

ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR

D. AGUSTÍN MARÍN Y BERTRÁN DE LIS

Y

CONTESTACIÓN

DEL EXCMO. SEÑOR

D. PEDRO DE NOVO Y FERNÁNDEZ-CHICARRO

EL DÍA 18 DE NOVIEMBRE DE 1931



MADRID
GRÁFICAS REUNIDAS, S. A.
96, Hermosilla, 96
1931

DISCURSO

DE

D. AGUSTÍN MARÍN Y BERTRÁN DE LIS

Dada la evidente desproporción que existe entre mis méritos y la alta honra que me habéis otorgado al abrirme las puertas de esta Academia, no sé si vuestra decisión obedece a generosidad o a error. Sea lo que fuere, mi propósito es procurar aminorar el desnivel existente, y para conseguirlo, no dispongo de otra cosa que mi voluntad, que pongo por completo al servicio de esta casa.

Muchos esfuerzos tengo que hacer para ello, pues basta pensar en lo difícil que me será llenar el hueco que dejó en esta casa mi predecesor. Era D. Lucas Fernández Navarro gran trabajador, enamorado de la ciencia, y desde mis primeros pasos vacilantes en la geología lo vi siempre delante de mí, caminando con paso firme, con ardor de paladín y entusiasmo de iluminado. Por azar del destino, el que habéis decidido siga en esta casa la labor de Fernández Navarro, lo siguió muy de cerca en sus trabajos y en sus actividades. El camino que recorrió el que estas líneas escribe en sus estudios de Marruecos y Canarias estaba desbrozado gracias a su heroico empeño, a su cultura geológica enciclopédica. Mucho hay que aprender aún en Marruecos; sabios y sabios se esfuerzan por descubrir allí la entraña de los grandes problemas geológicos que afectan, no a pueblos ni a naciones, sino a continentes; no a ríos y lagos, sino a mares. En ese trozo de África

parece más tupido el velo del Isis, pero por lo mismo, mayor debe ser nuestro afán de descórrerlo. En él parece dejaron huella las grandes conmociones del Mundo; allí sin duda debe estar la clave de muchos misterios geológicos que expliquen a qué dinamismo, a qué fenómenos se debe el relieve actual de la Tierra.

Es país, por tanto, de promisión para la ciencia geológica, y en él nunca se olvidará la labor de uno de sus primeros investigadores, y el nombre de Fernández Navarro estará estampado siempre en la primera página del libro que la ciencia del porvenir escribirá sobre la geología de Marruecos.

En otro país del Mundo, en las afortunadas Islas Canarias, también seguí los pasos del maestro, pero allí sus trabajos pudieron contar con medios materiales y de seguridad para desenvolverse con toda holgura. Allí, no sólo desbrozó el camino, sino que se puede decir que lo urbanizó, y aunque nunca se llega a los límites de la ciencia — porque continuamente éstos se renuevan —, sí se puede decir que el estudio que hizo del suelo canario fué muy completo, y en él encontramos los que lo seguimos, guía segura y lecciones maestras para nuestra labor científica. En Navarro se unían en justo consorcio el ánimo decidido y valeroso de explorador, con la reflexión y método del hombre de ciencia.

Con la palabra hablada y con la escrita, llenó de ideas los centros científicos, las cátedras, las revistas profesionales, los periódicos, dedicando su vida al trabajo, su ídolo, al que en todo momento rindió pleitesía.

De Navarro se puede asegurar que, como el Cid, ganará batallas después de muerto, porque tenía preparadas para publicarse dos obras muy interesantes: Una referente al diamante, en el que no queda otra labor por hacer que la que tienen que llevar a cabo

sus familiares, poniendo al día algunos datos industriales, y la otra obra, en cuyo empeño le sorprendió la muerte, es la segunda edición de *Los Minerales de España*, de D. Salvador Calderón. No creo que exista persona en relación con las ciencias naturales que no haya tenido que acudir a dicho famoso libro, pero éste, como nosotros, se ha hecho viejo, es preciso renovarlo, ponerlo al día, y esta labor la había realizado Navarro describiendo especies nuevas descubiertas en España, y ensanchando las procedencias y propiedades de las que citara Calderón. Esta obra, que reúne gran interés y además representa enorme trabajo, necesita aún, para presentarse bien perjeñada a la luz pública, ordenar notas, hacer algunas correcciones, y es de esperar que su amante hijo, que honra al Cuerpo de Ingenieros de Minas, sabrá ocuparse del libro con el mismo interés, con el mismo cariño y con el mismo respeto con que trató a su autor.

El tema «La Atlántida», que desarrolló Navarro en su ingreso en la Academia, estaba muy en consonancia con su espíritu de sabio y de explorador. Yo quisiera, en esto como en todo, seguir su ejemplo, aunque, forzosamente, en esfera mucho más modesta, y que el tema elegido sea como símbolo de lo poco que yo he podido ofrendar a la ciencia.

En el ejercicio de mi carrera de Ingeniero de Minas me vi en la necesidad de recurrir a la geología, y a esta ciencia, cuanto más se la trata, más cariño se la toma, sobre todo si se tropieza con maestros como Mallada, Azpeitia, Cortázar, Orueta y Adán de Yarza, que saben iluminar nuestro cerebro y avivar nuestra voluntad para el trabajo.

El cultivo de las aplicaciones de la geología fué el que desarrolló en mí el amor a la ciencia de la tierra y el que me hizo aprender

lo poco que de ella sé, y es, por consiguiente, natural que me cautivara para tema de mi discurso en este para mí solemne día; uno que pusiera de manifiesto cómo han seguido los conocimientos de la humanidad, y, sobre todo, los españoles, a través de los siglos, el mismo proceso que yo en pequeño seguí. Sé muy bien que el tema «Desarrollo histórico de las aplicaciones de la geología» es desproporcionado a mis conocimientos, pero os ruego perdonéis mi atrevimiento al elegirlo y aun más al exponerlo.

* * *

No hay duda de que la aplicación más importante de la geología es la que tiene por objeto buscar en el seno de la tierra sustancias útiles al hombre.

Dos ciencias se han creado para este fin: la metalogenia y la llamada ahora hidrogeología. Esta segunda es sólo parte de la primera, pues tan sustancia mineral es el agua como el oro, pero por la importancia que la aplicación de aquélla tiene para la humanidad, y por la particularidad de su estado, bien merece edificio propio y especial.

En la metalogenia, a pesar de su título, se buscan todas las sustancias útiles, lo mismo las metalíferas que las que no lo son, de modo que en ella está comprendido lo mismo el arte que utilizaron los hombres de la Edad de Piedra para extraer los pedernales y cuarcitas para sus eolitos y hachas y los ocre rojos y amarillos para su tatuaje, que los estudios que ahora se hacen para transparentar la tierra valiéndose de los métodos geofísicos.

En este caso, la aplicación nació antes que la ciencia que ahora tenemos por madre. La primera, desde sus orígenes, tuvo vida

instintiva; consideraba los minerales en sí mismos, distribuidos en la naturaleza de manera caprichosa. Pero, en el rodar de los siglos, los hombres se fueron dando cuenta de la relación de unos minerales con otros, de su dependencia con la tierra madre, y se encontraron leyes y se hallaron reglas y principios. Y los hechos descubiertos pedían explicaciones a los sabios, y de los esfuerzos de éstos por encontrarlas fué naciendo la ciencia geológica. Una vez ésta en pleno desarrollo, por ley de compensaciones, entregó perfeccionadas reglas y principios que había antes recibido o creó otros que ensancharon el campo de la metalogenia.

Desde la más tierna infancia de la humanidad, el hombre buscaba las sustancias que le eran útiles y sabía distinguir el sílex entre los otros minerales, porque era el que le servía para sus primitivas herramientas. El pedernal fué buscado con ahinco por el hombre primitivo, porque el mayor número de las hachas prehistóricas de esa sustancia están construídas. El aprovechamiento de piedras preciosas y de los ocre, también es muy antiguo, a causa de que la coquetería y adorno de la persona — tal vez origen del arte — fué ya atributo de Eva.

En tiempos posteriores se empezaron a usar los metales e indudablemente el oro debió ser el primero que llamó la atención del hombre y empezó su predominio que nunca ha abandonado.

Se sabe que es difícil fijar en el curso que marca Cronos la época de la aparición de las diversas culturas prehistóricas, por ser muy diferentes según los países, y difícil también enlazar dichas épocas con aquellos primeros tiempos en que, por la tradición o por escritos, se puede decir que comienza la historia.

La diadema de oro hallada en la cueva de los Murciélagos, de

Albuñol, los pendientes y anillos de la necrópolis de Algar y las diademas de franjas de Cáceres, indican bien claro que no sólo era conocido el oro en los tiempos neolíticos y eneolíticos, sino que lo sabían trabajar.

Conocemos también las primeras citas históricas, alguna de diez milenios antes de J. C., como la del regalo que hicieron Hiram y Sabá a Salomón para adornar el templo de Jerusalén; los trabajos de los primeros herbarios chinos (que eran libros de Historia Natural) como el del llamado Pentshao de Kang Ming de Li Chi Tcheu del IX milenio antes de J. C., y el del Emperador Chin-Nong. Se citan en ellos el oro, piedras preciosas y piedras ordinarias. Existen libros de Historia Natural de los persas. Zoroastres compuso, según traducción ordenada por Almanzor, los titulados *Natura Chímica* y *Lapidibus pretiosis*, que hablan del oro, y Sachalías uno de piedras preciosas.

Después del oro el cobre parece que le sigue en antigüedad, pues ya se encuentran adornos de ese metal en las tumbas más modernas del período eneolítico, en las contemporáneas de la cerámica de cuerda, en el período de iniciación del eneolítico de Portugal, en la cultura catalana de cerámica con relieve y, sobre todo, en el interesantísimo eneolítico de Almería, región muy abundante en minas de cobre y seguramente una de las de Europa que desde más antiguo conocieron la metalurgia. La fecha del final del eneolítico, según Schmidt, es hacia 2500 años antes de J. C. Corresponde a la época histórica de la dinastía V egipcia, en cuyo final se hizo la conquista a las tribus de beduinos de los yacimientos de cobre de la península del Sinaí.

Con el descubrimiento del estaño o plomo blanco, comenzó la época de la Edad de Bronce, pues esta aleación tuvo influencia de-

cisiva en la cultura, no así el oro y el cobre, que sólo se consideraron materiales para construir objetos de adorno.

El estaño, muy empleado en tiempos de los romanos en Lusitania y Galicia, fué conocido en tiempos de fenicios y cartagineses en las islas Destrymnicas, al Sur de España, en Huelva, según se deduce de la oda marítima «El Periplo de Himilco», del siglo VI antes de J. C., de Rufo Festo Avieno, traducido por Antonio Blázquez, y que se conserva en El Escorial.

La plata era también conocida desde muy antiguo, pues en la necrópolis de Algar, del período eneolítico, se encontraron cuatro diademas de plata que adornaban otros tantos cráneos femeninos, y pendientes, anillos y otros adornos del referido metal.

Es indudable que la explotación de la plata en España es muy anterior a los trabajos de cartagineses y romanos, y la tradición consideró a nuestro país como el centro argentífero más importante del mundo. Los iberos la extrajeron y fundieron muy en grande. El conocimiento del electrón, aleación de oro y plata, es también muy antiguo.

El metal hierro era sin duda conocido en la Tierra mucho antes que diera comienzo la verdadera Edad del Hierro, pero por no conocer bien el arte de su extracción de los minerales que lo contienen, por creencias religiosas y porque consideraban al bronce metal más distinguido, más artístico y de mayor nobleza, dejó de utilizarse el hierro en sentido cultural. Es interesante hacer constar que la oposición al empleo del hierro era grande, y en el tratado de Porcuna, hecho por los romanos, se ordenaba que los objetos de hierro no se utilizaran más que en la agricultura. Es posible que en países que no participaron de la cultura de la Edad de

Bronce, como gran parte de Africa, fuera el hierro el primer metal explotado.

En Egipto la Edad de Hierro empieza hacia 1200 años antes de J. C., en tiempo de Ramsés III.

En el Asia Menor parece ser que fué donde primero se conoció la técnica de la obtención del hierro. En una carta del rey Dushratia de Mitani, país situado en la alta Mesopotamia, al rey de Egipto Amenhotep III (1411-1375), se habla de un puñal de hierro que envió el primero al segundo, y, según Flinders Petrie, la referencia escrita más antigua es la de un texto religioso de Abu-Simbel, del siglo XIII antes de J. C., en el cual dice que el Dios Ptah había hecho los miembros del Faraón Ramsés II de electrón, los huesos de bronce y los brazos de hierro del cielo (meteoritos).

Es curioso el dato citado por Moritz Hoernes, de que en los cuatro primeros libros de Moisés la palabra bronce se emplea 83 veces y sólo cuatro la de hierro.

Los calibes, que habitaban tierras de la costa oriental del Mar Negro, merecieron el nombre de «los forjadores del hierro», y es legendaria su fama como artífices de dicho metal.

En España, Viterbo, 1289 años antes de J. C., habla de que un tal Caco descubrió los mineros de hierro y labró armas con ellos.

La llamada Edad de Hierro, que puede abarcar la primera mitad del milenio antes de J. C., coincide con el desarrollo de Roma y con las colonizaciones fenicia y griega en nuestro país.

El hombre primitivo, en un principio, debió utilizar las sustancias que encontraba esparcidas por el suelo, sin tomarse otro trabajo que recogerlas, pero posteriormente tuvo necesidad de hacer trabajos de excavación para buscar los preciados minerales, y ya en el neolítico se conocen restos de explotaciones mineras. Las

primeras labores fueron poco profundas, como las de las llamadas minas de Tschudes, desde los Urales a Altai.

Poco podemos saber del arte o ciencia que dirigía estas primeras explotaciones mineras, entre las que hay que contar como de las más antiguas la de las minas de cobre del Arnao, en Asturias (muy profunda); Riner, en Lérida, y las ricas minas de cobre andaluzas y portuguesas. Las minas de estaño de Korasan (Drangiana) se consideran las primeras explotadas de esta sustancia, y las de cielo abierto de la comarca estiria llamada Erzberg, como las más antiguas de mineral de hierro. Parece que el oro primeramente se explotó en Egipto, Lydia, en el país de Cresus y de Midas en Armenia, y después en España, Galia, Macedonia e Italia septentrional. El oro sin duda se extrajo primero de los ríos y después se arrancó de filones y vetas. Se extrajo sal en el lago de Hallstatt, en Austria, probablemente en el neolítico.

Bien conocidos son todos los escritos antiguos sobre la riqueza minera de nuestra Península, desde los escritores bíblicos hasta los trabajos más documentados de Aristóteles, Posidonio, Estrabón, Diodoro Sículo, Lucrecio y, sobre todo, Plinio. Aristóteles dijo que los movimientos que había sufrido la Tierra y los incendios de los bosques habían hecho abrir en España las inmensas entrañas de sus metales a la luz del día, y el genial geógrafo Estrabón describe y encomia yacimientos minerales españoles.

Plinio dijo que toda España está empedrada y rebosando metales de plomo, hierro, cobre, estaño, plata y oro. Como símbolo del modo de pensar de los escritores antiguos, no hay más que recordar las leyendas o historias sobre nuestra riqueza: la de los ríos de metales producidos en el incendio de Los Pirineos; el árbol La Oliva, de oro y esmeraldas, llamado Pigmaleón en el templo de

Hércules Egipcio en Cádiz; la gran cantidad de metales que hallaron en Tartessos los griegos; las riquezas que se ostentaron en la boda de Viriato, y otros muchos.

Sin duda alguna, lo mismo que en minería para hacer el desagüe pasaron los antiguos desde la vasija extraída a mano al tornillo de Arquímedes o a la máquina de Ctésibius y para el arranque de los minerales de las hachas de piedra a las mazas, cuñas y maquinarias en que movían masas de hierro de 50 libras, lo mismo debieron progresar en las reglas y métodos para buscar la relación de unos minerales con otros y con las rocas en donde encajan.

Diodoro Sículo habla de la inteligencia de los egipcios en mineralogía y de su prolijidad y cuidado en elaborar las minas de oro que tenían en las vecindades del Mar Rojo. Dice que presidían los trabajos ciertos capataces que señalaban las vetas en donde debían trabajar y aquellas de las que debían apartarse. Según nos cuenta Herodoto (485 a 425 antes de J. C.), los egipcios y los caldeos habían observado con espíritu naturalista los materiales de los aluviones, y admitían la posibilidad de que algunas tierras tuvieran su origen en los sedimentos depositados por el agua del mar. Advirtieron también la existencia de conchas incrustadas en las montañas.

Las ideas cosmogónicas son tan antiguas como la humanidad. Los indios, según el libro clásico *Manava dharmacastra*, creían que Dios creó las aguas y en ellas depositó un huevo, brillante como el oro, que después de muchos siglos se separó en dos partes, cielo y tierra, y que en medio colocó Dios el aire. Con los elementos éter, aire, fuego, agua y tierra se formaron todos los seres. En la vida de Buddha Sakia Mouné, según versión de Madame Mary Summer, se atribuye a los indios la leyenda de que la Tierra pasó

primitivamente por un estado flúido, y en la historia de Manú se encuentra expresada la idea de la incandescencia central del globo.

Tanto en los persas como en los caldeos y como en las civilizaciones primitivas de la América meridional, se da gran importancia a las inundaciones y volcanes y se conserva la tradición de los diluvios.

Los griegos se daban ya cuenta de las modificaciones que experimenta la tierra a través de los siglos, y Pomponio Mela, cosmógrafo español de tiempo romano, manifiesta que Aristóteles decía: «Los ríos de ahora, por caudalosos que sean, pasado algún tiempo no lo serán; las partes donde hallamos ahora tierra, vendrá tiempo que sean todas agua, y en las que ahora hay mar, se descubrirá tierra», y se fundaron para ello en el hecho de existir fósiles marinos en el interior de los continentes. Mas su pensamiento se encontró ante lo misterioso, y la causa de todos los fenómenos de la Tierra lo explica con la frase: «Todo viene del cielo.»

Enumerar los sabios griegos y romanos que se ocuparon en estudios cosmogónicos desde Tales, de la secta jónica, hasta Plinio, es obra superior a nuestras fuerzas y que se sale de nuestro propósito. Los griegos consideraban que la Tierra nace del Caos, y que en lo más profundo de su seno existen unos grandes abismos que llamaban el Tártaro. La Tierra se une al cielo, y en la primera se produce el océano estéril y los manantiales, y son creados los dioses Cronos y Rhea.

