procede entonces a un estudio geofísico del área: magnetometría, que permite discernir posibles acumulaciones de hierro: electromagnetismo, útil para localizar sulfuros, etc.

Si los resultados de las pesquisas anteriores son positivos, se procede entonces a conocer el prospecto en tres dimensiones; después de localizar cuidadosamente los sitios, se hacen perforaciones que permiten obtener núcleos cilíndricos del material estudiado. El alto costo de esta actividad, del orden de 300 dólares por metro, hace que se realice únicamente si se han agotado los métodos de investigación descritos anteriormente. Los núcleos también serán sometidos a análisis detallados; el resultado permitirá conocer dos de los parámetros fundamentales del proyecto: su concentración y su volumen.

LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA

La cartografía geológica realizada a nivel regional, tal como la lleva a cabo el Ingeominas o cualquier Servicio Geológico del mundo, es una actividad fundamental para un país. No solo se trata de la recolección de una información científica básica, sino de la producción de un documento totalmente indispensable para planear el futuro de una nación; efectivamente, sin una base geológica firme no se puede realizar ni la búsqueda de materias ni el aprovechamiento racional de la superficie de la tierra. Es por lo tanto imprescindible para un país completar su carta geológica.

En el caso de Colombia, existen mapas generalizados que cubren el territorio a una escala de 1:1.500.000. Por otra parte, aproximadamente la cuarta parte del país está cubierto con mapas geológicos realizados en el campo a escalas de 1:25.000 ó 1:50.000 y publicados o en impresión a escalas de 1:200.000 y 1:100.000.

Las áreas de más difícil acceso son lógicamente las que aún no se han estudiado; las vertientes occidental de la Cordillera Occidental, oriental de la Cordillera Oriental y las zonas de Amazonía y Orinoquía. Los esfuerzos y el costo que demandarán el cubrimiento de esas regiones serán muy grandes. Se aprovechará en un máximo posible el uso de los sensores remotos, particularmente imágenes de radar y de satélites, así como levantamientos aeromagnéticos. Se espera que antes de terminar este siglo, Colombia haya podido complementar totalmente su mapa geológico a escala 1:100.000.

Es de anotar que cualquiera de las aplicaciones de la Geología que se discutirán a continuación implican algún tipo de cartografía; sin embargo se trata de cartografía especializada, que se realiza generalmente a una escala mucho más detallada.

LOS RECURSOS MINERALES NO ENERGETICOS

La industria moderna consume cantidades enormes de materias primas derivadas de minerales. Uno de los índices más dicientes del grado de industrialización de un país sigue siendo su producción anual de acero. Dicha producción significa la transformación de volúmenes astronómicos de mineral de hierro en acero por procesos siderúrgicos que pueden requerir además grandes cantidades de carbón coquizante.

Además del hierro, existen otros metales cuyo consumo es totalmente indispensable en las diferentes áreas de la industria: el cobre, al manganeso,

ros "wildcat", resulta positiva, las demás, tendientes a una explotación del yacimiento se harán con base en criterios tanto ingenieriles como geológicos.

Colombia exportó petróleo hasta principios de la presente década; tiene ahora que importar más del 30 % de su consumo, lo que significa un impacto enorme sobre la balanza de pagos del país. Se ha intentado fomentar la exploración petrolera por medio de contratos de asociación entre Ecopetrol, la compañía estatal de hidrocarburos, y compañías extranjeras. La actividad exploratoria ha aumentado en los últimos meses, pero la producción sigue decayendo lentamente. Parece que los yacimientos "fáciles" de descubrir ya se hubieran agotado; los posibles hallazgos implican cada vez una mayor pericia geológica, una tecnología de perforación más avanzada, unas inversiones más cuantiosas y sobre todo un mayor riesgo financiero.

El Carbón:

Como el petróleo, el carbón proviene de depósitos de origen orgánico intercalados entre otras capas sedimentarias. A diferencia del petróleo, no parece haber sufrido transformaciones químicas tan drásticas, aunque se corozcan diferentes calidades de carbón basadas en sus propiedades tanto físicas como químicas. Los dos principales tipos de carbón son los coquizables y los térmicos.

Los primeros tienen características que les permiten ser transformados en coque para ser utilizados en los procesos siderúrgicos para la fundición del hierro; en los altos hornos de coque cumple no solamente el papel de agente reductor de los minerales de hierro, generalmente óxidos o hidróxidos, sino que debe sostener durante la combustión la carga que representan las sucesivas capas de mineral de hierro, coque y caliza. El precio de los carbones coquizables, más escasos, es superior al de los carbones que solo pueden ser utilizados para fines caloríficos, principalmente en plantas termoeléctricas.