Los sabios discrepaban al considerar los elementos que ocasionaban el dinamismo de la Tierra. Tales juzgaba como primer elemento al agua; Anaxinandro, una sustancia indeterminada *tó àpeiron*, dotada de movimiento permanente; Anaximenes, al aire, y Heráclito de Efeso, al fuego. Xenophanes manifestó que el agua a veces

invade la tierra y que otras la abandona, como lo demuestra la existencia de fósiles en las canteras de Siracusa y en los mármoles de Paros. Ovidio dice en su libro XV: «Vi lo que era un tiempo sólido terreno, ser estrecho. Vi rotas por el mar las tierras, y lejos del golfo bancos de conchas marinas.»

Según Schwarzaz, fué Pitágoras el primero que concibió la teoría del fuego central. Séneca dice que en el centro de nuestro globo están los infiernos, y que el fuego y el agua son los árbitros de la Tierra. Estrabón, autor de una admirable geografía, dividida en 17 libros, atribuye todos los grandes fenómenos geológicos a los fuegos subterráneos.

Sobre el concepto de los minerales es interesante el modo de pensar de los griegos. Según Lucrecio y Plutarco, los cuerpos están constituidos por pequeñas partículas semejantes u homogéneas, y éstas admiten en ocasiones otras heterogéneas que formaban con aquéllas un cuerpo particular. Es decir, que ya consideraban a los cuerpos simples formados por partículas semejantes, y que éstas no lo eran con relación a los que formaban otro cuerpo.

Mucho discutieron los griegos la forma de la Tierra. Los jonios afirmaban que era un disco redondo que flotaba en un mar inmenso. En cambio, los pitagóricos fueron los defensores de la doctrina de la esfericidad de la Tierra, que sostuvo después Aristóteles con fundamentos más firmes. En los estudios astronómicos y geográficos se puso bien a prueba la alta cultura griega, y a Anaximandro (610 a 546 antes de J. C.), se le atribuye el trazado del primer Mapa Mundi.

No fueron muy diferentes de las de los griegos las opiniones de los romanos sobre los problemas que aun estudia la geología, pero perfeccionaron mucho las artes y ciencias de aplicación.

Supo Plinio condensar en su importante libro todos los conocimientos de ciencias naturales de la época, y da en lo que se refiere a la aplicación minera, noticias muy interesantes. Manifiesta que ya conocían y buscaban los romanos la ganga que acompaña el oro en aluviones, y que llamaban *segula*. Ya sabían también apreciar cuáles eran las vetas que podían tener oro cuando se presentaban en filones, y a las que daban el nombre de *canalicium*.

Hicieron grandes galerías, producían derrumbamientos de montañas y construían inmensos canales para lavar el mineral. Las obras de Las Medulas, con la galería del Monte Furado, dan idea de ello.

Dice también hablando de las venas de plata que nunca viene una sola. Es curioso lo que manifiesta referente a que las minas de plata, que se dejaban de excavar cuando se encontraba una capa de alumbre, pero desde que recientemente se ha encontrado bajo el alumbre un filón de cobre, no hay límite a las esperanzas. También dice que no se puede fundir la plata sino se añade plomo negro o galena. Advirtió que existen filones de plata nativa y otros de plomo argentífero, diciendo que la plata está unida a la galena, y con una misma obra y fuego baja una parte a lo hondo, que es plomo, y queda la plata nadando como el aceite en las aguas. En sitios llama la galena al residuo del horno.

Sobre el mercurio da grandes explicaciones, sobre todo de carácter metalúrgico y de sus aplicaciones, pero sin datos referentes, ni al modo de presentarse en el terreno ni a las reglas de arte del minero. Sólo comenta que se presenta de dos modos: según se destila líquido en las minas, y entonces se llama plata viva, o bien cuando se extrae del minio o cinabrio, y se denomina hidrargirio.

Indica que de ambos modos se presenta en Almadenejos y en la antigua Sisapo (Almadén), que desde los tiempos de los romanos se consideraba la mejor mina del mundo.

Plinio habla de asuntos cósmicos en sus primeros capítulos, y manifiesta que la Tierra es del dominio del hombre, así como el cielo es de Dios, y queda sorprendido ante los fenómenos que observa y de muchos de ellos no da explicaciones.

Describe islas que desaparecen, otras nuevas que se forman, continentes invadidos por las aguas, islas unidas a continentes, tierras que tiemblan siempre, islas flotantes; es decir, que enumera los movimientos y transformaciones, consecuencia del dinamismo terrestre, que han servido a los hombres de después para explicar los fenómenos geológicos. Respecto a los terremotos y otros fenómenos, los considera debidos a la fuerte presión del aire que circula por los poros y huecos de la Tierra; concepto muy especial que se ha conservado a través de los siglos hasta el XVIII.

De Plinio, hasta la invasión de los bárbaros, el campo de la ciencia es poco cultivado, y escasas ideas podemos entresacar que pongan de manifiesto el modo de pensar de los hombres de entonces respecto a la Naturaleza. Existieron algunos geógrafos y algunos poetas, como Aurelio Prudencio y Rufo Festo Avieno, que describen partes de la Tierra; mas como tales poetas no son muy de fiar, pues el segundo de ellos habla con ironía de la creencia existente en Andalucía de que hay un monte llamado de plata, y dice que no es tal, sino que debe ser que sus lados están cubiertos de estaño que tiene apariencia de plata; opinión tan disparatada como la criticada.

San Jerónimo y San Agustín, al final de los siglos IV y V, fueron los únicos que descollaron por su saber en la época de decadencia

del Imperio Romano. El famoso obispo de Hipona hace consideraciones muy profundas sobre el Génesis, y es interesante que emite por primera vez la idea de la nebulosa, base de la teoría de Kant y Laplace. Dice que «la materia ya no es completamente informe desde el momento en que aparece en forma de nebulosa».

También otro padre de la Iglesia, San Isidoro, en el final del VI y principios del VII, es el único que sobresale por su cultura científica en todo el tiempo del dominio de los godos en España. De los 20 libros que compuso su obra *Etimología*, tiene ocho dedicados a Ciencias Naturales y el XVII es una enciclopedia de los conocimientos de su tiempo y describe las producciones mineras de nuestro país.

Como única cultura en Europa aparece en los siglos siguientes la árabe, principalmente española. No bien puesta de relieve por los historiadores antiguos, hoy se comprende su alcance, desarrollo y altos merecimientos. Principalmente en los conocimientos geográficos adquirió gran desarrollo por ser ciencia grata a Dios.

Mucho se ha perdido de las geografías y tratados de Historia Natural de los árabes, como ha ocurrido con las de Razi y el Becri, tenidas como maestras, aunque del segundo se conserva la descripción referente al África septentrional y *Alfabeto de lo que es poco conocido*. Sin embargo, en el conocimiento de la ciencia de la Tierra el avance durante el dominio de los árabes fué pequeño. La principal razón es que, según ellos, «Así está escrito, Dios sabe más que todos», y por ello no apuraban el estudio del origen de las cosas, no buscaban la razón de lo que sucedía. Según el Corán, las montañas fueron colocadas en su sitio desde la creación. Además su modo de ser tiende siempre a lo fantástico, a lo maravilloso, y para dar este aspecto a las cuestiones adornan y desfiguran todos

los argumentos de modo que la verdad aparece casi siempre sacrificada. Como muestra del estilo árabe diremos que un escritor del siglo X, Massudi, tituló su libro *Praderas de oro y minas de piedras preciosas*. No habla de la riqueza minera de España.

En el siglo IX un viajero árabe, Ibn Fosslan, describió el imperio ruso con sentido verdaderamente geográfico, y en el reinado de Abderramán I empezaron los árabes a escribir crónicas. En tiempo de los Omeyas la cultura árabe tuvo gran brillantez y se ocupaba mucho de geografía física. Posteriormente, Aben Hazam y los Aben Hayyan no tuvieron rivales entre sus predecesores. En el tercer período, en el del Califato de Granada, aunque la cultura musulmana había perdido mucho, abundaron más los geógrafos, exploradores y los libros de viajes o rihlas.

En todos sus libros los naturalistas y geógrafos se preocupan principalmente de dos cosas: una, de describir los sitios donde se obtienen las sustancias útiles a la vida, como los minerales necesarios para sus armas y muebles y las piedras para construir sus palacios y mezquitas, y la otra, la de enumerar los fenómenos más importantes sobrevenidos y que ocasionaron catástrofes, como terremotos, inundaciones y huracanes.

En el siglo X, Ibn Sidna escribe su libro *Método sobre la formación y clasificación de los minerales*, y en el segundo capítulo sobre el origen de las montañas, dice que éstas se forman por dos causas: por temblores de tierra y por excavación del agua.

En el siglo XII descollaron varios naturalistas y geógrafos, como Abutamid el Garnathi, que habla del comercio que se hacía con los restos de animales fósiles en Bulgaria, en donde dice que con ellos se hacían peines; Averroes, llamado *Ei Sabio*, que fué astrónomo, filósofo, médico, poeta y viajero, descubrió fuentes minerales y dió

noticias de terremotos, y Abu-Abd-Alla-Mohamed-Al Edrisi, que escribió la obra *Descripción de España*, la más completa de todas las árabes conocidas y que muestra bien todas las particularidades que acabamos de indicar. Como muestra de su fantasía nos dice que el Mediterráneo no tenía comunicación con otro mar en tiempos de Alejandro, y que vino éste a España y que hizo venir a Ingenieros y encontraron más elevado el Atlántico que dicho mar, y se construyó un canal entre Tánger y España con un muro de 12 millas, cuyos restos, dice, se podían ver en su época, en la Mesa o Mesetas, y que cuando entró el agua en el Mediterráneo se inundaron varias poblaciones pasando el agua once estados por encima de los muros.

Las descripciones geográficas parecen bien hechas, y enumera como sitios de criaderos: los hierros de Saltis; la tierra quitamanchas de Magán (cerca de Toledo); el yeso de las montañas de Alhama de Almería; el oro y la plata en la vecindad de Hornachuelos en el sitio denominado «Al March»; los hierros y mármoles de Constantina, y, cerca del fuerte de Abal, minas de mercurio en donde trabajaban 1.000 obreros, con pozos de profundidades de 250 brazas y cuyos productos se exportaban a todos los países del mundo.

Descolló también como geógrafo El Xucundi, que hace gran elogio de España y sus producciones, y, sin embargo, no habla de sus minas. Mahomed ben Mahamoned Kazwini en el siglo XIII publicó el libro *Maravillas de la Naturaleza*, y en él habla de que en la Tierra hay vapores secos y vapores húmedos y que ambos son causa de los fenómenos geológicos.

El viajero árabe que visitó más países, entre ellos España, fué Ibu Batuta en los principios del siglo XIV.

A los árabes se debe, además, la introducción en Occidente de

los escritos originales griegos, especialmente de Aristóteles. La geografía de Aristóteles fué la misma de los escolásticos adaptada a la concepción cristiana; entre ellos descolló Alberto el Grande. Los árabes midieron el grado del meridiano terrestre con arreglo a los escritos griegos.

Tampoco los escritores rabinos españoles arrojaron mucha luz sobre los conocimientos que nos ocupan. Hubo muchos dedicados a la Astronomía y a la Medicina, como el famoso Maimónides, que tuvo algo de naturalista. Hubo viajeros célebres, como Benjamín ben Jonah, y nos presenta la historia como famoso lapidario a Sehudah Mosca, llamado el Pequeño, médico del rey Alfonso X. Escribió un libro y lo titulaba *Propiedad de las piedras*. Clasifica 360 según los grados de los signos celestes; el color de cada una de ellas, nombre, virtud, lugar en que fué hallada y figuras de los signos de que reciben su valor y fuerza. Describe entre ellas las piedras de los huesos y del algodón junto a las de cinc y oro.

Entre los cristianos que vivieron en tiempos de la dominación árabe hubo algunos naturalistas, y a San Beato, sacerdote asturiano del siglo VIII, se debe uno de los mapas medievales más interesantes. Se perdió el original, pero existen diez copias diferentes; dos de ellas se conservan en el Archivo Histórico Nacional de Madrid. Hay otra en Turín y otra en París.

Descolló entre los libros cristianos en el siglo XIII la *Crónica General de España de Alfonso X el Sabio*, pero de ella nada nuevo podemos entresacar referente a los conocimientos geológicos, pues únicamente describe las regiones españolas, dando cuenta de sus riquezas mineras. En su libro lo más interesante es su entusiasmo por España, condensado en la célebre frase «No ha ninguno que pueda contar tu bien».

En toda la Edad Media se siguió discutiendo la forma de la Tierra en los mismos términos que lo hacían los griegos. Era objeto de grandes apasionamientos la existencia o no de antípodas.

Dante, discutiendo a Ristoro de Arezzo, sostenía en su obra *De aqua et terra*, que las esferas terrestre y acuática tenían un centro común, y que era debido a un abultamiento local, a modo de joroba, lo que sobresalían los continentes.

San Ambrosio decía que las aguas marinas desarrollaban una energía que llegaba hasta el fondo de los mares, y que, excavada la corteza terrestre por la fuerza de las mareas, éstas habían constituido sus propios senos.

Alberto el Magno opinaba que una parte de las montañas procedían de terremotos producidos por el aire del interior de la Tierra, que levantaba la corteza sin llegar a romperla, y también creyó que las aguas destruían las tierras en ciertos lugares para depositarlas en otros.

De acuerdo con los antiguos se creía en la Edad Media que el origen de los volcanes se debía a inflamaciones de sustancias como el azufre y la nafta que existen en el interior de la Tierra.

El gran sabio español Raimundo Lulio (1235 a 1315) publicó muchas obras filosóficas y compendió en sus libros los conocimientos de la época. En su obra *Libro Félix o Maravillas del Mundo*, trata en varios capítulos de asuntos de Historia Natural, pero funda todas las razones para explicar los fenómenos en la combinación de los cuatro elementos: fuego, aire, agua y tierra, concepciones que predominaban en aquella época y que las expresa Lulio envueltas en lenguaje pintoresco y parabólico.

Al final del siglo XV y principios del XVI, Agrícola asombró al mundo con sus libros naturalistas. Fué el fundador de la mineralo-

gía y se ocupó mucho en sus libros, sobre todo en *De re metallica* y *De ortu et causis subterraneorum*, de la aplicación de la geología a la minería.

Mucho pedía Agrícola supiéramos los mineros, tanto como en nuestra escuela especial: medicina, astronomía (para conocer las partes del cielo y con ellas la dirección de las venas), arquitectura, matemáticas, pintura y derecho.

Afirma que es muy importante en minería saber hacer pozos y lavar las arenas de los ríos. Ha de tener en cuenta el minero siete cosas: el lugar, hábito, agua, vía, salubridad, señor y vecino.

Considera que las minas no las descubre sólo el hombre, sino también la naturaleza. Hace consideraciones muy interesantes sobre las señales para encontrar minas, diciendo, por ejemplo, que los manantiales no están lejos de las venas. Sin embargo, da gran importancia a la orientación de las venas y a los indicios que proporcionan los vegetales. Refuta el prejuicio que existía en su tiempo de que los aluviones más ricos en oro eran los que procedían de ríos que seguían su curso orientado de Este a Oeste. Habla con desconfianza de la varita de avellano y de fresno para descubrir minerales.

Divide las vetas en profunda, dilatada, acumulada, lata y estrecha, y presenta unos preciosos grabados para comprensión de sus definiciones.

En donde realmente hay ideas sumamente interesantes es en los capítulos dedicados al laboreo de minas y a la metalurgia, que ocupan la mayor parte de las referidas obras.

Las ideas de Agrícola subsistieron hasta el final del siglo XVII.

En el siglo XV, cuando no se ponía el sol en los dominios españoles, era natural que los exploradores, los viajeros, ensancharan

los conocimientos de Historia Natural y que los reyes procuraran favorecer las expansiones de la cultura. No es nuestro propósito enumerar la serie de trabajos, casi exclusivamente geográficos, que se sucedieron durante todo el tiempo que dirigieron los destinos de España los reyes de la casa de Austria; solamente daremos cuenta de aquellos que nos sirvan para vislumbrar el ambiente científico de aquellas épocas en lo que se refiere al conocimiento de la Tierra.

A Antonio de Nebrija se atribuye la medición de un grado del meridiano terrestre. Juan de la Cosa hizo el interesante mapa que se conserva en el Museo Naval de Madrid. Felipe II creó una Academia de Ciencias, en la que ocupaban lugar preferente los estudios geográficos.

Sobresalió, descubierta América, el libro del jesuíta José Acosta, en 1590, titulado *Historia Natural y Moral de las Indias Occidentales*.

El libro de Acosta es principalmente descriptivo. Contiene muchas referencias de los escritores antiguos, principalmente de Plinio. Describe algunas minas de América y dice que son muchos los metales que «encerró el Creador en los armarios y sótanos de la Tierra». Habla de fuentes de betún (Copey) y alquitrán y de otras muchas sustancias.

Hay en su libro una explicación interesante, acaso lanzada por vez primera, sobre los fenómenos volcánicos y sísmicos, pues dice que «las exhalaciones cálidas que se engendran en las íntimas concavidades de la tierra, parece que son la principal materia del fuego de los *Bolcanes* con las cuales se encienden también otras materias más gruesas y hace aquellas apariencias de humos y llamas que salen a la superficie; y si las mismas exhalaciones no hallan debajo de la tierra salida fácil, remueven con violencia la tierra para salir.»

Agrega que son comunes los terremotos en las cercanías de los mares y que el agua tapa y obstruye los agujeros.

Sobre génesis de criaderos dice cosa tan curiosa como la que sigue: «el oro tiene su cierto lugar donde se cuaja; hay plata suelta y otra en venas y tiene en éstas ciertos principios y raíces; el hierro cavando se saca de la tierra, y la piedra deshecha con el calor se vuelve cobre».

Casi en la misma época (1580) publicó Palissy en Francia su obra *Discours admirables de la nature des eaux et fontaines, des métaux, des sels et salines, des pierres des terres, de feu et des émaux* en el que recoge ideas de profesores de la Universidad de París, de Leonardo de Vinci y de los escritos de Alberto de Sajonia. En él se explica la formación de los terrenos sedimentarios y origen verdadero de los fósiles.

Descartes en su *Principia Philosophiæ*, en 1644, contribuyó también con su genio al conocimiento de la Tierra, y habla, yo creo que por primera vez, de que la Tierra es un astro enfriado en su superficie y que en su interior conserva el fuego central bajo una corteza pesada, en la cual existen todos los metales. Aun más, perforando el ambiente científico de entonces hasta adivinar el de nuestra época, dice: que el enfriamiento de la corteza debe haber producido, por contracción, grietas y caída de las partes externas obligadas a acomodarse a una superficie que no era lo bastante extensa para recibir dichas partes en la misma situación que estaban antes.