En la prospección de los carbones, el geólogo procede en el mismo orden que para los demás recursos: geología regional, fotointerpretación, geología detallada, trincheras, perforaciones. Cada una de las muestras recogidas es sometida en laboratorios a ensayos físico-químicos que permitirán obtener la calidad del carbón analizado, y por lo tanto su posible precio.

Las cuencas carboníferas colombianas son numerosas; el país cuenta con las mejores reservas de Sur América; ventaja que no deja de ser muy relativa ya que no llegan a representar el 1 % de las reservas mundiales. El interés por el estudio de esas cuencas ha aumentado a partir de la crisis del petróleo de 1973. Carbolcol, la empresa del estado que tiene a su cargo la explotación y la comer-

Sólo con estos datos podrá procederse al análisis económico de una posible explotación; se trata del estudio de prefactibilidad.

Si resulta positivo, se requiere otra inversión de gran magnitud, representada en una serie de perforaciones más densas con sus respectivos análisis, complementados con un estudio económico más detallado, que incluye los costos de instalación de plantas para beneficiar el mineral, fuentes energéticas, medios de transporte, alojamiento, etc. Hecho lo anterior, que se denomina el estudio de factibilidad, será necesario si los resultados siguen positivos, buscar los capitales necesarios para pasar de los planes a la explotación del depósito.

Como puede apreciarse, el tiempo que media entre el hallazgo de un prospecto favorable y la apertura de una mina es de varios años. En caso de exploraciones de más pequeña escala (muchas veces es el caso para minerales no metálicos como arcillas, caliza, yeso, etc.), este tiempo puede reducirse a unos meses.

LOS RECURSOS MINERALES ENERGETICOS

Hasta hace pocos años, se ponía énfasis en la necesidad que tenían los países industrializados de auto-abastecerse en una docena de materias primas de origen mineral, con el fin de atender sus necesidades de crecimiento. Hoy este concepto se ha revisado y la única independencia a la que tiende es a la energética. En un mundo convulsionado como el actual, esta intención ha dado lugar a tremendas crisis tanto económicas como políticas. Desde 1973, las naciones occidentales desarrolladas han tomado conciencia de la vulnerabilidad de sus aprovisionamientos en petróleo. Los sucesivos aumentos en los precios, decretados por la OPEP, han ido abriéndole al carbón un lugar de importancia cada vez mayor en el panorama energético.

Por otra parte, se ha ido haciendo cada vez más clara la idea tan obvia pero tan olvidada de que tanto los hidrocarburos, el carbón y los minerales radioactivos, son como las otras sustancias de origen mineral, recursos agotables, no renovables, originados en el seno de formaciones geológicas, en épocas que se remontan generalmente a varios millones de años, son el producto de circunstancias bastante excepcionales que aún en caso de presentarse actualmente, tomarían lapsos de tiempo incomparablemente superiores a los que emplea la humanidad para consumirlos.

El aprovechamiento incipiente de las fuentes de energía llamadas no convencionales, como son la eólica, la solar, la de las mareas, etc., aún tomará

cialización de los carbones colombianos, e Ingeominas están aunando esfuerzos para la investigación sistemática de cada una de las cuencas del país.

Por ahora solo se produce carbón por medio de minería en gran escala en las Acerías de Paz de Río (Boyacá). Dentro de pocos años se tiene prevista la ~~iniciación de~~ producción de carbón térmico en el depósito de El Cerrejón, (Guajira) se dedicará primordialmente a exportación. Existen otros proyectos para ~~explotar~~ grandes cantidades de carbón coquizable, destinadas parcialmente a ~~explotación~~ ^{EXPORTACIÓN}, a partir de los depósitos de la cuenca de Checua-Lenguazaque, localizados al Norte de la Sabana de Bogotá.

Minerales Radioactivos

Tanto el IAN (Instituto de Asuntos Nucleares) como Coluranio (empresa comercial del estado), en asociación con entidades extranjeras, están en la actualidad prospectando Uranio en varias áreas del país. No se tiene previsto a corto plazo la producción de energía eléctrica en Colombia por medio de plantas nucleares. Sin embargo se ha pensado en producir "yellow cake", concentrado de óxidos de Uranio con una cantidad de U^{235} suficiente para que pueda utilizarse como materia prima para la producción de electricidad.