La prioridad de estas ideas han sido discutidas y atribuidas al famoso dinamarqués Stenon, que las publicó en su obra *De solido intra solidum naturaliter contento*, en Florencia, en 1669. A este sabio hay que atribuir también las primeras nociones sobre cristalografía.

Es obra curiosa la de José Vicente Olmo, publicada en Valencia en 1681 y titulada *Nueva descripción del orbe de la Tierra*. Había leído a los naturalistas griegos y romanos y a Agrícola, y tiene una teoría muy curiosa sobre la formación de los metales. Supone «existen fuegos subterráneos y que en la masa del globo se va concentrando un jugo pingüe que, participando de las elementales cualidades y reducido a vapores por dichos fuegos y esparcidos por las venas y cavidades de la tierra, donde halle matriz proporcionada, allí la recoge y cuece largo tiempo hasta convertirlo en aquel metal más propio y adecuado al receptáculo y glebas terrestres, donde se pega y de donde nace tanta variedad de piedras y metales». Aun hace más complicada la teoría, pues dice que los astros comunican al aire que circula por los poros de la Tierra sus propiedades específicas, y de ahí su variedad y la relación de cada mineral con cada uno de aquéllos.

De los terremotos también sigue el criterio de la época de manifestar que son debidos a las exhalaciones elevadas por los fuegos subterráneos que no pueden salir a la superficie con la prontitud debida.

De los fósiles indica que los vientos pudieron llevar algunos cúmulos de arena mezclado con el cieno, y en éste quedar los peces envueltos y después ser endurecidos por el aire.

En el terreno de la aplicación habla de los medios para conocer las venas minerales en términos análogos a Agrícola, y también describe la varita y el arte que se ocupa de ella o Rhabdomancia. Describe gran número de minerales y se ocupa mucho de las medidas de la Tierra.

Leibnitz en 1693 adelanta en *Acta eroditorum* unas primeras notas de la disertación conocida con el nombre de Protogæa, que se

publicó entera después de su muerte, en 1749. En ellas explica los fenómenos debidos al enfriamiento de la Tierra y separa las rocas procedentes de enfriamiento de materias en fusión de las originadas por coagulación de materias disueltas en el agua.

En 1701 y 1706 publicó Scheuchzer sus obras más importantes. En ellas hace la primera clasificación científica de los fósiles, que los considera como procedentes del diluvio. Une a sus libros preciosas láminas con representación de los mismos. Además enumera los minerales, las sales, los combustibles y las piedras de construcción de la Suiza. Se ocupa mucho de los terremotos, impresionado con los ocurridos en el cantón de Glarner. Ve la causa de ellos en un fuego que empezó bajo tierra y que no teniendo suficiente lugar para expansionarse levantó las capas superiores haciéndolas temblar.

En todo el curso del siglo XVIII los conocimientos geológicos y de sus ciencias de aplicación fueron creciendo para crear al final del siglo la ciencia geológica. En 1740, Lazzaro Moro, de Venecia, publicó su libro *Dei cretacei e degli altri marini corpi che si trovano nei monti*, y dice estas admirables palabras: que el considerar a las fuerzas actuales como susceptibles de producir los efectos actuales, nos conduce a darnos cuenta de los fenómenos gigantescos de dislocación—cuyas trazas son evidentes—como la sucesión de una serie casi indefinida de acontecimientos casi microscópicos.

En España descuellan por su importancia las obras de Feijóo, Navarrete, Torrubia y Ulloa, y en el final del siglo coincidiendo con Buffon, Werner y Hutton; Bowles y Cavanilles.

Feijóo publicó en 1733 su obra *Teatro crítico universal*, y en 1745, *Cartas eruditas y curiosas*, en las que demuestra sus profundos conocimientos.

Se olvidaron un poco en aquella época las teorías de Descartes y Stenon y se discutía, entre los naturalistas, si los montes fueron criados en el principio del mundo u ocasionados por el Diluvio universal.

Feijóo dice que ha habido muchas mutaciones en el teatro del orbe terráqueo, porque la violencia de los terremotos y fuegos subterráneos levantó montes e islas en unas partes y los demolió en otras, y porque la violenta acción de las olas del mar destruyó las comunicaciones que las naciones tenían, o ya porque el llamado entonces espíritu o hálito lapidífico levantó espacios del suelo hasta superar el nivel del mar. De este modo tan interesante explica el sabio monje que existieran pobladores en América, ya que tierras y mares estaban entonces de otro modo que en la actualidad. Según él, este aserto queda también demostrado por la existencia de las mismas especies de animales feroces e inútiles en Europa, Africa y América.

Niega que los fósiles sean debidos al Diluvio, teoría muy repetida entonces, y explica su presencia por las conmociones que ha sufrido la Tierra, a que antes nos hemos referido, y hace sobre ellos consideraciones muy acertadas, apoyándose principalmente en los fósiles que descubrió Jufsieu en 1718.

Feijóo expresa también la concepción común en aquella época de los llamados jugos lapidíficos, o sean unos hálitos que se desprenden de la Tierra y que, entrando por los poros de las piedras, producían petrificaciones y metales. Por último, habla de la forma geométrica de los cristales haciendo ver que los presentan siempre iguales los de la misma sustancia.

Fernando de Sande y Lago publicó en 1729 el compendio de Albeitería, en el que trata con mucha competencia de cómo se engendran los metales y cosas que les acompañan.

Francisco Fernández Navarrete, en 1740 publicó su libro *Espejo de Historia Natural Médica*, en el que copia mucho a Plinio y a los antiguos. Sostiene que los fósiles son debidos al Diluvio y cita algunos helechos, entre ellos, por ejemplo, un *Lapis Palmeris* Plinii.

Barrére publicó en 1746 un libro titulado *Observaciones sobre el origen de las piedras figuradas*, y es interesante desde el punto de vista español porque representa en él por vez primera fósiles españoles: los numulites de Gerona.

El libro del P. Torrubia, *Aparato para la Historia Natural*, en 1754, se puede decir que es el primer libro de Paleontología española. Aunque en él se hacen muchas disertaciones físicas, especialmente sobre el Diluvio, la mayor parte de su tomo primero está dedicado a las petrificaciones. Las láminas están perfectamente hechas. Con este libro aparecen en español las primeras clasificaciones algo ordenadas de los fósiles, aunque teniendo muy en cuenta lo publicado en el extranjero, sobre todo la conchiología de Montpellier y los trabajos de Rumphio, Bourget, Agustín Scilla, Vuodward, Scheuchzer y Boot de Boet, y cita ejemplares pertenecientes a diferentes Museos.

El origen de los fósiles lo atribuye al Diluvio y combate otra teoría muy curiosa de que los gérmenes de los fósiles pueden venir con el agua subterránea impulsada por los fuegos interiores.

A Ulloa, nacido en Sevilla en 1718, hay que considerarlo como gloria nacional, pues descuellan en la literatura científica universal sus dos libros, uno en colaboración con Jorge Juan; *Relación histórica del viaje a la América meridional*, que vió la luz pública en Madrid en 1748, y otro publicado por él solo, en 1772, *Noticias americanas, entretenimientos físico-históricos sobre la América meridional y la septentrional oriental*, escrito después del viaje realiza-

do a América con Bouguer y De la Condamine para medir el grado terrestre en el Ecuador. En este viaje, a consecuencia de las observaciones de Bouguer en el monte Chimborazo, este sabio observó cierta desviación de la plomada y dió explicaciones del fenómeno que vienen a ser precursoras de la teoría de la isostasia.

En el primero de los libros citados hace Ulloa una descripción de los criaderos minerales de América, fijándose sobre todo en su modo de extracción y diferenciando bien los criaderos en que el mineral «está encallejonado y comprendido entre dos guardas o murallas», del mezclado con tierras y piedras. Cita también fósiles. Impresionado por los terremotos de Lima, explica que «los volcanes son debidos a las materias sulfurosas, nitrosas y otros combustibles que encierran las entrañas de la Tierra, los cuales, unidos entre sí y convertidos en una pasta que se prepara con el auxilio de las aguas subterráneas, se fermentan hasta un cierto punto y entonces se inflaman». Explica los terremotos por dos causas: o por la difícil salida en ciertos sitios de las sustancias de los volcanes, o por el esfuerzo que causan los vientos con su mucha dilatación, tanto los contenidos en las materias sulfurosas u otros minerales como los esparcidos en la misma Tierra.

Su libro *Noticias Americanas* es por extremo interesante, y explica con teorías, que podíamos suscribir ahora, los efectos de la erosión, la formación de depósitos continentales y de los deltas y las variaciones que ha sufrido la Tierra. Habla del crecimiento de las montañas. Le asombra la posición de los fósiles en el alto de Guancavelica. Mas en la explicación de su existencia cae en el error de entonces, no compartido por Feijóo, de atribuirla al Diluvio.

En la parte de aplicación de la geología dice que los mineros conocen bien la calidad de las tierras en que han de encontrar

el mineral por la clase de metales que pintan, y explica que las señales en que hay que fijarse para encontrarlos son: la «disposición y forma de la peñasquería del cerro, la dirección que lleva la postura de las lajas, el ancho que tienen, la figura del cerro en su total, su magnitud y hasta las hierbas que se crían».

A pesar de sus errores, vió con más claridad que nadie, hasta entonces, todo lo relacionado con la geografía física y dinamismo externo.

El gran Buffon, en esta época, en 1749, publicó su célebre *Théorie de la Terre*, prólogo de su Historia Natural, y resulta el precursor de la teoría llamada después «de las causas actuales». Demuestra la existencia del calor interno del globo.

Posteriormente publicó su libro *Epoques de la Nature*, y considera seis grandes divisiones: 1.^a Nuestro globo es flúido e incandescente. 2.^a Se forma por enfriamiento la corteza terrestre. 3.^a El mar recubre los continentes actuales y se depositan las conchas. 4.^a Los mares se retiran hasta los límites que hoy ocupan. 5.^a Se caracteriza por vivir los grandes cuadrúpedos; y 6.^a Separación del viejo y nuevo continente, cuya unión existía, como lo acreditan el que se encuentran los mismos fósiles en uno y otro. Es decir, que empezó Buffon a distinguir los períodos en la historia de la Tierra.

El químico inglés Davy quiso explicar los fenómenos geológicos por causas exclusivamente químicas.

El desarrollo de la cultura en Europa en la mitad del siglo XVIII, y por otro lado el mayor incremento en la extracción y aprovechamiento de las riquezas naturales, fué causa de que se aguzara más el raciocinio, de que se buscaran con más ahinco las relaciones que tienen unos minerales con otros, y, sobre todo, las causas que los engendraron en la Madre Tierra. Comprendieron ya que lo mismo

los minerales que procedían de depósitos sedimentarios, que los que se presentan en filones, deben su riqueza a los fenómenos que se han sucedido a través de los siglos. Y, entonces, se puede decir que se creó la ciencia geológica.

Su cuna fué tierra de minas, y sus creadores, Werner (1750-1817), en su cátedra de Freiberg, y Hutton (1726-1797), en Edimburgo. Werner supo separar la mineralogía de la llamada geognosia. Notó la sucesión de los terrenos, aunque desde un punto de vista mineralógico, y atribuía la formación de la mayor parte de las rocas al agua, siendo el creador de la famosa escuela neptuniana, que tanto desarrollo alcanzó en el mundo científico.

Acerca de los filones da ideas muy exactas, y su última obra sobre el particular, publicada en 1791, *Nueva teoría de los filones*, alcanzó gran popularidad. Fija la edad relativa de los filones, y, coincidiendo con Hutton, sostiene que el relleno es posterior a la grieta. Herrgen, autor de la traducción de la *Orictognosia* de Windemann, fué en España el que expuso las teorías de Werner en su libro *Descripción geognóstica de las rocas que componen la parte sólida del globo terrestre*.

Buch, discípulo de Werner, relaciona la riqueza de los filones con su dirección y edad.

Por el mismo tiempo, Hutton formó su escuela plutoniana, en la que se daba preponderancia a los fenómenos volcánicos en la formación de la Tierra, y un papel secundario a los fenómenos sedimentarios. Estudió muy bien las fracturas terrestres, formuló claramente la idea de la continuidad de las causas en los fenómenos geológicos. Su discípulo y amigo Playfair, contribuyó mucho al conocimiento y desarrollo de las teorías del maestro.

Rome d'Isle y Haüy, crearon la cristalografía por aquel enton-

ces, siendo una poderosa ayuda para el desarrollo de la mineralogía y de la geología.

Al mismo tiempo, los exploradores supieron llevar a las aulas el aire de campos lejanos, y entre ellos sobresalen, por el bagaje científico que los acompañó en sus excursiones, Saussure, Maclure, Bruch y Humboldt. El primero se hizo notable con su viaje a los Alpes, el segundo con su viaje a América del Norte; Bruch recorrió Noruega, Italia y costas de África. Humboldt superó a todos, pues por la universalidad de su ciencia, ha merecido que se le llame el Aristóteles moderno. Fué gran suerte para España que en sus trabajos sobre América explorase lo que constituía entonces nuestro patrimonio nacional; allí cuajó el fruto más selecto de su genio al descubrir la admirable armonía que reina en la constitución geológica de la Tierra, cualquiera que sea el lugar en que se estudie. En cambio, Saussure en los Alpes no había encontrado otra cosa constante que la variedad. Humboldt publicó muchos libros, y con la colaboración de Bonpland la obra cúspide *Viajes a las regiones equinociales del Nuevo Continente*, hechos de 1799 a 1804.

En España por esa época hubo dos naturalistas que contribuyeron grandemente al conocimiento de nuestro suelo, Bowles y Cavanilles, pues las obras de Cornide, incluso la referente a los Pirineos, que se conserva manuscrita en la Biblioteca de la Academia de la Historia, y la de Ocampo, son libros muy eruditos e interesantes, pero con pequeña aportación personal en lo que se refiere a estudios geológicos.

No ocurre lo mismo con Bowles, que aunque irlandés de nacimiento, se puede considerar naturalista español. Vino a España por gestión de Ulloa, y en 1755 publicó su primera Memoria

*Extracto del M. S. de la Historia mineralógica del valle de Gistain en los Pireneos españoles de Aragón, y ya en él apunta las ideas que luego desarrolló en el libro de todos conocido *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*, publicado en 1775.*

Fué precursor de Humboldt al decir «que si conociéramos bien la Naturaleza, el aspecto de cada país, podíamos fallar por raciocinio lo que ahora se encuentra por casualidad, pues en viendo analogía entre dos terrenos, por distantes que estén, y entre las mismas piedras y plantas, podríamos concebir justa esperanza de que hallaríamos materias semejantes en ambas partes». Claro es que esta concepción notable en aquel entonces conduce a errores, pues por ella creyó que había diamantes en el Cabo de Gata.

De los volcanes dice que proceden de la gran dilatación del agua, y que dependen más de la situación de sus bocas en las cimas de las montañas que de la intensidad de sus fuegos. Principio de una teoría que estuvo de moda en el siglo XIX.

Atribuye la formación de las montañas al depósito sucesivo de los sedimentos del mar; es decir, que tenía criterio neptuniano. Son profundas sus frases: «la montaña, los valles y toda la materia, están en perpetua rotación y círculo de movimiento imperceptible que empezó cuando la Providencia quiso y acabará cuando ella quiera».

Sobre criaderos minerales da datos muy interesantes, y no hay mejor libro para conocer lo que era en aquel tiempo la minería de nuestro país. Divide los filones en cuatro clases: Veta arreglada perpendicular, veta que atraviesa, mina en capas y mina en trozos, cuya traducción al lenguaje científico actual es fácil de hacer.

Respecto a erosión y alteración de terrenos, concibe la idea del

metamorfismo. Hace sobre la relación de los filones con el terreno algunas consideraciones químicas, pero sin entrar en el terreno de la génesis.

Explica los filones como unidos con las peñas en estado de disolución o blandura, y la coagulación anticipada de una de las materias es causa de la igualdad con que se presentan las vetas. Los relaciona con el agua y con el fuego, considera los trastornos a que están sometidos, y cita algunos adagios mineros, como, por ejemplo: «Donde no hay hierro y cal no hay mineral.»

Cavanilles fué maestro en Botánica, pero, naturalmente, comprendió la importancia del estudio de la tierra, y en su obra *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reino de Valencia*, publicada en 1795, se ocupa mucho de temas geológicos y mineralógicos con excelente sentido. Había leído a los autores de su tiempo, y lo comenta muy acertadamente.

Hace observaciones muy interesantes sobre los diferentes buzamientos que presentan los estratos y comprende la formación de los fósiles. Explica, conforme a las teorías modernas, el origen de los conglomerados, pues dice «que son restos de montes más altos».

Da cuenta de las rocas y minerales y aguas del reino, haciendo observaciones sobre fenómenos de erosión muy notables. Cita varios fósiles y dedica una lámina a la representación de algunos de ellos: numulites, orbitolinas y ostras.

Del tronco de la Historia Natural, que se conserva único desde los tiempos más remotos hasta el siglo XVIII, empiezan a salir grandes ramas y cada una de éstas se resuelve en un haz de otras, y, así, de la rama Geología brotan la estratigrafía, la tectónica, la

paleontología, la mineralogía, la petrografía, la metalogenia, y cada una de estas ciencias tiene sus especiales cultivadores y unas a otras se unen prestándose ayuda y fuerza.

Así, el arte de explotar los criaderos minerales, a medida que más se iba conociendo la génesis y forma de presentarse de los mismos, más ayuda solicitaba de la ciencia, y encontró en la estratigrafía y en la tectónica sus dos apoyos principales.

La primera es muy necesaria para el estudio de la génesis y propiedades de los yacimientos sedimentarios, lo mismo aquellos procedentes de los mares que de los depósitos lacustres y continentales que obedecen a leyes distintas en su formación. También es importante la estratigrafía para el estudio de filones y bolsadas, porque la formación de la grieta y del relleno depende mucho de la roca en donde encajan y ésta es muchas veces sedimentaria.

No sólo hay que estudiar el estrato en el orden cronológico, sino que es preciso observar las alteraciones que sufren los depósitos en lugar y naturaleza a través de los siglos: la diagénesis, el metamorfismo, la erosión y otra clase de perturbaciones. Para su conocimiento se enlazan los trabajos geológicos con los de oceanografía, química y física, comprendidos en ésta los fenómenos de electricidad, magnetismo, ósmosis, licuación, etc.

La estratigrafía nació cuando se conoció bien el papel que representa el fósil en la Naturaleza. Esto lo predijo ya nuestro Ulloa a mediados del siglo XVIII: «Son las petrificaciones marinas el conocimiento demostrativo de los acaecimientos del mundo.»