RECURSOS GEOTERMICOS

En la corteza de la tierra, la temperatura aumenta con la profundidad; eso se expresa en $^{\circ}C/m$, bajo el nombre de gradiente geotérmico. En ciertas zonas de la tierra, el gradiente es anormalmente alto. Cuando ~~además de~~ ese fenómeno, que se presenta con frecuencia en zonas volcánicas, está acompañado por vapor de agua que puede provenir de manifestaciones volcánicas o de aguas atmosféricas infiltradas, se tienen condiciones adecuadas para aprovechar la energía geotérmica. Efectivamente, dicho vapor, si se encuentra a presiones suficientes, puede usarse para mover turbinas de la misma manera que en las termocentrales clásicas se le utiliza una vez producido por combustiones de carbón o de hidrocarburos. Las ventajas de la geotermia son grandes; es prácticamente inagotable; no es contaminante, su costo de instalación es solo moderadamente superior al de las otras Centrales térmicas.

Cuál es la labor del geólogo en la prospección de recursos geotérmicos? La selección preliminar del área la basa en imágenes de satélites tomadas en la banda infra-roja o en consideraciones de geología regional. Procede luego al estudio geológico detallado, que permite determinar la secuencia de rocas, y la posible presencia de un gradiente térmico "húmedo". Obtiene muestras de

para su desarrollo a escala adecuada un tiempo bastante largo, durante el cual se tendrá que depender de los recursos clásicos. Aún en un país como Colombia, dotado de un excelente potencial para producir energía hidroeléctrica, el tema de la energía seguirá ocupando durante muchos años la primera plana de los periódicos.

Los Hidrocarburos:

Formados por el aprisionamiento de sustancias orgánicas en medio de sedimentos, seguido de una verdadera destilación natural producida por temperaturas relativamente altas en la corteza terrestre, han sufrido difusión en rocas permeables hasta llegar a un obstáculo natural que impidió su posterior migración. Tanto el gas natural como el petróleo se encuentran impregnando rocas porosas. Para beneficiarlos, es preciso perforar unos pozos, que pueden llegar a veces a 5 ó 6 mil metros de profundidad y muchas veces bombear los flúidos hacia la superficie. Cuál es el papel del geólogo dentro del hallazgo de un yacimiento de petróleo o de gas natural?

En primer lugar, un estudio global de la Geología de una región dada debe indicar las áreas donde en principio podrían encontrarse hidrocarburos. En segundo lugar, se procede al estudio geológico superficial de la región, el que se complementa con estudios geofísicos: generalmente gravimetría y sismología de reflexión y refracción. Después de una concienzuda interpretación de los datos tanto geológicos como geofísicos, debe tomarse la decisión difícil: perforar o no perforar. Si se tiene en cuenta que el costo de un pozo exploratorio es del orden de 10 millones de dólares, se verá inmediatamente los dolores de cabeza que implica la decisión anterior. Durante la perforación del pozo le corresponde al geólogo el examen meticuloso de los fragmentos de roca que le llegan transportados por los flúidos que se bombean permanentemente hasta la broca por el interior de la tubería de perforación y que regresan a la superficie en el espacio entre los tubos y las paredes. Los minerales y los microfósiles que contengan estos fragmentos permitirán identificar el tipo de roca que se atraviesa. Será también el geólogo quien señalará por medio de la observación con una lámpara de luz ultra-violeta, la aparición de las primeras trazas de hidrocarburos en los lodos de perforación. El examen de minerales y fósiles se complementa por medio de los registros de pozo; una sonda bajada después de terminada la perforación permitirá obtener registros eléctricos y nucleares que contribuirán a la identificación de la naturaleza de las rocas atravesadas.

El geólogo es también el encargado de la interpretación de los registros. Finalmente, si la primera perforación, llamada en el argot de los petrole-

estas dos ciencias. Sin embargo, hacia fines del siglo pasado, problemas de gran magnitud ocurridos durante la realización de grandes obras civiles (túneles y represas particularmente) hicieron sentir la necesidad de realizar previamente estudios geológicos detallados de las áreas directamente afectadas. Hoy en día es práctica establecida el reservar un porcentaje relativamente pequeño del valor total de una obra civil de gran magnitud para efectuar los estudios geológicos previos.

El término de Geotecnia se utiliza a veces para designar una serie de disciplinas afines que cubren los siguientes aspectos (tomado de los Estatutos de la Sociedad Colombiana de Geotecnia): mecánica de suelos, cimentaciones, mecánicas de rocas, ingeniería geológica. Antes de seguir adelante, es bueno aclarar que los ingenieros entienden por suelo toda sustancia suelta que ocurra en la superficie de la tierra; esto puede incluir rocas descompuestas, sedimentos, arcillas procedentes de movimiento de masa, etc. Por otra parte, utilizan el término roca para designar las sustancias duras, coherentes, que los geólogos suelen denominar "roca fresca". Afortunadamente pequeñas dificultades como ésta, inherentes a la diferencia de formación entre geólogos e ingenieros, tienden a desaparecer para ser reemplazados por una colaboración muy estrecha para la solución de problemas comunes.

Qué espera el Ingeniero Civil del Geólogo?

En primer lugar un panorama sobre la situación geológica regional: estructura geológica general, evidencias de tectónica reciente, peligros de inundaciones, deslizamiento en gran escala, etc.

En segundo lugar un estudio concienzudo de las rocas o suelos en las que se van a excavar o asentar las obras: la naturaleza de dichas rocas o suelos, su grado de descomposición, de fracturación, de homogeneidad, etc. A continuación debe el geólogo escoger y utilizar los métodos geofísicos necesarios para complementar las observaciones en el terreno. Se utiliza generalmente la sísmica, que puede eventualmente respaldarse con métodos eléctricos.

También le corresponde al geólogo escoger el lugar donde se harán las perforaciones necesarias para una visión tridimensional de las rocas afectadas. La experiencia ha demostrado que es completamente indispensable llevar a cabo esta verificación: durante la excavación de un túnel en Suiza, a principios de este siglo, realizada sin tomar esta precaución, se encontraron depósitos aluviales saturados de agua que no se habían previsto. El resultado fue una verdadera catástrofe: la inundación repentina que ocurrió causó la muerte de 15 personas.

El geólogo y el ingeniero deben analizar juntos los resultados obtenidos y hacer realizar por laboratorios competentes los análisis mecánicos necesa-

aguas, gases y rocas del área y los analiza para consolidar sus hipótesis. Finalmente, cuando se inicia la labor de perforación, localizada en el área que él escogió, estudia las muestras y los datos físico-químicos obtenidos.

En Italia, el campo geotérmico de Larderello produce electricidad desde principios de este siglo. En la última década, se han establecido plantas geotérmicas en El Salvador, en Estados Unidos y en Chile, entre otros. En Colombia se ha iniciado ~~este año~~ la prospección de recursos geotérmicos en la zona del Nevado del Ruiz, ~~por medio de un contrato celebrado entre el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) y el Ingeominas.~~ De resultar positiva dicha investigación, las posibilidades futuras para el país en este campo, serán bastante grandes, ya que nuestra Cordillera Central tiene manifestaciones de volcanismo prácticamente desde el Nevado del Ruiz, hasta la frontera con el Ecuador.

AGUAS SUBTERRANEAS

Muchas áreas del país carecen de aguas superficiales en cantidad suficiente para abastecer las necesidades básicas: uso humano, agricultura e industrias. La solución en éstos casos es el aprovechamiento de las aguas subterráneas, que se encuentran en rocas porosas y permeables a cierta profundidad. Si se tiene en cuenta que en algunos países de Europa Occidental, la dependencia de las aguas subterráneas para el consumo humano es del orden del 70% , se puede concluir que Colombia, que sólo las aprovecha para el 2% de su consumo, tiene ahí un potencial de gran magnitud.

Las aguas subterráneas ya no se buscan con el péndulo o la horquilla de los brujos. Los geólogos identifican su presencia gracias a un estudio geológico detallado, que se complementa con observaciones geofísicas, principalmente según el método de resistividad, ya que las rocas porosas suelen ser mucho mejores conductores de la corriente eléctrica.

Una vez delimitados los acuíferos, se procede a perforar pozos exploratorios que servirán para su estudio. En efecto, para una explotación racional de las aguas subterráneas se requiere tener una información detallada acerca de una serie de características: espesor de los acuíferos, presión, zonas de recarga (en las que aguas superficiales pueden alimentar los estratos permeables), etc. Un aprovechamiento sin control puede significar una duración mínima del suministro.

GEOLÓGIA AMBIENTAL REGIONAL

Ya se ha visto que el mapa geológico era un elemento fundamental de cualquier tipo de planeación racional de aprovechamiento de los recursos natu-

rios. Procederán enseguida a recomendar el diseño más adecuado y las medidas de control pertinentes a la obra.