La estratigrafía mineralógica de Werner, creada a los apremios de la minería, era algo empírico y de apreciación personal. Entonces los fósiles eran tan sólo un poco más que curiosidades. No se

puede negar que el gran Cuvier, con su *Anatomía comparada*, supo elevar la categoría del fósil desde un punto de vista orgánico, pero no desde un punto de vista histórico. La colaboración de Brogniard supo dar a los últimos trabajos de aquél un mucho mayor interés estratigráfico.

La relación del estrato con el fósil, la ordenación y colocación en el tiempo de los depósitos sedimentarios, fué obra del Ingeniero de Minas inglés William Smith (1769-1839).

El ejercicio de su carrera, el estudio de las cuencas carboníferas le dieron ocasión a su gran descubrimiento, y en 1801 proyectó su primer trabajo geológico de Inglaterra por condados, con la clasificación de los terrenos basada en los organismos fósiles, pero hasta 1817 no lo pudo publicar completo.

En 1816 publicó un resumen (1) con un célebre cuadro con división de los estratos en doce terrenos, que empieza en el cuisienense—London Clay—, Arcillas de Londres con *Nautilus imperialis* y termina en el siluriano. Coloca aparte, al final, las rocas hipogénicas; granitos, sienitas y gneis. Es curioso que el terreno Bathoniense es el único que subdivide en cinco tramos, cada uno con su fósil característico.

La estratigrafía estaba creada, y los trabajos de Sowerly, Brogniard, Murchison y de los discípulos de Smith no hicieron más que ensanchar su campo. Ya entonces la aplicación de la geología al estudio de los criaderos minerales tuvo base científica y, como resultado de ello, las investigaciones en busca de las sustancias útiles aumentaron el patrimonio de la riqueza del mundo; bien es

(1) *Strata identified by organized fossiles containing print on colored paper of the most characteristic specimens in each stratum.*—London, 1 juin 1916 (4 livraison).

verdad que el descubrimiento de los ferrocarriles y de la máquina de vapor azuzaba más que nunca el ingenio de los hombres.

Como resultado de los estudios estratigráficos, se descubrió el carbón en Pas de Calais de 1850 a 1860, en Dourges en 1852, en Lens en 1853 y en Bruay Marles en 1855.

Como ejemplo típico se puede citar lo ocurrido en el Gard, en la mina «Grande Combe». Había dos explotaciones: una en Sainte Barbe, y otra en Grand Baume, separadas por un accidente geológico. Gracias a los estudios paleontológicos de Grandeury y Zeiller, reconocieron que las capas explotadas en la primera eran de nivel geológico inferior a las de la segunda, y en consecuencia fueron ejecutados sondeos en Grand Baume y se encontraron otros paquetes de capas que aumentaron considerablemente la riqueza de la mina. También por estudios estratigráficos se reconoció la prolongación de las cuencas carboníferas de Francia y Alemania.

Otro ejemplo típico de la importancia de la estratigrafía lo podemos observar en España en la cuenca potásica subpirenaica. Descubiertas en Cataluña, junto al pueblo de Suria, sales potásicas, se creyó en un principio que sólo había allí una bolsada o aglomeración. Trabajos estratigráficos indicaron que la capa salina debía extenderse mucho y los sondeos lo confirmaron. Posteriormente, en Navarra, a 300 kilómetros de distancia de la cuenca catalana, mediante estudios geológicos, también se previó la existencia de la sal potásica que pronto descubrieron algunos sondeos.

La ciencia que analiza y fija en el espacio y tiempo las grandes conmociones que han azotado a la Tierra, la que examina los destrozos sufridos en la corteza terrestre, de los que son inevitable consecuencia grietas, pliegues, corrimientos y toda clase de accidentes, la que estudia la naturaleza y modo de aparición de los materiales

ígneos, cortejo de las conmociones que nos descubren las entrañas de la Tierra; la tectónica, en fin, que nacida hace poco alcanza hoy un gran desarrollo, se ha hecho imprescindible en el estudio de la génesis de muchos criaderos minerales y en sus variaciones y accidentes que influyen grandemente en la explotabilidad.

El auxilio de la tectónica es importante para los dos grupos de criaderos que hemos de considerar. Para los sedimentarios, porque es preciso conocer las leyes y circunstancias que acompañan a las fallas, pliegues y toda clase de accidentes geológicos que afectan a los estratos, y casi siempre el criadero sedimentario no es más que uno de éstos. Es muy interesante además para un grupo especial de estos criaderos, tal vez aquellos que hoy busca con más codicia el hombre. Es común que los grandes períodos de plegamiento han sido seguidos de una fase de sedimentos fosfatados, y con éstos, en período posterior, se encuentran solidarios, aunque por causas algo diferentes, depósitos hidrocarbурados, petrolíferos, salinos y ferruginosos.

En los filones y bolsadas la formación del hueco o la grieta obedece, en la mayor parte de los casos, a causas tectónicas, y el relleno está relacionado con fenómenos hidrotermales o volcánicos consecuencias del dinamismo interno.

Como en toda ciencia, muchos son los obreros que elaboraron en ella y sucesivamente se fueron estableciendo teorías que luego otras generaciones destruían. Aunque sea ciencia joven, los antiguos se preocuparon de ella, más por espíritu filosófico que como ciencia de aplicación, y ya hemos indicado cómo de los problemas de la forma de la Tierra, de los terremotos, de los volcanes, de la acción de las aguas, de la formación de las montañas, se ocuparon naturalistas de todos los tiempos, y no hubo fenómeno ni fuerza descu-

bierta que no se aplicara a explicar los fenómenos de la Tierra, y, así, monseñor Isnard, dice que la virtud eléctrica basta a producir las portentosas conmociones de la Tierra, y que la virtud magnética, que siempre intervino en los fenómenos de la Tierra, no es más que una especial modificación de la eléctrica; y Necker buscó la relación de las montañas con el magnetismo relacionando la orientación de las mismas con las líneas de igual intensidad magnética.

En el momento en que la geología se desligó de las otras ciencias naturales, que coincide con el nacimiento de la industria del hierro y del vapor, los sabios se apresuraron a levantar el edificio de la tectónica y empezaron a aportar materiales. Neptunianos y plutonianos se disputaban sobre los que habían de formar el zócalo de la construcción; el francés Elie de Beaumont aporta el gran sillar de la discordancia, y el prusiano Buch la teoría de los cráteres de levantamiento; Gosselet, Bertrand y Lugeon las teorías de los empujes tangenciales y de los transportes en masa; el austriaco Suess eleva la más importante parte del edificio con la teoría del geosinclinal; Pratt y Dutton, en 1885 y 1889, aportan la teoría de la isostasia (aun no bien desarrollada, pero donde ha de encontrar la tectónica su mayor apoyo a la manera de como lo ha iniciado el Dr. Born en nuestra Península y White en los Estados Unidos), y coronan por hoy el edificio las grandes concepciones de Argand, Stille y Jacob. Mas no se crea que todos los materiales aportados por los sabios son siempre aprovechables, algunos dan al edificio de la ciencia un apoyo eventual, circunstancial, como la concepción de la red pentagonal en la formación de las montañas, que se infiltró en nuestros geólogos de mediados del siglo pasado y como la de los cráteres de levantamiento; pero tanto unas teorías como otras son dignas de admiración, porque marcan un momento de estabili-

dad en el pensamiento humano y sirven para estimular y dirigir la inteligencia hacia otros principios, hacia otros fundamentos, para bien de la Ciencia y de la Humanidad.

El buscar la relación de los yacimientos minerales con la tectónica no se ha extendido todo lo debido entre los investigadores y explotadores de minas, aunque de modo empírico adivinen su importancia. Los llamados sistemas de filones, conocidos por su orientación, no suelen representar otra cosa que líneas tectónicas de diversos movimientos. En los Pirineos hay criaderos hercinianos y otros alpinos, y tienen unos y otros particularidades bien conocidas. Al hablar de los yacimientos de Sierra Morena, los mineros conocen el sistema N.-S., al que corresponden los filones cruceros de La Carolina; un segundo, ONO.-SSE., al que pertenecen los importantes de La Carolina y los piritosos de Huelva; un tercero, entre NE. y ENE., al que hay que referir los de Linares, y un cuarto, E.-O., de poco interés. Pero estas direcciones están relacionadas con las conmociones que agitaron Sierra Morena, y así las fracturas del sistema primero pertenecen a época muy antigua, aunque no bien definida; el segundo, a la herciniana; el tercero, a otra un poco más reciente, tal vez permiana, y el cuarto está relacionado con los movimientos terciarios. Para la investigación de los muchos filones, aun no bien explorados, del corazón de Sierra Morena, ¡qué rendimiento no daría un estudio tectónico detallado!

El estudio de las conmociones que agitan a nuestro globo en su relación con los depósitos minerales arroja mucha luz, no sólo respecto del origen de las fracturas que forman el continente de los filones, sino también sobre la naturaleza de su contenido, en dependencia muchas veces con rocas hipogénicas. En general, los sistemas filonianos deben su mineralización a la acción de alguna

roca eruptiva que les presta las sustancias útiles que el hombre busca. Por tanto, tiene grande interés el estudio de estas rocas, su forma de depósito, su edad y su constitución.

Así, por ejemplo, podemos decir que el oro de Rodalquilar de Almería se presenta en las rocas ácidas propilitizadas del grupo andesítico, como liparitas y dacitas, y nunca en las básicas; lo que facilita mucho su investigación.

También la tectónica nos arroja abundante luz sobre los accidentes geológicos que afectan a los criaderos sedimentarios, y así, por ejemplo, el estudio de la posición e importancia de los pliegues anticlinales de la cuenca potásica subpirenaica nos indica los sitios en que la sal se encuentra más cerca de la superficie y, por consiguiente, en buenas condiciones industriales de explotabilidad. El estudio de los pliegues y fallas en la cuenca carbonífera de Asturias, debido al gran Ingeniero Adaro, ha sido guía y apoyo de todos los explotadores mineros de aquella región.

Nosotros hemos podido apreciar en Baleares, por estudios tectónicos, corrimientos de masas importantes de terreno oligoceno con lignito sobre otros más modernos, y como aquél no tenía raíces, tampoco las tenían las capas de carbón; y así que pudimos aconsejar que no se buscara el carbón en profundidad, como un examen somero del terreno parecía incitar a que se hiciera de no haber mediado dichas razones geológicas.

La tectónica ha de desempeñar, pues, papel muy importante en el desarrollo de la industria minera, pero todavía es ciencia joven y tienen que consolidarse bien sus fundamentos en nuestro espíritu para que en las apreciaciones que hagamos sobre el terreno no tomemos las presunciones como hechos consumados, las hipótesis como verdades y, por consiguiente, en ocasiones podamos perder

el camino que conduce a la verdad y tomar aquel que conduce directamente al fracaso.

En España, desde su nacimiento, hubo naturalistas que siguieron paso a paso el desarrollo de la ciencia y su aplicación a la minería, y ya en este mismo sitio, Mallada, el maestro de la Geología española, sobre todo de estratigrafía, puso bien de manifiesto los que cultivaron la referida ciencia en nuestro país y cómo se llegó de modo parejo al descubrimiento de los grandes depósitos minerales que tanta riqueza han producido: Sierra Almagrera, Hiendelaencina, Gádor y otros, con el incremento en la labor científica, debido a Elhuyar, Bauzá, Ezquerro, Prado, Schulz, Macpherson, Vilanova, Maestre y tantos otros que fueron primeras figuras de la ciencia española. Justo es reconocer que hubo extranjeros que ayudaron a descubrir los misterios de nuestro suelo, y entre ellos descuellan Haussmann, Verneuil, Lyell, Coquand, Leymerie, Barrois y varios más.

En estos últimos años los estudios geológicos se han extendido mucho en Escuelas de Ingenieros y en Universidades, y es de esperar que con el esfuerzo de todos se haga la tectónica de nuestro país, que puede ser uno de los ejes de la del mundo.

Más aún, desde hace pocos años, coincidiendo con los maravillosos adelantos de la mecánica, se ha buscado aplicar para el descubrimiento de los criaderos minerales procedimientos tangibles que no se fundan tan sólo en apreciaciones de carácter especulativo, que a la manera de los sondeos, investiguen, reconozcan los tesoros escondidos en las capas terrestres que no presentan manifestaciones exteriores que afecten directamente a nuestros sentidos. Se fundan en procedimientos físicos, y ya buscan las anomalías que presenta la gravedad a consecuencia de la diferente naturaleza de las capas terrestres, ya las diferencias de permeabilidad magné-

ticas, ya diferencias de resistencia o conductividad eléctrica de unas rocas con relación a otras, o bien la diferencia que presentan los diferentes estratos en la propagación de las ondas sísmicas, o ya las diferencias de radioactividad de los minerales que componen las rocas. Los resultados que se van obteniendo son cada día más seguros y más alentadores, pero es ciencia fundada en una mecánica que tiene que recoger mediciones hechas con gran escrupulosidad. En el procedimiento gravimétrico la unidad de medida es la llamada Eötvös, que es la milmillonésima de una dina y que produce una desviación de 15'' en la balanza de torsión; en los procedimientos magnéticos hay que apreciar la cienmilésima de Gauss, representada por la letra γ ; en los sísmicos es preciso apreciar en la medida del tiempo diezmilésimas de segundo y velocidades muy grandes en la propagación de las ondas, como en las pizarras cristalinas que llegan a seis y siete kilómetros por segundo, y por último, en los eléctricos hay que apreciar la resistencia de ciertos minerales y rocas en milésimas de ohmio-metro por metro cuadrado.

Esto significa el gran esfuerzo de la ciencia que recoge en sus aparatos palpitations imperceptibles de los fenómenos físicos, pero exige también gran cuidado para obtener los resultados que de ellos se recogen, y que, de no hacerlo de modo rigurosamente científico, pueden conducir fácilmente al error.

La ciencia geofísica necesita del concurso íntimo de la geología; los resultados obtenidos en los aparatos geofísicos requieren interpretación geológica, y de la unión de ambas ciencias nace el dato positivo o negativo.

Conocemos una región en donde la geología señaló terrenos que parecían a propósito para guardar en su seno al codiciado petróleo.

Se dedujo la existencia de la cuenca del estudio de la tectónica del país, de la edad de los sedimentos y de las indicaciones superficiales de hidrocarburos. En los geólogos que reconocieron el terreno ya surgió, sin embargo, la idea de si las investigaciones que se pudieran hacer conducirían a buen éxito a causa de que tal vez estuviera el terreno resquebrajado, atormentado por las conmociones tectónicas. Y claro es que, si esto se confirmaba, los aceites hubieran desaparecido, si alguna vez los hubo. Se pidió el concurso de la geofísica, y ésta, con procedimientos sísmicos y gravimétricos, puso bien de manifiesto la existencia de fallas, de hendiduras en el terreno. Otra vez actuó la geología y se pudieron confirmar sobre el terreno algunas de ellas, lo que hizo se desistiera de la investigación por sondeo. ¿Puede darse ejemplo más típico de la colaboración de las dos ciencias? La geología inicia el camino, la geofísica lo sigue, aunque, como ciencia niña, titubeando, con pasos vacilantes, pero anunciando próxima seguridad, y, luego, la geología lo confirma e indica bien claro que el camino que tomaban era el que conducía a la verdad, en este caso amarga, pero siempre eficaz.

La ciencia geofísica se propaga por el mundo y descubre domos de sal y petróleo en Alemania. En Italia se puede citar como ejemplo bien típico del gran papel que puede desempeñar dicha ciencia en la industria, lo ocurrido en busca de petróleo en la región de Emilia, según descripción de los Sres. Peña y Hernández Sampelayo.

Desde hace tiempo eran conocidas en la referida región, en la vertiente septentrional de los Apeninos, hacia la gran llanura del Po, manifestaciones petrolíferas. El Gobierno italiano, convencido de la importancia grande de ayudar a las iniciativas particulares en la investigación de la riqueza que pueda encerrar el subsuelo de aquel país, creó Sociedades para la investigación del petróleo, y, en efecto,

en la llanura Piacentina, donde se encuentra Fontevivo, se decidió aplicar los procedimientos geofísicos de electricidad y estos demostraron la existencia de un anticlinal o pliegue diapiro en dirección N.-S., con dos ramas formadas por terrenos más modernos y porosos en forma de sinclinales y en comunicación con líneas de fractura y todo cubierto por terrenos pliocenos y modernos.

Se efectuaron cinco sondeos y los resultados fueron bastante buenos, encontrándose el petróleo en las arenas del Astiense y del Plasenciense y en uno de ellos en el Mioceno; todos en forma de bolsadas aisladas pero muy interesantes. El reconocimiento de la probable existencia de bolsadas en otros sitios se procede a hacer por los métodos geofísicos.

En España brilla esta ciencia con gran esplendor, y son muy notables los trabajos dirigidos por el Ingeniero García Siñeriz en el Instituto Geológico. En Villanueva de las Minas, con la aplicación de cuatro procedimientos geofísicos, se llegó a resultados verdaderamente interesantísimos. El laboreo progresivo de la cuenca carbonífera de Villanueva de las Minas amenazaba con la terminación de las capas de hulla y los sondeos realizados no dieron el resultado apetecido.

En este estado de cosas el Instituto Geológico y Minero de España decidió emprender una investigación geofísica por los métodos gravimétrico, magnético, eléctrico, de corriente continua y sísmico, que aclararon con sus resultados, del todo concordantes, la constitución geológico-tectónica de la cuenca, y puso de manifiesto una riqueza en carbón antes desconocida, de unos diez millones de toneladas.

La geofísica informó que se trataba de un sinclinal hullero cortado por una gran falla casi perpendicular a su eje. El compartimento situado al Sur de la misma, estaba mucho más alto que el del Norte.

Dicho compartimiento Sur quedó expuesto a los efectos de la denudación, desde el Carbonífero hasta el Mioceno, lo que motivó que se desgastasen las capas hasta quedar reducidas a la de pudinga, que constituye la base de aquél. Sólo había, pues, carbón en el compartimiento Norte y justamente hasta el plano de la falla.

Para comprobar estos resultados se ejecutaron dos sondeos: El primero de la falla en el lado N., y el segundo en el otro. Como era de esperar, el primero cortó todo el tramo carbonífero, y el segundo halló el Cambriano debajo del Mioceno a la profundidad que se indicó de antemano; es decir, que confirmaron, por completo, los resultados geofísicos.