GEOLOGIA URBANA

Esta aplicación de la geología aún no ha tenido más que un desarrollo incipiente en Colombia. Sin embargo, en países como Estados Unidos, Europa Occidental, está tomando un auge de gran trascendencia.

Si se considera el crecimiento acelerado que caracteriza a las ciudades colombianas, mucho mayor al de cualquier ciudad localizada en un país industrializado, se verá la importancia que reviste para el país el desarrollo de esa disciplina.

Qué puede la geología ofrecerle a los encargados de la regulación y de la planificación de nuestras ciudades?

Existen muchos problemas urbanos relacionados con geología. A título de información, se menciona a continuación unos cuantos:

- Fuentes de materiales de construcción
- Riesgos de inundación
- Riesgos de deslizamientos (inestabilidad de vertientes)
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
- Almacenamiento de desechos (basuras)

Se espera que dentro de muy poco tiempo, cada ciudad colombiana pueda contar con los servicios de un geólogo que asesore a las autoridades municipales acerca de estos problemas y de muchos otros relacionados con la urbanización.

El desempeño de la profesión de geólogo exige condiciones físicas óptimas. No es una carrera que deben escoger personas que tengan vocación de burócratas o de gerentes; el geólogo pasa la mayor parte de su tiempo en el campo, en condiciones muchas veces inhóspitas: climas extremos, carencias de vías de comunicación, aislamiento, exposición a plagas, vida aislada y a menudo solitaria.

Las "comisiones" de campo, que se efectúan con frecuencia en áreas remotas y selváticas, duran de 15 a 20 días. El geólogo debe aprender a vivir

80

rales no renovables. Pero existe además otro recurso que poco a poco viene apreciándose como tal, la superficie de la tierra. Con una mentalidad antropocéntrica abusiva secundada por la creencia muy arraigada de que los recursos naturales son inagotables, los colombianos nos hemos dedicado a usar la superficie de la tierra sin ningún tipo de consideraciones; así es como se han desforestado áreas con pendientes excesivas, con suelos demasiado pobres para la agricultura tradicional; el resultado ha sido un aumento drástico de la erosión, tanto en sus variedades superficiales (erosión laminar, en surcos y en cárcavas) como en forma de movimientos masivos (derrumbes, deslizamientos). Otra consecuencia del uso inapropiado de la tierra ha sido el cambio sufrido por muchos de nuestros ríos: caudales irregulares, sedimentación excesiva, inundaciones frecuentes. El peligro que ésto representa para un país que ha escogido desarrollar su enorme potencialidad hidroeléctrica es evidente.

Es pues el momento de buscar una planeación en el uso de la tierra, que permita evitar desastres que irán en aumento con el tiempo. La identificación de las restricciones a la utilización de un área dada, debe hacerse con la colaboración de un equipo de trabajo: agrónomos, ingenieros forestales, hidrólogos, biólogos, ecologistas y geólogos.

Dos factores impiden el desarrollo de los estudios anteriores: la falta de recursos y la tremenda presión demográfica que sigue generando una "colonización" acelerada en muchas áreas de nuestro territorio. Sin embargo, es de esperar que las distintas entidades encargadas de los diversos aspectos del problema aumen esfuerzos para lograr su solución.

El ejemplo peruano es muy ilustrativo; a raíz de las catástrofes ocurridas por aludes de hielo en lagunas glaciares del Departamento de Ancash, responsables a su vez de enormes aluviones que causaron la destrucción de varias poblaciones, obras de ingeniería y tierras agrícolas, provocando la muerte de decenas de miles de personas, el Servicio Geológico Peruano (INGEMMET) estableció el programa de glaciología y seguridad de lagunas, que permite un control permanente de la estabilidad de los glaciares y establece los mecanismos necesarios para dar previo aviso a los pobladores. Si se recuerda que en 1845 una catástrofe similar, originada en el Nevado del Ruiz, arruinó los valles de los ríos Lagunilla y Sabandija, se deduce fácilmente que la geología ambiental no es propiamente una actividad académica.

Por otra parte la necesidad de realizar estudios de riesgo sísmico ha quedado evidenciado a raíz de la reciente catástrofe de Popayán -

GEOLOGIA APLICADA A INGENIERIA CIVIL (GEOTECNIA)

La Ingeniería y la Arquitectura tuvieron una evolución totalmente independiente con respecto a las ciencias naturales; basadas en la aplicación de principios físicos y matemáticos, se desarrollaron con un ritmo similar al de

separado de su familia durante períodos frecuentes, por lo menos durante la primera parte de su vida profesional.