La geofísica parece ciencia de gran porvenir, y a medida que se mejoren sus medios de experimentación y se pueda calcular en los métodos gravimétricos con mayor exactitud la fuerza de atracción de las montañas, en el sísmico se pueda obrar con libertad en terreno accidentado y en aquellos en donde las calizas preponderen (lo que parece no estar muy lejos después de estudios recientes del Sr. García Siñeriz), y en el magnético y eléctrico las mediciones sean más seguras, sobre todo por las correcciones que es preciso hacer y que de no ser observadas con gran exactitud pueden conducir a error, se obtendrán datos y enseñanzas de gran interés industrial. Al principio se podrán hacer cortes geológicos del terreno hasta una determinada profundidad, y los progresos de la ciencia irán volviendo de cristal la corteza terrestre y la medida de este progreso se determinará — al correr de los años — por la profundidad hasta donde los procedimientos geofísicos han hecho transparente la Tierra.

* * *

Existe un mineral que está a la vez en el Cielo y en la Tierra, y que es el primer elemento para la vida de la Humanidad. Moisés dijo: «El espíritu de Dios cubrirá las aguas», con lo que quería manifestar el inmenso beneficio que su existencia representa en este mundo. Se comprende, por consiguiente, la preocupación, el interés que los hombres de todos los siglos han sentido por el agua.

Aunque el origen de las aguas subterráneas fué siempre tema de orden filosófico entre los sabios de la antigüedad, la hidrogeología o ciencia que de ellas se ocupa, no tuvo vida hasta que la geología fué creada, de modo que la ciencia del agua subterránea es aun niña, y es de esperar que en lo sucesivo alcance cada vez más vigor para bien de los hombres, y muy especialmente de los españoles.

El manantial fué siempre objeto de gran atención por los antiguos que lo consideraban gracia divina. Plinio decía: «En ninguna parte muestra la Naturaleza ser tan milagrosa como en las aguas termales.» Así los griegos dedicaban a divinidades las fuentes, en general consagradas a Hércules, emblema de la fuerza, y atribuían la curación a ellas debida a las Ninfas, a Esculapio o a Artemisa Thermis, protectora de las aguas calientes. Los romanos consideraban sagradas las fuentes y las colocaban bajo la protección de dioses especiales. Los cristianos también en los primeros siglos colocaban las fuentes bajo la advocación de determinados santos, lo que demostraba la importancia que les concedían.

La captación del agua subterránea, ya fuera dulce, ya mineral, y los procedimientos para hacerlo por galerías y pozos, fueron empleados desde la más remota antigüedad. Los egipcios y los chinos nos han dejado varios de ellos, y lo mismo griegos y roma-

nos. Algunos de estos últimos adornados con obras de arte, como el pozo de la casa de Caius Sallustius, en Pompeya.

Aunque las noticias que a nosotros nos han llegado de los antiguos dan más importancia a los manantiales minerales, no dejan por ello de ocuparse de los que no lo son, y cuyo uso eran los domésticos o agrícolas; así Hipócrates decía que los médicos no se descuiden en averiguar las propiedades de las aguas potables, pues como éstas son diversas en su peso y calidades, así son también en sus virtudes y efectos. Es decir, que ya nos daban hace siglos lecciones que todavía muchos pueblos de España no han sabido aprovechar.

Los grandes filósofos griegos emitieron su opinión sobre el origen de las aguas. Empédocles suponía que el agua surge de la tierra empujada por una especie de vapor calentado por el sol y por el fuego que existe en las entrañas. Platón, en su diálogo *Phedon*, dice que toda el agua de la tierra procede del Océano y cae en la gran cavidad, el Tártaro, de donde se reparte. Aristóteles creía que el agua evaporada del suelo se condensa en las cavidades enfriadas en las altas regiones y forma lagos subterráneos que alimentan manantiales y arroyos. Añade que parte de la Tierra puede convertirse en agua. Epicuro, en su carta a Pythoclus, nos comunica que las fuentes provienen de depósitos de agua interiores que tienen salida continua y que son alimentadas por pequeñas venas de agua.

Séneca cree que hay en la Tierra grandes cavidades llenas de aire, y que este aire sin movimiento, en una gran oscuridad, con el gran frío que reina en esos lugares, se convierte en agua y da lugar a ríos y fuentes.

Tales de Mileto y Lucrecio principian a acercarse a la verdad

cuando manifiestan que los vientos arrastran el agua del mar a la tierra y que penetra en ésta, donde pierde la sal y vuelve al mar.

El que realmente concibió ya el ciclo que sigue el agua, tal como lo consideramos hoy, es el célebre Arquitecto Marcus Vitruvius Polio, que vivió en el siglo I de nuestra era. En su *Tratado de Arquitectura* dice que el agua de lluvia y de nieve fundida que procede de las nubes se filtra en el terreno y por él circula hasta surgir en las fuentes. Da también indicaciones muy interesantes acerca del modo de encontrar el agua; algunas, fundadas en la higroscopicidad, y otras, deducidas de las que proporcionan la existencia de cierta clase de plantas. También relaciona la composición del agua de los manantiales con la calidad de la tierra. Manifiesta que el agua que se encuentre entre la creta no es abundante ni de buen gusto; que entre la arena movediza está en pequeña cantidad, y que en la tierra negra es mejor. Cuando nace el agua en tierra arenosa semejante a la que se encuentra en los ríos es buena, pero la cantidad es pequeña e incierta. En la arena fuerte y en la grava son más ciertas. En la piedra roja es tan buena como abundante. Al pie de las montañas las fuentes son caudalosas, frías y sanas; en los valles, saladas, pesadas, tibias y poco agradables.

Indica varios procedimientos para saber si existe o no agua, fundados todos en la que se escapa por capilaridad procedente de los cursos subterráneos, forzosamente freáticos o muy superficiales. Uno de estos procedimientos consiste en colocar en el suelo sobre un pequeño foso del terreno una vasija, bien untada de aceite por dentro, en posición invertida. Se cubre la vasija con hojas, cañas y tierra. Si a las veinticuatro horas se encuentran gotas de agua adheridas a la vasija significa que en el sitio del experimento existe agua.

Agrega que es más abundante y mejor el agua en las laderas de las montañas que dan al Norte.

Los griegos fueron entusiastas de los baños, sobre todo de los baños calientes, y así, Homero, en su capítulo I, libro VII, al describir las delicias que usaba Ulises, habla de la música, de los bailes, de las galas y de los baños termales. Para explicar su termicidad los antiguos acudieron a las más peregrinas explicaciones. El filósofo Cenón, dijo que todo movimiento, vida y ser se debe a cierto fuego etéreo, de lo que infería que en el agua este mismo espíritu producía el calor.

Los egipcios atribuían a los astros, principalmente al Sol, el fuego subterráneo de la Tierra, causa de la termicidad de las aguas, argumentando que la Tierra era menor que cualquiera de ellos, y, siendo el movimiento rapidísimo y con muy vigorosa influencia, momentáneamente penetrarían las irradiaciones de los astros hasta el centro de la Tierra, y que allí reunidas, adquirirían mayor virtud y gran valor. Demócrito atribuía el fuego subterráneo a la unión del agua con la cal. Petronio relacionaba las fuentes con los volcanes y ambos con la fermentación de varias sustancias. Otros lo atribuían a la presión de la corteza terrestre.

Los romanos dieron gran importancia al agua para el riego y para los usos domésticos y medicinales. Los baños adquieren en su tiempo esplendor extraordinario. Las termas de Nerón, Agripa, Vespasiano, Tito, Aureliano, y, sobre todo, las magníficas de Caracalla, en donde se bañaban a la vez 3.000 personas, lo ponen bien de manifiesto; pero los abusos que se registraron por motivos nacidos de la misma índole del asunto, y que dió lugar a un exagerado culto a Venus, motivó medidas de policía que redujeron algo su empleo.

En España los romanos también establecieron importantes esta-

blecimientos de aguas minerales, siendo los más renombrados los de Alange, en la provincia de Badajoz. Cea Bermúdez, en su libro *Sumario de las Antigüedades romanas que hay en España*, cita 38 fuentes que utilizaron los romanos; lista que otros autores han aumentado en algunas más.

No modificaron los romanos las ideas sobre las fuentes que tenían los griegos; lo que sí hicieron, como siempre, fué extender sus aplicaciones. Plinio, que trató en su obra, en el capítulo XXI, de las aguas, no se detiene a explicar el origen de las mismas; solamente manifiesta que la fuerza del viento que las empuje hacia arriba y el peso de la tierra son causa de que surja el agua en las cúspides de las montañas. Juzgamos de sumo interés una apreciación de Plinio, al atribuir la calidad mineral de las aguas a que éstas toman de la Tierra las sustancias que llevan en disolución. Describe muchas fuentes potables y medicinales, y entre ellas algunas de España. Cuenta muchas cosas fabulosas e inverosímiles y proporciona entre ellas algunos datos de interés.

Son muy curiosas las reglas que da para buscar las aguas subterráneas. Aunque muchas de ellas son análogas a las de Vitruvio. Dice que la tierra para cocer, o sea la arcilla, no tiene agua, y que cuando en un pozo se observan diversas capas que son como las películas de la tierra y se llega a una tierra negra o verde, se debe suspender la perforación. En la arena el agua es poco abundante. La arena endurecida, la grava, la toba, contienen aguas permanentes y salobres. Las rocas de pie de montaña y la silex anuncian aguas extremadamente frescas.

Paladio aconseja lo mismo que indicaba Vitruvio, y dice, conforme con él, que para saber dónde hay agua escondida es preciso que en un día sereno y tranquilo, antes de nacer el sol, se ponga el ob-

servador tendido en tierra, tocándola con el vientre, y apoyando en ella la barba, mire la superficie del terreno. Si se notare en alguna parte que se elevaban del suelo vapores, se conocerá que allí hay agua. Agrega que se debe hacer la observación en el mes de agosto y en terreno que no sea pantanoso.

La crisis cultural sobrevinida en el mundo con el agotamiento y caída del Imperio Romano, no podía dejar de hacer surtir sus efectos en los trabajos y estudios sobre el aprovechamiento de las aguas subterráneas y hasta en la aplicación a los usos domésticos y terapéuticos. Sin embargo, aunque a algunos les parezca extraño, España, en tiempo de los primeros cristianos, fué el país de Europa en donde más se siguieron empleando los baños, hasta que Carlomagno, en el siglo VIII, les dió gran impulso en Francia y otros países. Los árabes establecieron el culto al agua, y bien se aprecian en nuestras costas levantinas los esfuerzos que hicieron para obtener agua subterránea y lo mucho que utilizaron los manantiales, lo mismo los fríos que los termales.

En Córdoba da envidia pensar que llegó a haber novecientos baños públicos. Las fuentes de Alhama de Granada tuvieron extraordinaria importancia. No solamente los califas impulsaban este uso en España, sino que los Reyes cristianos rivalizaban en el mismo empeño.

Cassiodoro, Ministro de Teodorico, rey de los Ostrogodos en el siglo V, se dedicó a impulsar la investigación de aguas subterráneas y mandó traer de Africa un hombre que poseía conocimientos grandes en el arte de descubrirlas, al que pagó con los fondos públicos y recompensó con generosidad, pues decía el gran Ministro que es distinción que es debida a todo el que ejerce artes útiles al público, para que no se pueda decir que durante nuestra

administración se olvida en Roma a alguien que haya podido ayudar a su comodidad y embellecimiento.

En su libro III, carta LIII, indica los medios para descubrir las aguas, fundados en los mismos indicios que señalaron Vitruvio y Plinio. Dice, por ejemplo, que cuando se ve salir de la tierra muy ligera columna de humo hay un manantial oculto, tanto más profundo cuando la columna sea más elevada. Si se coloca de noche sobre el suelo lona seca debajo de un ladrillo y se cubre de tierra, si aparece a la mañana siguiente mojada es señal de agua. Otra indicación refiere, si se ve nubes de moscas volar en un mismo lugar y constantemente, es indicio de agua en aquel sitio. Manifiesta que las fuentes que nacen en laderas orientadas al Levante o Mediodía son dulces, transparentes, ligeras y sanas, y que las que salen al Norte son demasiado frías y pesadas.

A los árabes lo que más les preocupaba era la termicidad de las aguas. Unos la atribuían al fuego subterráneo y otros rebatían esa teoría, y entre ellos Agmer-Ben-Ab-Dála, Médico de Toledo, que escribió en 1054 un libro titulado *Tratado de las aguas minerales de Salam-Bir*, que corresponde a Sacedón. Atribuye la temperatura de las aguas a la combustión del azufre que abunda en la Tierra y da como razón que este cuerpo se encuentre en las aguas calientes y nunca en las frías. Habla también de causas ocultas, agregando que el movimiento es causa de calor. Dice que las aguas se cargan de minerales al pasar por las minas, y llama *mixtos* a las aguas que contienen sales, metales, piedras y jugos, e indica que éstos pueden estar en el agua de dos modos: en su propia sustancia o en sus partes espirituosas.

Otros árabes opinaban que el calor del agua se debe a la presión al brotar de largas hendiduras y conductos, y la salida al exte-

rior en forma de manantiales, a la atracción solar que elevaba las aguas por medio de hendiduras capilares y para agruparse en regiones más altas en forma de arroyos.

Conformes con las teorías de los antiguos, muchos creían en el ciclo de Vitruvio, pero otros opinaban que toda la corteza terrestre estaba cubierta de grietas y oquedades en las que, al penetrar el agua del mar, perdía su salcedumbre y producía fuentes de agua dulce.

Mucha impresión causaba en la imaginación exaltada de los árabes la existencia de las cuevas calizas por donde se sumían los ríos, y llegaron a suponer que cada río estaba en relación con otro, con el que se comunicaba aun por debajo de los mares; así creíase al Nilo continuación del Inopo.

La mayor parte de los geógrafos árabes y cristianos que ya hemos citado, describen las fuentes minerales, y respecto a España se ocuparon más de ello El Idrissi, Averroes y Bradedino, entre los árabes, y Raimundo Lulio, entre los cristianos. En todo este tiempo, los estudios sobre Hidrología estaban principalmente concentrados en los manantiales medicinales fríos y calientes. Los primeros tratados completos de aguas minerales con carácter científico se deben a los italianos, y creemos que el más antiguo es el de Miguel Savonarola, en 1498, titulado *De balneis omnibus Italiæ*, y siguió el de Andrés Baccio, en 1671, que trataba de todas las fuentes termalles de Europa.

Agrícola, que vió la forma de surgir el agua en las minas, distinguió el agua que procedía de las lluvias y que se infiltraba en el suelo hasta manar en forma de fuentes, de la que procedía de la condensación de vapores ascendentes.

Como teorías curiosas son de indicar la de Kepler, en 1619, que

compara la Tierra a un animal enorme que aspirara el agua del mar, la condensara en su cuerpo y la expulsara por los manantiales, y la de Van-Helmont, que supone el núcleo de la Tierra de arena mezclada con agua. Ésta, dentro de aquélla, tiene virtud vivificante que le permite ir en todos sentidos, incluso ascendente; virtud que pierde en cuanto sale de la arena, circulando según las leyes físicas corrientes.

Trabajos importantísimos sobre las aguas subterráneas fueron los de Palissy, que cristalizaron en 1580 en el precioso libro de que ya hemos hablado. En él, conforme con Vitruvio, manifiesta que el agua infiltrada por la lluvia se detiene en una capa impermeable arcillosa y sobre ella circula hasta que surge en el manantial.

Descartes suponía la existencia de un ciclo subterráneo para el movimiento de las aguas, idea que había emitido el inglés Lydiat en 1605. Consideraba que existían unos conductos subterráneos que llevaban el agua del mar al interior de la Tierra, y que allí el calor terrestre hacía evaporar el agua y ésta se condensaba en espacios más elevados que alimentaban los manantiales.

El jesuíta Wircher, en su *Mundus subterraneus*, en 1665, da indicaciones para encontrar el agua fundadas en los mismos principios que los de Vitruvio, aunque con variaciones en los procedimientos. Respecto al origen de las aguas con su teoría de pyrophyllaceas e hidrophyllaceas, sostenía las mismas ideas que Descartes.

El gran Mariotte, en su libro *Traité de mouvement des Eaux et des autres corps*, coincide con las teorías de Palissy.

En Francia, en 1600, Bauhino publicó el primer trabajo sobre

fuentes minero-medicinales, y Enrique IV creó la Intendencia general de aguas medicinales.

En el buen aprovechamiento de las aguas subterráneas influyó mucho el descubrimiento de la sonda, que sin duda emplearon los egipcios y los chinos, pero que no se aplicó en Europa hasta 1691 en un taladro abierto en Módena (Italia), que alcanzó la profundidad de 21 metros. Posteriormente fué introducido el procedimiento en Francia, siendo en Artois donde se hicieron los primeros trabajos.

Belidor habla en 1737 de sondeos. En España no sabemos cuándo se perforó el primer sondeo, pero en un libro escrito en 1778 por Francisco Vidal, titulado *Conversaciones instructivas*, en que se trata de fomentar la agricultura, se describe el procedimiento empleado en Artois y excita a los labradores para que se utilice en España; así que por lo menos debió emplearse la sonda después de esa fecha.

En el siglo XVII vivieron los sabios en Hidrología medicinal que más contribuyeron al progreso de esta ciencia: Hoffmann en Alemania, Bayle en Inglaterra, Duclos en Francia.

En España hasta el nacimiento de la ciencia geológica se puede decir que hubo dos tratados de aguas medicinales que descollaron sobre los demás y que nos dan idea del modo como se iban desarrollando los conocimientos hidrológicos en España, única pretensión que tiene el que os dirige la palabra, pues nunca pretendió, por falta de conocimiento para ello, hacer la historia completa de los conocimientos que hoy abarca la geología.

El más antiguo de dichos dos libros es el de D. Alfonso Limón Montero, editado en Alcalá de Henares en el año 1697, aunque compuesto muchos años antes. Hace una descripción de las aguas minerales de España, y hablando del origen de las fuentes, dice

que es posible que en parte procedan de las lluvias, y en parte de los vapores que en la entraña de la Tierra se levantan, así por el calor del sol como por el que dentro de la misma Tierra se encierra. Pero manifiesta que no quiere profundizar, porque las aguas son obra de la Sabiduría Divina. Estudia la relación del agua con el azufre, betún, sal, salitre, alumbre, vitriolo, yeso, cenizas, cal, arsénico y rejalgar, tierras Eretriade, Cimolia y otras medicinales y con los metales. Manifiesta que el mineral o metal que se encuentra en las aguas pueden estar de dos modos: o en su propia sustancia, o en su parte espiritosa y sutilísima. El libro, como nacido en plena fiebre gongorina, se titula *Espejo cristalino de las aguas de España, hermoseedo y guarnecido con el marco de variedad de fuentes y baños*. En él trata de 41 fuentes, 8 ríos, 6 lagos y 19 baños de España.

El otro libro interesante sobre las fuentes minerales españolas es el de D. Pedro Gómez de Bedoya, titulado *Historia Universal de las fuentes minerales de España*, publicado en Santiago en 1764, en el que suma a sus propios estudios los que había hecho el Doctor extremeño Rodrigo de Quiñones. De la parte relacionada con la hidrología es interesante lo que dice en su Academia Segunda, parte segunda, referente al modo de cómo se le comunica al agua la virtud mineral.

Atribuye la termicidad al fuego de ciertas sustancias, como el hierro y azufre de las marcasitas, al carbón de piedra o fósil, materias bituminosas y otras, y también la atribuye, de conformidad con Helvecio, al fuego eléctrico que supone cautivo en los estrechos poros de los cuerpos, y que a veces rompiendo la prisión se hace sensible. Describe en su libro 165 fuentes, 23 baños, 6 pozos, 12 lagunas, 3 ríos y 2 cuevas.

A la obra de Bedoya siguieron en las postrimerías del siglo XVIII monografías sobre algunos manantiales minerales, en los que ya se dan análisis completos, como el de las aguas de Trillo, de Casimiro Ortega, en 1778; el de Cestona, de Francisco Chabanneau, en el mismo año; el de Solán de Cabras y del Rosal de Forner, del Dr. Garcua Fernández; el de la fuente de la Casa de Campo de Sumas Aguas, por los boticarios Enciso, Ruiz del Cerro y Bañares, y muchos más. Entre ellos es notable, aunque de carácter más médico que hidrológico, el de Antonio Capdevila, titulado *Teoremas y problemas para examinar, saber usar cualquiera agua minerales*, de 1775.

En Europa se despertó a final del siglo XVIII un gran interés por analizar aguas medicinales; en España se distinguieron por tal concepto Juan de Dios Ayuda y Pedro Gutiérrez Bueno.

Son innumerables los trabajos que se publicaron sobre aguas en el siglo XIX, y en la geología recientemente creada se apoyó la hidrología para su progreso. Sobre ellos descuella, por el modo genial de presentar la cuestión, dada la época en que apareció, el libro titulado *L'art de decouvrir les sources*, del Abate Paramelle, publicado en 1859, y que ha sido libro de consulta de todos los que se han dedicado a la investigación de aguas subterráneas hasta hace poco tiempo.

Respecto a aguas minero-medicinales, se publicó en España en 1853 un libro importantísimo, el de Pedro M. Rubio, titulado *Tratado completo de las fuentes minerales de España*, en el que describe 723 fuentes medicinales, da análisis de la mayoría de ellas, determina bien sus condiciones terapéuticas, y las presenta clasificadas según el principio científico establecido en Alemania por Wetzler.

En un catálogo de fuentes medicinales españolas hecho por el Instituto Geológico con motivo del Congreso Hidrológico de Madrid, el número de ellas se eleva a 784, lo que representa una gran riqueza, aunque su número no sea tan grande como el que indicaba Fernández Navarrete cuando decía que había más fuentes minerales en España que estrellas en el cielo.

Ya antes, en 1833, publicó D. José Mariano Vallejo su interesante obra titulada *Tratado de las aguas*. Bentabol publicó a final del siglo pasado el libro *Aguas de España y Portugal*, que reúne muchos datos y enseñanzas, y Fernández Navarro publicó muchos trabajos sobre Hidrología subterránea, siendo sumamente interesante el publicado en 1921: *El agua subterránea. Su origen, su régimen, su utilización*.

Sobre las ideas clásicas acerca del origen de las aguas que inició Vitruvio hace veinte siglos, desarrolló Palissy y aceptó Parmelle, los autores modernos hacen algunas observaciones y consideran que, en efecto, las aguas de lluvia forman la mayor parte de los cursos subterráneos, pero consideran que existen otras de distinto origen: unas que vienen del interior de la Tierra y que Suess llama juveniles, y otras procedentes de la condensación del vapor de agua contenido en el aire del suelo, siguiendo el criterio de Volger en su libro *Die wiss Lösung der Wasser*, aunque quitándole el carácter de generalidad que él le da.

Se clasifican las aguas según estos principios que acabamos de indicar, y así, el Geological Survey E. U. establece dos grandes grupos: uno de manantiales, originado por aguas profundas, y otro de los de aguas meteóricas. Subdivide el primero en manantiales volcánicos y en manantiales de grietas, y en ellos están comprendidas todas las aguas calientes y minerales.

Del segundo hace muchas subdivisiones: de depresión, de contacto, artesianos y manantiales en rocas impermeables.

La clasificación de las aguas minero-medicinales generalmente adoptada es la de Gauthier, que modificó en parte la de Casciani y cuyos grupos principales son: sulfuradas, cloruradas, bicarbonatadas, sulfatadas, indeterminadas, ferruginosas, arsenicales y oli-metálicas.

Clarke, del Geological Survey E. U., hace una clasificación que resulta más complicada que la de Gauthier, basada en los radicales negativos, pero después hace subdivisiones según los iones positivos *Na*, *Ca*, *Mg* y *Fe*, y llega a establecer 20 clases diferentes.

Los procedimientos para investigar y alumbrar el agua tuvieron en el siglo XIX gran incremento, pues el descubrimiento de la máquina de vapor facilitó mucho el trabajo de los sondeos, y la técnica creada, como consecuencia, la de los procedimientos de entubación de taladros. Se ha podido llegar a profundidades de cerca de tres kilómetros. En España se llegó con un taladro, en busca de potasa, a 1.634 metros de profundidad, y en Alcalá de Henares, en busca de agua, a más de 1.200 metros.

Los procedimientos geofísicos cuyos principios hemos ya descrito, son empleados para la investigación del agua con bastante buenos resultados, siendo hasta ahora el más común el eléctrico de Schlumberger. Fundados en las anomalías magnéticas se han inventado varios aparatos con el solo objeto de investigar aguas, algunos con base científica y otros no permite el secreto que guardan sus autores deducir que la tienen.

Creemos que los procedimientos radioactivos, dosificando la cantidad de radio, torio, actinio, pueden ser con el tiempo un valioso auxiliar, puesto que hay aguas muy cargadas de elementos

radioactivos. Los estudios de Dienert en los alrededores de Provins determinando la radioactividad en los distintos pisos geológicos, indica bien claro el camino que conviene seguir.

No queremos aquí hablar de los procedimientos rábdcos, porque, conocidos desde la más remota antigüedad, siguen aún las discusiones sobre su fundamento y eficacia.

Los estudios geológicos han de servir siempre de base en la hidrología del porvenir, lo mismo para la investigación y alumbramiento de las aguas que para su conservación. Han de ir encaminados, en la mayor parte de los casos, a la determinación de las cuencas hidrológicas apoyándose en las dos grandes ramas de la ciencia: estratigrafía y tectónica. Al estudiar una región se debe llegar a la clasificación en horizontes, con el examen de las condiciones físicas de las capas que los constituyen. Si en este estudio se emplean los procedimientos utilizados por el Geological Survey E. U., que marcha a la cabeza en esta rama de la geología aplicada, para determinación de los coeficientes de infiltración, absorción, retención, del llamado *willings coeficient* (o sea la relación con el peso del terreno seco del peso de la cantidad de agua que queda en el terreno después de haber extraído las raíces toda la que han podido), higroscópico, y el equivalente de humedad, así como los métodos empleados para determinar el movimiento del agua en el terreno, ya sean los fundados en principios matemáticos, ya sean los experimentales, que consideramos más seguros, y entre éstos los de colorantes o los fundados en la conductibilidad eléctrica, se pueden alcanzar en la práctica grandes rendimientos y beneficios.

En España hay mucho que hacer. Es cierto que en el litoral levantino las aguas subterráneas han creado gran riqueza, pero se

puede decir que sólo se explotan los mantos acuíferos del cuaternario, y aun en éstos no alcanza el aprovechamiento, ni con mucho, al máximo de su capacidad. En el llano de Llobregat, formado por el delta del río de este nombre, sólo suele captarse por medio de pozos la capa más superficial; sólo en los pozos de la Sociedad de aguas potables de Barcelona y en alguno otro se aprovecha el agua de las otras dos capas más profundas bien reconocidas.

En el delta del Turia, en plena huerta de Valencia, se explotan las aguas freáticas y una capa situada a unos 20 metros de profundidad media. Ahora se empieza a explotar otra situada a unos 50 metros de profundidad, cortada por algunos pozos en el mismo Valencia, pero el reconocimiento del subsuelo de la huerta, a pesar de la riqueza que el agua representa en aquel país, no se ha empezado a hacer hasta hace dos años, cuando el Instituto Geológico ha emprendido una serie de sondeos con tal fin.

En todo el litoral levantino, desde Tortosa a Valencia, existen varias terrazas cuaternarias en donde los alumbramientos de aguas son muy escasos y en donde cabe aún un mucho mayor aprovechamiento.

En las provincias de Valencia, Murcia, Alicante y en Andalucía, se ha considerado siempre nivel interesante de agua, en el que tenían puestos los naturales sus deseos y los técnicos sus ilusiones, el de las calizas jurásicas agrietadas que se apoyan en las margas del triás; pero es preciso reconocer que por las condiciones topográficas del terreno, en la mayor parte de los casos, las mismas aguas que las calizas reciben del cielo las devuelven en manantiales importantes muy aprovechados; cuya consideración quita interés por buscar otros iguales. No podemos negar, sin

embargo, que en casos particulares es posible encontrar nuevas aguas, y, sobre todo, ampliar las actuales captaciones.

En algunos sitios en las calizas del Muschelkalk existe un nivel hidrológico análogo.

Es papel importante de todas estas calizas, y más aún en las cretáceas y eocenas, recoger el agua meteórica, conducirla por entre sus fisuras y verterla en los lechos permeables terciarios o cuaternarios.

Todas estas formaciones vienen apoyadas en el substratum triásico, en muchos sitios autóctonas, pero en otros, desplazadas por transportes en masa; de modo que las condiciones hidrológicas, por sí solas, son en general deficientes y aventurado el éxito en el alumbramiento de aguas. En todas estas calizas se debe estudiar siempre bien su papel de depósitos alimentadores de otras cuencas.

Las cuencas hidrológicas, en general, en Alicante, Murcia y Andalucía son de escasa extensión y plantean problemas aislados que hay que estudiar con detenimiento en cada caso, siempre sobre la base de aprovechar bancos permeables de los depósitos terciarios y cuaternarios. Es frecuente que estas formaciones se estrangulen en estrechos geológicos, y en estos sitios se pueden hacer con buen éxito investigaciones con sondeos cuando los mantos son profundos y con galerías y con presas cuando son muy superficiales; las últimas en ciertos mantos subálveos.

Algunas veces ciertas calizas cretáceas se presentan muy trituradas, con gran cantidad de grietas y fisuras, unas y otras en completa comunicación, de modo que el agua circula por ellas como lo puede hacer por un manto de grava, y por ello algunos ingenieros han propuesto investigaciones para reconocer este manto acuífero.

Los Ingenieros del Instituto Geológico han proyectado en dife-

rentes ocasiones la realización de trabajos en busca de agua en toda la región Sureste y Sur de España que acabamos de indicar, como en Jumilla, Cieza, Mula, Alhama, Totana, Nogalte, Cartagena y Tibi en el reino de Murcia; Villena, Sax, Elda, en Alicante; Villar del Arzobispo y Liria, en Valencia; Puerto Real y Lebrija, en Andalucía.

Han sido objeto de muchos informes y trabajos de investigación las cuencas terciarias del Duero, Tajo y Ebro. En ellas se explotan en muchos sitios las aguas que circulan por los depósitos modernos que las recubren, y las que lo hacen por el contacto de éstos con el terciario. En 1 de mayo de 1830 preguntaba Cristóbal Bordiú en la *Gaceta de Madrid*: ¿El terreno de Madrid es a propósito para la formación de fuentes ascendentes? Entre otros muchos, Fernández Navarro y el autor de este trabajo, como una prueba de que siempre fueron guiados por la misma orientación geológica, estimularon a los Poderes públicos para que se hiciera un sondeo de exploración en la cuenca de Madrid, pero el realizado en Alcalá de Henares hace tres años, cortando en casi toda su longitud, de 1.200 metros, margas y arcillas, miocenas en un principio y oligocenas al final, ha restado muchas de las esperanzas que en él existían. Se cortaron aguas, pero de corto caudal y de mala calidad. Esto no quiere decir que no se deba continuar la exploración. Los métodos geofísicos que ha empleado el Instituto Geológico, parecen marcar las ubicaciones de los nuevos trabajos que se deseen emprender.

En la cuenca del Duero también se captan por pozos en algunos sitios las aguas superficiales, pero tampoco creemos que se ha reconocido como se debe el subsuelo de aquella región. Existe una subcuenca hidrogeológica en la parte Norte de esta cuenca en

la provincia de León, de gran interés, y en donde el Instituto Geológico con gran entusiasmo, desde hace muchos años, se ocupa de darle el desarrollo debido. Es una cuenca artesiana que afecta a muchos pueblos formada por capas terciarias y cuaternarias con varios niveles acuíferos, algunos a una profundidad de 200 metros. En un país tan ávido de agua como aquél, incluso para las necesidades domésticas, el contar con una cuenca así, representa un gran beneficio.

En la cuenca del Ebro mucho nos tememos que en las capas terciarias no se encuentre agua, dada la naturaleza de las rocas que las integran. En la zona oriental de la misma, en Cataluña, se han cortado en el oligoceno, con motivo de las investigaciones de las capas potásicas, algunos veneros de agua, pero de poco caudal, aunque sí el suficiente para entorpecer la ejecución de algunos de los pozos maestros allí perforados, haciendo buena la frase de Launay, «de que el agua no parece cuando se busca y se presenta cuando se huye de ella».

En casi todo el Oeste de España las aguas son filonianas, y sólo la observación de ciertos caracteres exteriores a devoción de cualquier agricultor o los procedimientos geofísicos, pueden ilustrar algo acerca de su captación. Claro es que existen derrubios y depósitos cuaternarios en que es posible la existencia del agua en forma de manto, como el nivel bien conocido entre el granito descompuesto y el que se conserva sano, pero en general se trata de pequeñas cuencas que exigen en cada caso estudio especial. Tampoco en dicha región se siente el ansia de agua que martiriza a la agricultura levantina.

Para buscar los veneros de agua correspondientes a los grupos volcánicos y de grietas, el principal estudio es el tectónico. Los

manantiales de Archena, Fortuna y Mula, por ejemplo, nacen en una serie de fracturas recientes, debidas a conmociones tectónicas que siguen en nuestros días, como lo demuestran movimientos sísmicos frecuentes. Así lo pudimos comprobar Sánchez Lozano y yo cuando estudiamos las causas del terremoto de Lorquí, en la primavera de 1911, advirtiendo que precisamente el epicentro de dicho movimiento sísmico coincidió con la intersección de fracturas interesantes. Observación análoga ha hecho Carbonell en el reciente terremoto de Montilla.

Juzgamos muy difíciles de investigar las fuentes debidas a grietas con la sola ayuda de la geología; tal vez en ellas sean los procedimientos geofísicos los más eficaces.

También hemos indicado que en la conservación de los veneros de agua debe intervenir la geología. El problema de rapiña de fuentes, planteado en Canarias, lo pide a gritos. Allí, a consecuencia de circular el agua por grietas de contracción de las rocas hipogénicas, en comunicación unas con otras, se hacen galerías y galerías, captándose unos a otros el agua, saltando por el derecho de prioridad, lo que obliga a la Administración a dar disposiciones que únicamente deben fundamentarse en la técnica geológica.

Hasta hace poco la cuestión de los macizos de protección en las fuentes minero-medicinales figuraba en la legislación de modo arbitrario y absurdo. Se daba a dicho macizo forma cilíndrica y el radio de la sección recta era igual para toda clase de fuentes. Afortunadamente, hace muy pocos años se dispuso que sobre la forma y dimensiones del macizo se diera para cada caso un informe hidrogeológico especial.

En cuestión de aguas hay mucho que hacer en España, aunque no se puede ir tan lejos como quisiera nuestro deseo, porque en la

realidad se tropieza con grandes dificultades. Pero sí que es triste pensar que mientras nuestros campos sienten angustiosa sed; que mientras existen pueblos en donde los cántaros guardan turno en la fuente horas y horas para recoger el agua necesaria a la bebida, o es preciso ir a buscarla a 20 kilómetros de distancia; que mientras existen poblaciones en donde se abastecen de aguas infectas o con cantidades de sales tan grandes que tapizan las vasijas al poco tiempo de llenas; van todos los años a los mares grandes cantidades de aguas, no sólo procedentes de las avenidas de los ríos, sino de las que circulan por los conductos subterráneos y que se pierden sin beneficio para nadie.

Otra rama de la Ingeniería — la Hidráulica —, al tomar desarrollo, al engrandecerse, tuvo que recurrir a la geología. Se comprendió que no bastaban los cálculos matemáticos para hacer obras duraderas y eficaces; era preciso además que el terreno estuviese dispuesto a recibirlas. Dentro de esta aplicación, en lo que más ha apremiado el auxilio de la ciencia fué en la construcción de presas y diques para almacenar el agua de los ríos.

Según Herodoto, unos seis mil años antes de J. C., Menes, fundador de la primera dinastía faraónica, construyó el primer dique de que se tiene noticia; un dique longitudinal, según el río Nilo, para regar las tierras de la margen izquierda del mismo; y dos mil años después, en la XII dinastía, en el primer Imperio tebano, se construyó el otro dique para regar la margen derecha. La dinastía jedivial substituyó al sistema de riego por inundación, el perenne; pero sólo a principios del siglo XIX se construyen presas en Egipto para almacenar agua; las de Delta y Zifteh, de poca importancia y en la

forma que había previsto Napoleón cuando llevó su dominio a aquellas tierras.

La idea de retener el agua para distribuirla en las épocas de escasez, tal vez surgiera por primera vez en la mente de Julio César, con el aprovechamiento del lago natural de Fucino, en la provincia de Aquila, aunque la obra no se construyó hasta la época del Emperador Claudio. A pesar del alarde de ingeniería que representa en aquella época construir el canal o emisario de 5.642 metros de longitud, la mayor parte en túnel, y con una sección de 10 metros cuadrados de superficie, la obra no llegó a dar el rendimiento que se esperaba, porque pronto se inutilizó. En ella se desbordó el genio, pero no se le pudo dar a la obra carácter industrial.