Por otra parte, para las personas dispuestas a aceptar las dificultades para escapar de la vida alienante de las ciudades, la geología ofrece una profesión creativa y llena de satisfacciones que compensan los sacrificios.

El Consejo Profesional de Geología, creado por la Ley 9a. de 1974, tiene a su cargo la vigilancia del ejercicio de la profesión de geólogo.

ORGANIZACIONES

La Sociedad Colombiana de Geología es una agrupación científica que fomenta el conocimiento geológico y su divulgación. Está en la actualidad estableciendo capítulos en las ciudades más importantes del país.

La Sociedad Colombiana de Geólogos y Geofísicos reúne a los profesionales que laboran en el sector de petróleos; organiza conferencias periódicas así como excursiones geológicas anuales a regiones de interés.

Agunal es una entidad sindical de geólogos egresados de la Universidad Nacional.

Agempet, Asociación de Ingenieros de Geología, Geólogos, Ingenieros de Minas y Mineralogía e Ingenieros de Petróleos; agrupa principalmente a egresados de la Facultad de Minas de Medellín.

La Sociedad Colombiana de Geotecnia está integrada por Geólogos e Ingenieros interesados en este ramo. Organiza conferencias anuales, así como simposios, seminarios y cursos.

Se han organizado hasta ahora ^{cuatro} dos Congresos Nacionales de Geología: uno en 1969 y otro en 1978, ambos en Bogotá. El próximo está previsto en Medellín para mediados de 1981. Estos eventos permiten un amplio intercambio

1982 en Cali; en 1984 tendrá lugar el 5° en Bucaramanga. También tuvo lugar en Cartagena, en 1983, la X Conferencia Geológica del Caribe

en 1981 en Medellín; en

de conocimientos y de ideas entre los profesionales del país y cuenta con la participación de numerosos conferencistas extranjeros.

LA GEOLOGIA EN EXATIT

CUADRO N° 1

f82

Era	Periodo	Epoca	En millones de años	Años del Presente
			Duración	
Cenozoico	Cenozoico	Pleistoceno	1.5-2	65
		Plioceno	5-5.5	
		Mioceno	19	
		Oligoceno	11-12	
		Eoceno	15-17	
Mesozoico	Cenozoico	Paleoceno	11-12	225
		Cretaceo	71	
		Jurásico	54-59	
		Triásico	30-35	
		Permiano	55	
		Pensilvaniano	45	
		Misipianiano	20	
		Devónico	50	
		Silurico	35-45	
		Ordovícico	60-70	
Paleozoico	Cenozoico	Cámbrica	70	570
		Arcaico		

7 §. CONCLUSIONES

Se espera que estas notas le hayan suministrado al lector con la paciencia suficiente para llegar hasta este punto, una idea un poco más clara de lo que es la Geología; que contribuyan en algo para sacar a esa disciplina del limbo esotérico que la ha caracterizado en nuestro medio. Sin creer en pragmatismos excesivos, pero sin perder de vista la enorme importancia de sus aplicaciones en la economía actual y futura del país, puede presentarse el papel de la Geología como una necesidad indispensable para el correcto manejo de los recursos de Colombia.

Finalmente ~~se espera~~ ^{si} que este folleto ^e permita que lleguen a cursar estudios universitarios en Geología personas que tengan acerca de su futura profesión un concepto ~~un poco más claro~~ ^{definido} que el que tienen muchos de los estudiantes actuales, ^{habrá cumplido con su función.}

9. BIBLIOGRAFIA ESCOGIDA

- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE, 1960.- *Glossary of Geology and Related Sciences*. Washington, USA: AGI, 325 p.
- ANGULO, R. (Editor), 1978.- *Recursos Minerales de Colombia. Publicación Geológica Especial del Ingeominas No. 1*, 544 p.
- FURON, R., 1960.- *La Géologie et l'Economie Moderne*. París, SEDES, 112 p.
- HURLEY, p. 1960.- *Qué edad tiene la tierra?* (Traducción de la obra *How old is the Earth?*, publicado originalmente en 1959). Buenos Aires; Eudeba, 153 p.
- RODRIGUEZ, C.O., 1977.- *Hidrología Isotópica en Colombia*. Bogotá: Instituto de Asuntos Nucleares. Aplicación de Isótopos en Geología, 81 p.