No se comprende cómo, sin explosivos, con las herramientas de aquel entonces, con la bomba aspirante e impelente de Ctesibius, se pudiera abrir el túnel en caliza viva y 40 pozos con profundidades hasta de 122 metros. Las obras realizadas en 1876 por el príncipe de Torlonia en la construcción del canal hoy utilizado, han descubierto la obra, han puesto de relieve hasta dónde llegaban las águilas romanas en su vuelo por la ciencia.

Desde nuestro punto de vista geológico, asombra el considerar cómo tuvieron en cuenta la naturaleza del terreno en el trazado del túnel, en donde tuvieron que cortar, en más de tres cuartas partes de su longitud, caliza compacta y en lo restante arcilla y arena; cómo supieron vencer las grandes dificultades que se les presentó, y cómo salvaron de modo increíble las grandes peripecias que sobrevinieron en la ejecución de la obra.

En España también tenemos buena prueba de lo que fué capaz el genio romano en obras hidráulicas. Me refiero a los dos pantanos

romanos de Mérida: Proserpina y Cornalvo, que fueron comenzados en tiempo del Emperador Trajano.

El primero puede embalsar diez millones de metros cúbicos y tiene una presa de 500 metros de longitud en línea quebrada. Está construido con hormigón — invento romano — revestido con mampuestos de sillares de granito. Tiene diez metros en la base y seis en coronación y ocho metros de altura. Poseía dos torres destinadas a sostener los mecanismos para el agua. Del pantano se tomaban las aguas que pasaban por el acueducto de los Milagros. El de Cornalvo tiene presa en curva, cóncava hacia aguas arriba y escalonada. Su cabida es de nueve millones de metros cúbicos; la presa de 222 metros de longitud y 18 de altura. Tiene galería de desagüe y galerías subterráneas de uso no bien conocido.

Son obras a las que no se les ha dado la debida importancia, y que representan mucho en la civilización romana. Se puede apreciar al contemplarlas lo que ya significaba el agua en nuestro seco suelo.

Los árabes supieron sembrar de jardines España con sus pequeñas presas de derivación de los ríos y con esa red de canales que constituyen el patrimonio más sagrado de las regiones levantinas, hasta tal punto que el huertano cree más suya la acequia que le dejó Abderramán, que la cama que le dejó su padre.

Los árabes españoles, por su cultura, por su estimación al agua y por lo que es el clima de nuestra patria, debieron aprovechar las ideas sembradas por los romanos y construir pantanos como el de Almonacid, cuya presa tenía 29 metros de altura y 200 de longitud. Hoy está atorado y cultivado el terreno que lo rellenó.

En Tudela construyeron los cristianos en 1220 el embalse de Cardete, con cabida de 240.000 metros cúbicos aproximadamente.

Bien conocidas son las presas de Almansa, Tibi y Elche. Las tres tienen la planta en curva. En las dos primeras, sobre todo en la de Almansa, se dibuja ya el perfil moderno de nuestras presas de gravedad. La de Tibi, en Alicante, construida de 1579 a 1594, en el río Monegre, tiene 41 y 42 metros de altura en los paramentos interior y exterior, respectivamente, y fué obra, como debida a Herrera, admirable para su época. Embalsa 3.700.000 metros cúbicos. La de Almansa tiene 30,69 de altura y se construyó en 1586, y la de Elche, de 23 metros de altura, se construyó al final del siglo XVIII y, a pesar de ser más moderna, su perfil es más deficiente.

El ansia de agua de los campos españoles ha hecho que, a través de los siglos, a pesar de nuestro eterno luchar, que destruyó siempre nuestra economía y que hacía fracasar toda clase de iniciativas, se elevaran presas y se guardara el agua como oro líquido. Así se construyeron en siglos anteriores los embalses de El Pulgar en Navarra, Huéscar en Huesca, Relleu en Alicante, Monteagudo en Soria, Híjar en Teruel y los de Puentes y Valdeinferno en Lorca. Pero el mayor número de ellos se ha construído en el siglo actual, y es preciso reconocer que el criterio científico e industrial que ha presidido en la ejecución de las obras ha evolucionado más en estos últimos años que lo había hecho en siglos, a causa del ritmo grandemente acelerado que lleva el progreso de la ciencia.

También en los países meridionales, en la India y en Italia principalmente, llevan siglos construyendo embalses y, más recientemente, en Egipto, Francia y Alemania. Hoy los más importantes están en España, Suiza, Egipto y en los Estados Unidos. Unos se construyen, como siempre, para el regadío, como los de Egipto, en

donde los nuevos diques de Assman y Sennar llegan a retener entre los dos unos 8.000 millones de metros cúbicos de agua, y como el antiguo de Tirso en la Cerdeña, que embalsa 378 millones de metros cúbicos. Se elevan otros para el abastecimiento de poblaciones, como el famoso dique de Croton en Nueva York, que retiene 700 millones de metros cúbicos. Para la navegación, con objeto de salvar desniveles, se construyen también embalses como el de Gatun en el canal de Panamá, importante dique de tierra de 35 metros de altura y 2.340 de longitud, y como la presa del histórico canal de Languedoc (Francia), que data del siglo XVIII.

Sirven también los diques para regularizar los ríos, evitando así los estragos de las fuertes avenidas, como los de los ríos Queis y Bober en Silesia (Alemania), como el de Pinay en el Loire, que lleva dos siglos de existencia, y como los diques del Misisipí, que embalsan 1.000 millones de metros cúbicos.

Construir lagos artificiales para usos industriales es lo más común, ya que es raro aprovechar embalses naturales, como el del lago Erie en las cataratas del Niágara. Hay algunos tan inmensos, como el de Elephan Butte (Río Grande), en los Estados Unidos, donde con una presa de 93 metros de altura se retienen 4.000 millones de metros cúbicos. Tenemos en España también importantes diques, como los de Camarasa, San Antonio (Lérida), La Peña (Huesca), etc. El primero, con presa de 95 metros, embalsa 360 millones de metros cúbicos y el lago formado tiene 23 kilómetros de longitud.

Modernamente se trata de obtener la utilización integral de los ríos, conociendo previamente su régimen y las condiciones geológicas del terreno. Así se construyen y se proyectan embalses con usos múltiples. En un proyecto de pantano en el Ebro, en Fayón,

se piensa utilizar el embalse para navegación, regadío y aprovechamiento industrial.

Es elemento principal en la construcción de embalses las condiciones geológicas del terreno. Así como la ciencia ha ido modificando la forma de los perfiles de la presa, llamada de gravedad donde aquellos primeros, como el del dique de Alicante, casi de igual espesor en la parte alta que en la fundación, hasta llegar, por medio de cálculos cada vez más cuidadosos, a obtener con el mínimo volumen de materiales la resistencia y estabilidad máxima, como ocurre en el perfil Levy, o a hacer aún más, crear las presas de arco y bóvedas múltiples fundadas según rigurosas leyes matemáticas; lo mismo se ha pasado de la geología que pudiéramos llamar instintiva de nuestros antiguos constructores, en la que se preocupaban tan sólo de fundar la obra sobre base sólida, hasta los estudios geológicos complejos realizados con motivo de la construcción de los embalses de Waggital y Glimsel en Suiza, y a los que se efectúan ahora en España en los pantanos en construcción o en proyecto.

En todo embalse la geología debe intervenir principalmente:

1.º En estudiar las condiciones del terreno para fundar en él la obra y que ésta ofrezca las debidas condiciones de seguridad.

2.º En examinar la impermeabilidad del vaso.

3.º En conocer las condiciones de la cuenca hidrográfica y calcular el volumen de acarreo suspendidos y arrastrados que pueden llegar al embalse y restarle cabida.

4.º En el estudio del trazado de canales, y entre ellos muy especialmente los de presión y en las ubicaciones de fábricas, cámaras de agua, etc.

La primera condición es de capital importancia. Es preciso que

las obras tengan base, y se puede decir que por no haber cumplido con esta condición en las presas se debe esa serie de catástrofes que han azotado a la Humanidad.

En el estudio del terreno de las fundaciones se debe procurar que éste sea consistente y sólido para recibir la obra; que no se produzca en la roca, por bajo de las fundaciones, filtraciones de agua y, en el caso de que esto suceda, que la roca no se altere o descomponga, y que por diferencias en la naturaleza del terreno o por inclinación de los estratos en cierta clase de rocas, no se ocasionen resbalamientos o deslizamientos.

De un estudio que hemos hecho acerca de 23 presas destruidas deducimos que 19 se han roto por efectuar las fundaciones en malas condiciones y el resto por deficiente ejecución de la obra de fábrica. Por falta de solidez en los cimientos se hundió en 30 de abril de 1802 la presa de Puentes o de Lorca (Murcia), de 50 metros de altura, construida de 1785 a 1791 (hoy reconstruida), ocasionando la rotura la muerte de 608 personas, 809 casas destruidas y pérdidas materiales de más de cinco millones de pesetas. En la presa se abrió un boquete de 33 metros de altura y 18 de ancho en la parte mal fundada sobre grava y arena y, en cambio, en los estribos, apoyados en roca, la obra quedó intacta.

Por la misma razón se debió hundir en junio de 1883 el dique de 31 metros de altura de Sierra County, en California; en mayo de 1889 el de 23,50 de altura de Johnstown, fundado en arena y grava, y en 15 de enero de 1914 el de Stony River, cerca de Dobbin, con la particularidad que la presa y estribos de este dique fueron arrastrados en masa a gran distancia sin sufrir desperfectos.

Tan precisos y concluyentes como son todos los cálculos analíticos y gráficos a fin de llegar a la determinación de la forma y

volumen necesario de la presa para que tenga las debidas condiciones de resistencia y estabilidad, son de arbitrarios e inciertos los cálculos que se hacen para determinar las llamadas subpresiones, o sea las producidas en la presa por el agua que se infiltra por sus fundaciones y que causan movimientos en los materiales que constituyen el terreno. Es indispensable, pues, el informe geológico antes de emprender una obra en lo que se refiere a este particular.

Es preciso, en la mayor parte de las veces, suprimir completamente la subpresión, y, en casos excepcionales, tal vez ordenar y regularizar sus efectos, como en la presa de Granito Reef, en Arizona.

El agua produce dos efectos: el de disolución y el de disgregación; el último, mucho más grave que el primero. El olvido que se ha tenido, en ocasiones, a los estudios geológicos, y a veces, el poco cuidado de llevar a la práctica las medidas de previsión que en aquellos estudios se aconsejaban, han sido causa de roturas de muchas presas, con su cortejo de desgracias y calamidades.

La presa de Austin, en Pensylvania, E. U., de 12 metros de altura, se rompió bruscamente en siete grandes bloques, devastando al pueblo de Austin y motivando la pérdida de cien vidas. Tuvo su causa la catástrofe en las filtraciones por debajo de las fundaciones en los bancos de arenisca que constituían el terreno, en alternancia con otros de pizarras. Se revelaron las disgregaciones y subpresiones con la formación de unas grietas en la presa. Entonces se buscó remedio al mal, pero no se tuvo el acierto de encontrarlo.

La rotura del dique de Bouzey, construido en 1884 en el valle de L'Avière, para alimentación del canal del Este, ocurrió el 27 de abril de 1895. Tenía la presa 22 metros de altura. Las causas de la catástrofe han sido muy discutidas. Se notó una inflexión en

curva hacia aguas abajo y la formación de alguna grieta poco después de construída, debido a filtraciones por bajo de los cimientos y producirse la consiguiente subpresión. Se hicieron trabajos de reparación en 1888 y 1889, consistentes en una galería por debajo de las fundaciones y sustitución de parte del terreno por obra de cemento; pero subsistentes los esfuerzos de extensión en el paramento de aguas abajo, principalmente, dieron éstos, con otros defectos de construcción, al traste con la obra. Hubo 86 muertos y la línea del ferrocarril completamente destruída.

En 14 de abril de 1908 sobrevino la rotura de la presa de Hauser Lake en el Missouri (E. U.), en la que afortunadamente no hubo desgracias a causa de las condiciones del valle aguas abajo de la presa. Era de estructura muy particular, de entramado metálico y mampostería en seco principalmente, y en la que entraron 1.700 toneladas de acero. Se fundó en parte sobre grava y, aunque se acudió al pilotaje, a anclajes y a pantallas de hormigón, las subpresiones fueron tan intensas, que el impulso del agua en donde estaba mal fundada la obra, dobló la armadura metálica en ángulo recto, poniéndose una parte paralela al río.

En la presa de Plattsburg, de 11 metros de altura, fundada en una morena glaciánica, se observaron en seguida de construída filtraciones por el pie de la obra, y aunque se procedió a taponar en seguida, no se tuvo buen éxito y la presa se hundió en 15 de mayo de 1916.

Por formación de subpresiones a causa de las filtraciones se hundieron las presas de Lower Otay, la del Lake Lanier (Carolina del Norte) y la del Mayie River, de 41, 19,50 y 16,70 metros de altura, en los años 1916, 1925 y 1926 respectivamente. La rotura de la primera produjo 30 víctimas y se hundió todo en cincuenta minu-

tos. La presa de fábrica de Lake Lanier se cayó en bloque conservándose intacta. Fué arrancado con la obra una parte del terreno de un estribo que estaba roto y dislocado.

En el pantano de Dale Dyke, cuyas aguas abastecían la villa de Sheffield (Inglaterra), se rompió en 1864 el dique de tierra a causa de estar éste fundado sobre una falla por donde circulaba agua.

Dos catástrofes de presas han impresionado recientemente a la Humanidad, la de Gleno, en Lombardía, y la de San Francisquito, en el cañón Creek de California.

El hundimiento de esta última presa ocurrió en la noche del 12 al 13 de marzo de 1928 y ocasionó una gran catástrofe. Murieron 400 personas y fué asolado el valle, y alcanzó el agua una velocidad de 30 kilómetros por hora. Era de cemento ciclópeo, de gravedad, con 62 metros de altura y cabida de embalse de 47 millones de metros cúbicos. Un ejemplo bien claro nos proporciona esta presa de la necesidad de los estudios geológicos en la construcción de las fundaciones de la misma. Creemos que si éstos se hubiesen realizado con detenimiento y competencia, no tan sólo antes de la construcción de la presa, sino cuando se notaron las filtraciones y grietas, la catástrofe no hubiera ocurrido.

La presa se fundó, en su margen izquierda, sobre micacitas arcillosas, y en la derecha, sobre toba volcánica rojiza y micacita. Entre estas dos últimas rocas existe una falla bien marcada en el terreno por un depósito arcilloso. Tanto la toba como la arcilla se deslíen con el agua. El proceso de la destrucción de la presa es bien claro. Filtraciones que sucesivamente iban siendo mayores, es decir, que iban deshaciendo poco a poco la roca, crearon fuerte subpresión y rotura de la presa por aquellos sitios en donde el esfuerzo de extensión era mayor. La obra estaba admirablemente construída.

Grandes pérdidas y la muerte de 600 personas trajo consigo el hundimiento de la presa de bóvedas múltiples de 26 metros de altura máxima de Gleno, ocurrida el 1 de diciembre de 1923. Sus causas no están del todo claras. Desde luego, su construcción adoleció de defectos grandes, pero debió influir mucho, según Boloney, la falta de adherencia de la presa a la roca de la base. También debieron ocurrir filtraciones y subsiguiente creación de subpresiones, cuya importancia en presas de bóvedas es mucho más grande. El embalse de seis millones de metros cúbicos se vació en diez y seis minutos, lo cual da un caudal medio de 6.000 metros cúbicos por segundo, o sea alrededor de 20.000 metros cúbicos por segundo de caudal inicial.

La tercer causa de accidentes en las presas, originados en sus fundaciones, es la formación de superficies de resbalamiento que producen esfuerzos que no se tuvieron en cuenta en el cálculo de la obra, o de los que no se conocían bien ni su sentido ni su importancia. Tal fué el caso en la presa del río Moyle (Idaho). Fundado el aliviadero en bancos de muy fuerte inclinación, en éstos, se originó un gran resbalamiento a causa de los remolinos del agua a la salida. Al monolito de la obra, que era de arco, de 16 metros de altura, aunque calculada como de gravedad, no le ocurrió nada.

La presa de United States en el río Ohío, cerca de Gallipolis, fundada en lisos de pizarra, se hundió el 8 de agosto de 1912 a causa de resbalamiento de dichos lisos, casi horizontales. La presa del Dolgarrog, en el Norte de Gales, hundida en 2 de noviembre de 1926, ocasionó la muerte de 60 personas y muchas pérdidas materiales, a pesar de tener sólo 6,30 metros de altura. Motivaron la catástrofe grandes esfuerzos por resbalamiento en la arcilla que constituía la fundación de la obra.

Por causas diferentes de las indicadas se hundieron casi al mismo tiempo en el día 6 de octubre de 1911 las presas de Dells y de Hatfield en el Black River, en Viscousin (E. U.). Formaban la parte de la obra que destruyeron las aguas diques de tierra, cuya longitud alcanzaba, en la de Hatfield, 1.200 metros. Estos diques eran prolongación de presas de 80 y 120 metros de longitud y 9 y 12 metros de altura respectivamente. A causa de una gran inundación la lámina de agua formada no pudo pasar por las compuertas y aliviaderos y cubrió todo el dique, y no resistiendo éste fué por completo arrasado: primero en la presa de Dells y luego en la de Hatfield, distante 8 kilómetros de aquélla. Las obras de fábrica permanecieron intactas. Este accidente debe llamar nuestra atención acerca de la importancia de hacer estudio detenido y cálculos bien fundamentados de los diques de tierra, procurando estudiar las obras de defensa de los mismos de acuerdo con la naturaleza del terreno.

De otras presas hundidas, como la de Habra, de Argelia, que dió lugar a varias catástrofes, la última con pérdida de vida de 400 personas, y que fué varias veces reparada; como las de Walmut, con muerte de 150 personas; de la Anderson, N. C.; de la de Columbus Ga., y de la de Port Angeles Wash, en el Elevha, en los Estados Unidos, no nos ocupamos por ser debida su ruina a defectos de construcción de las obras.

La geología, pues, del terreno en donde se van a construir los cimientos de las presas, ha de ser objeto de un estudio muy cuidadoso y prolijo y abarcar muchas de las ramas en aquélla comprendidas. Es preciso determinar las condiciones de cada roca desde los puntos de vista de su constitución mineralógica y petrográfica, cohesión, facilidad a la disolución y disgregación por el

agua, aumento de volumen, permeabilidad, forma de yacimiento y plasticidad. Una vez determinadas las cualidades de las rocas a que afectan los embalses, hace falta conocer su sucesión y determinar las propiedades mencionadas en los horizontes, tramos y terrenos geológicos observados en conjunto, más un examen detenido de la forma y circunstancias de los contactos de unos con otros. Por último, es preciso estudiar bien la tectónica de la región, con los efectos y consecuencias que han tenido los movimientos tectónicos en los terrenos, y observar con cuidado fallas, pliegues, contactos anormales y toda clase de accidentes en sí mismos y en relación con cada una de las rocas conocidas. También proporciona datos interesantes el estudio de la hidrología de la comarca y los fenómenos y accidentes de carácter local que hayan podido sobrevenir en el transcurso de los siglos.

Con estos estudios a la vista representados en planos y en perfiles geológicos *ad hoc*, se podrá apreciar ya la cohesión, consistencia y adherencia de los bancos en que se ha de fundar la obra, o si puede existir opción, elegir los estratos para base de la presa, que reúnan en mayor grado dichas propiedades. Se podrá prevenir si van o no a existir filtraciones, e indicar, en caso afirmativo, el camino de evitarlas. Se deducirá la aptitud de la roca de las fundaciones para la disolución y disgregación, cosa importantísima para la seguridad de la presa, y, por último, se verá bien las condiciones que presente el terreno para evitar el resbalamiento de las rocas, a cuyo fin se hará un examen cuidadoso de la estratificación y de la forma y situación de los contactos de unos bancos con otros.

Insistiremos ahora sobre un problema geológico de excepcional importancia en la construcción de embalses, a saber: la imper-

meabilidad del vaso precisa para que no se haga una obra sin utilidad alguna o menos productiva de lo que se pensaba. Este estudio está relacionado con el de las fundaciones de que nos acabamos de ocupar, pues es indudable que donde más preciso se hace que el embalse sea estanco es en las propias fundaciones y en estribos de la presa, en donde la presión a que va a estar sometido el terreno es mucho mayor que en lo restante del vaso.

Para que la ciencia geológica pueda dictaminar acerca de las condiciones de impermeabilidad es necesario conocer el régimen hidrológico del país, y deducir de él cómo ha de ser el que se establezca cuando el embalse esté concluído y lleno. Pueden ocurrir dos cosas: que las aguas para su desvío utilicen grietas y cavidades preexistentes, o que ellas mismas se labren su camino disolviendo o disgregando las rocas.

En tres grupos se pueden dividir las rocas que proporcionan camino a las aguas: 1.º, las detríticas, como la grava, la arena, los conglomerados y las areniscas, en las que el paso del agua se hace a través de los huecos que dejan entre sí unos elementos con otros; 2.º, las que presentan grietas y fisuras, que forman una red hidrológica subterránea a modo de cañerías, y en las que es muy común una red de grietas más o menos normales a los lechos de estratificación y conductos según estos mismos lechos, y 3.º, rocas que presentan cavidades irregulares de formas caprichosas y arbitrarias, que cuando alcanzan grandes dimensiones constituyen cuevas y cavernas. Son las calizas las rocas que más presentan esta estructura.

Las rocas del primer grupo deben su cualidad y permeabilidad a su propia constitución petrográfica. En cambio, las de los grupos

segundo y tercero la deben a efectos de acciones tectónicas, a dinamismo externo o interno.

Para llegar a conocer el régimen hidrológico es indispensable un estudio geológico concienzudo de la región, que abarque todas las cuestiones que hemos indicado anteriormente. Y si no se pudiera alcanzar el conocimiento completo del régimen, es preciso ayudarse con sondeos, galerías, calicatas, examen detenido de fuentes, empleo de colorantes, sea en las corrientes de agua, sea en los taladros y galerías.

Conocido el régimen hidrológico establecido o que se puede establecer cuando el embalse esté lleno, y dictaminado que con dicho régimen se ocasionarían filtraciones que serían pérdidas del agua del embalse (que en muchos sitios pueden ser motivo de peligro para la seguridad de la obra), se hace preciso tomar las medidas necesarias para evitarlas.

La geología cada vez se va entremetiendo más en las construcciones hidráulicas, y por esa causa, preceden casi siempre a la construcción de las obras de fábrica de los embalses aquellos trabajos de previsión necesarios para alcanzar la seguridad en las fundaciones e impermeabilidad en el terreno que forma su vaso. A veces no precisa la impermeabilidad completa, y en este caso, los trabajos han de consistir en regularizar la permeabilidad del terreno para que régimen y esfuerzos subsiguientes tengan la constancia que soliciten las necesidades del embalse o los cálculos del proyectista.

Otras veces las medidas para corregir los defectos que presenta el terreno se realizan después de la construcción del embalse, pero en general es preferible realizarlos antes, porque es más conveniente prevenir que remediar. Puede suceder que si se tiene seguridad completa en que las fundaciones han de reunir las

debidas condiciones de cohesión y resistencia convenga, hasta que el embalse esté lleno, no hacer la corrección de las filtraciones, pues se conocerá bien la importancia de las mismas y será más fácil elegir el procedimiento adecuado para ello.

Esta ciencia nueva, hija de la geología, de corrección de los defectos naturales del terreno está hoy muy adelantada, y para conseguir sus fines se vale de muy diferentes procedimientos.

El primer método de taponamiento que se ocurre es el de aplicar directamente en los huecos y grietas cemento, arcilla o cualquier otra sustancia impermeable e inalterable. Así se han evitado muchas filtraciones, y es ejemplo típico de este procedimiento el pantano de Foix en Cataluña. En ciertos casos particulares, como una variedad de taponamiento directo, se usa el revestimiento por el cañón de cemento o sea impulsar éste a fuerte presión sobre el terreno. Es eficaz en caso de filtraciones pequeñas, cuando el terreno rezuma.

A las rocas del grupo de las detríticas, sobre todo si se trata de guijarro o arena, conviene sustituirlas en las fundaciones por una construcción firme o impermeable para seguridad de la obra o para impermeabilizar el terreno. Como ejemplo interesante podemos indicar lo que se ha hecho con el embalse recién terminado de San Lorenzo en la provincia de Lérida. Constituía el dique una presa de hormigón y metálica, móvil, prolongada en su margen derecha por un dique de tierra de cerca de 1.200 metros de longitud. La altura, máxima de ocho metros, va disminuyendo a medida que se acerca a la ladera. El terreno estaba constituido por una terraza cuaternaria, en su parte baja formada por grava y en la alta por tierra arenosa permeable. Se apoyaba la terraza en las margas impermeables del oligoceno inferior. El cuaternario tenía espesores hasta

de ocho y diez metros. Con objeto de evitar las filtraciones de agua a través de los materiales permeables, que representaban pérdidas en el embalse y que además podrían minar el terreno en que se iba a apoyar el dique, se abrió una gran zanja en el terreno que le servía de base, de dos metros de ancho, hasta llegar al terreno oligoceno impermeable, y se ha rellenado esta zanja con arcilla vertida en capas, algo humedecida y apisonada fuertemente por tongadas. En efecto, lleno el embalse, el dique nada ha sufrido; solamente hubo filtraciones en el terreno situado fuera del dique por no haber prolongado la pantalla de arcilla más allá del extremo del mismo hasta que ya no existiera la grava cuaternaria.

En otros diques se ha sustituido la roca deleznable que constituía los estribos de la presa con obra de hormigón por medio de galerías sucesivas.

Lo más empleado para corregir los defectos de los terrenos, sobre todo la permeabilidad, son las inyecciones de cemento. El empleo de este sistema tuvo su nacimiento en las minas. En el año 1860, el Ingeniero belga Harze, propuso el empleo del cemento inyectado en el pozo de Saint Vaast, de la cuenca carbonífera central belga. Después de muchas tentativas de poca importancia en varios pozos de Francia y Alemania, Mr. Pointier inventó el procedimiento de cimentación para atravesar terrenos acuíferos, y se aplicó con gran éxito en 1904 en las minas de Bethuze. Se empleó el procedimiento para consolidación de fundaciones y después para impermeabilización de vasos de embalses. Creemos que con estos dos objetos en donde primero se aplicó en gran escala fué en el embalse de Wäggitel (Suiza).

La altura de presa es de 110 metros desde su fundación y 75 desde el nivel del río y está construida en un congosto del valle,

de materiales cretáceos, con la particularidad geológica alarmante de existir una falla en el mismo cauce y según su dirección. Esta falla ha puesto en contacto unos bancos muy característicos de pizarras con orbitolinas del aptiense inferior con las pizarras del aptiense superior, lo que representa un salto de unos 60 metros. Los bancos permeables están constituidos principalmente en la margen derecha por las calizas superiores del Schratten, parte alta del Urgoniense, y en la izquierda por las calizas del Seewer correspondientes al Senonense.

Los estudios geológicos y experimentos hechos en fuentes, donde se empleó el colorante fluoresceína y el aparato para determinar su existencia, dieron por resultado que la única parte peligrosa del vaso, desde el punto de vista de la impermeabilidad, lo constituía el terreno que formaba las márgenes del congosto, y se hicieron gran número de trabajos de impermeabilización antes y durante la construcción de la presa.

Los trabajos de investigación consistieron en galerías, pocillos y sondeos. De éstos últimos, sólo para este objeto, se hicieron 92 en el cauce. Bien reconocida la geología subterránea, se acometió la obra de impermeabilización empezando por la construcción de una galería de desagüe de 800 metros de longitud. Se hicieron 38 taladros, con profundidades de 50 a 100 metros, en la margen derecha, a distancia de 8 a 10 metros de sondeo a sondeo, casi todos en un plano vertical formando lo que se llama cortina de cemento. En la margen izquierda también se perforaron sondeos con profundidades entre 50 y 80 metros, hasta llegar a las pizarras impermeables con orbitolinas. Se hicieron en abanico desde tres puntos de la superficie, pero con la idea de formar la cortina. El cemento se inyectó con presiones comprendidas entre 13 y 30 atmósferas.

Construido y lleno el embalse, se pudo observar que el éxito más lisonjero había coronado los esfuerzos.

En las grandes presas de los Estados Unidos también se ha construido la cortina de cemento para impermeabilizar el terreno. En la presa más alta del mundo, la de Elephant Butte, se hizo una cortina de cemento con 147 taladros a distancia uno de otro de tres metros y hasta profundidades de 12 a 15 metros por bajo de las fundaciones, y además otros varios sondeos persiguiendo grietas. Se introdujo el material a la presión máxima de 9,5 kilogramos por centímetro cuadrado, y se inyectaron 115 kilogramos de cemento Portland o de Sand cemento por un metro lineal de agujero abierto en la roca. En la presa de Arrowrock se hizo la pantalla colocando los sondeos al tresbolillo en dos líneas, resultando distantes tres metros uno de otro. Se inyectó a la presión de 6,65 kilogramos por centímetro cuadrado y se hicieron 3.000 metros lineales de taladro. En la presa de Olive Bridge se hicieron varios sondeos de investigación y luego 217 taladros desde el fondo de la zanja de los cimientos, de ellos 45 con el solo objeto de taponar una grieta. La presión llegó a siete kilogramos por centímetro cuadrado.

En España creemos que es tal vez el embalse de Camarasa el sitio del mundo en donde se han hecho los trabajos más importantes de impermeabilización del terreno. Construido el embalse, existían grandes filtraciones a través de un sistema de conductos formados por diaclasas, las más de las veces verticales y por huecos ordenados según los lechos de estratificación, en las dolomías del Dogger. Para evitarlos se ha formado gigantesca cortina de cemento de 1.329 metros de longitud, con sondeos a una distancia de 8 a 10 metros término medio uno de otro y con profundidades que pasa en casi todos ellos de los 200 metros y en muchos de los 300, con objeto de

llegar al lías fosilífero impermeable que sirve de base al Dogger. El más profundo tiene 402 metros. Se han perforado 49.621 metros lineales de taladro y se han inyectado 189.929 toneladas de materiales, de los cuales 39.835 de cemento y las restantes de arena y gravilla y de carbonilla. También se inyectaron 790 toneladas de asfalto, en ciertos sitios con buen éxito. Se hicieron en los taladros toda clase de experimentos utilizando los colorantes. Se hacían observaciones acerca del tiempo que empleaban éstos desde que se vertían en el taladro hasta que salían por las fuentes donde surgía el agua de las filtraciones y uniendo con curvas isocronocromáticas los puntos de igual período de tiempo, se pudieron localizar los conductos de circulación de agua y multiplicar los medios para su obstrucción. Se llevaron desde la construcción de la presa estados completos del caudal, temperatura y salinidad del agua de las fuentes y se observaba ligero aumento total del caudal infiltrado. El resultado, aunque oneroso, no ha podido ser más satisfactorio. De un caudal perdido de unos 10 metros cúbicos por segundo, se ha conseguido reducirlo en un 81 por 100.

En España se aplican hoy inyecciones de cemento en la mayor parte de las presas y los resultados son muy satisfactorios.

El estudio del relleno de los embalses o del colmatado, como dicen algunos, está muy relacionado con la estructura geológica de la cuenca hidrográfica alimentadora del mismo, y, por consiguiente, es muy natural que ayude la ciencia de la tierra al conocimiento del régimen de los ríos en lo que se refiere a las sustancias que pueden llevar las aguas disueltas, suspendidas o arrastradas. El estudio geológico servirá para prever la vida de un embalse y para tomar las medidas convenientes para que aquélla pueda ser eterna, o por lo menos muy larga. Infinidad de ejemplos se pueden presentar de

embalses perdidos o mal utilizados por esta causa de arrastres, como el de Valdeinferno, de 35 metros de altura, o el árabe de Almonacid, que están completamente cegados. El pantano de Quimson, sobre Verdun, de una cabida de un millón de metros cúbicos, se llenó en cinco años; el de Perolles, en Friburgo, también de un millón de metros cúbicos, en once años. En el del Ponte della Serra, en el río Cismon, en diez años se depositaron 1.750.000 metros cúbicos y en el Zuni, en Nuevo México, de 17.000.000 de metros cúbicos de cabida, se redujo ésta en trece años en un 60 por 100.

De tiempo inmemorial, apoyándose en los conocimientos de geología aplicada que, de modo intuitivo, poseían los constructores, se ha tenido en cuenta en el trazado y construcción de canales las condiciones del terreno. No hay proyectista de canales al que no le produzca temor la existencia de yeso en el terreno, el gran enemigo del constructor. ¡Cuántos trazados no se habrán variado y cuántas soluciones no se habrán buscado para no construir sobre ellos! En los canales se presentan los mismos problemas que en las vías de comunicación, y lo que sobre éstas digamos se puede hacer extensivo a aquéllos.

Canales de carácter especial son los que se construyen con el mismo fin que una tubería forzada y con objeto de aprovechar siempre la altura completa del agua del embalse. El estudio geológico ha sido siempre solicitado sobre este punto particular, pues la resistencia de la roca a la presión que se le va a someter depende, no tan sólo de la consistencia y dureza de la roca, como de los quebrantamientos, fallas y accidentes que en el terreno puede haber. El estudio de los túneles a presión desde nuestro punto de vista geológico tiene que ser muy detenido, cuanto que no hay aún principios estáticos decisivos, sino reglas empíricas que

sólo con el apoyo de dichos estudios pueden alcanzar fundamento científico.

Lo acaecido en la galería de presión del túnel de Ritóm, en Suiza, en donde se formaron grietas en la obra que le hicieron perder toda eficacia a pesar de su buena construcción, y de haber inyectado cemento entre la obra de revestimiento y la roca, pone bien de manifiesto la necesidad del estudio del terreno. El geólogo que informó previamente había llamado mucho la atención sobre la pizarra micácea que se presenta muy resquebrajada y con profundos huecos y que sin duda por no ser oído debidamente fué causa del fracaso.

En las vías de comunicación, ferrocarriles, carreteras, la ciencia geológica presta ya su ayuda para evitar desaciertos en los trazados, pues no siempre la línea que marca la topografía del terreno es la más económica y la más segura. Las condiciones del terreno se tuvieron siempre en cuenta en la construcción de un ferrocarril o de una carretera, y fundadas en ellas se proyectaban medios de defensa, como muros de sostenimiento, drenajes, túneles, pasos inferiores en los conos de deyección de barrancos, etc. Pero en general, la estructura de las obras estaba fundada en la apreciación personal del terreno, las más de las veces exclusivamente fundada en los caracteres litológicos, sin buscar las causas de orden geológico por las que el terreno necesitaba protección y que sirvieran para dar la medida de la importancia de las obras que hubiese que realizar. Hoy día en obras de importancia son tenidas muy en cuenta las advertencias geológicas en la confección de los proyectos, con lo que se evitan gastos inútiles, y a veces desgracias irreparables.

Los accidentes por causas geológicas en las vías de comunicación dependen de que el terreno por donde se ha hecho su trazado

sufre variaciones en su cohesión o en su estabilidad. En general, es indispensable para que sobrevengan que concurran a ello un terreno fácil a la pérdida de cohesión, al resbalamiento o a la disolución y un agente que lo produzca. Este suele ser casi siempre el agua, pero a veces otros elementos dinámicos se ponen en juego, y hasta el mismo hombre rompe el equilibrio de la naturaleza.

Entre las causas de accidentes en las obras de ferrocarriles y carreteras, y que se pueden hacer extensivas a los canales, como ya hemos indicado, hay tres que sobresalen por su importancia: los derrumbamientos de tierras por deslizamientos sobre arcilla; los originados por disgregación y disolución del yeso, y los debidos a avenidas de terrenos arenosos y aguas.

Los deslizamientos y corrimientos de terreno en los que interviene el agua para lubricar la superficie sobre las que se produce, han sido causa de muchos accidentes y gastos en los ferrocarriles. Se deben evitar esas trincheras en terrenos pizarreños, margosos y arcillosos con buzamientos hacia la vía. Ejemplos de lo costoso que ha resultado hacer obras en estas condiciones, hay muchos en España. Uno de ellos muy típico, ocurrido a la entrada del túnel de San Pablo, en el ferrocarril de Bobadilla a Algeciras, junto al salto del Conchado en el Guadiaro. El trazado de la vía, pensando sólo en la sencillez, se hizo de modo que entraba en el túnel en alineación recta, pero sin fijarse que el desmonte anterior estaba abierto en pizarras. Por desprendimiento de esta roca, ha habido en sucesivas veces que variar el trazado, y hoy la entrada del túnel se hace con una curva que une la alineación del túnel con la de la trinchera, con un ángulo de tangentes casi recto.

Cuando los desprendimientos sobrevienen súbitamente, a veces

siendo el factor determinante la trepidación del tren, pueden ocurrir grandes desgracias, como pasó en la línea de Barcelona-Valencia, en las proximidades del poblado de Ampolla, en septiembre de 1927.

El evitar las construcciones en yeso es una de las normas de buen constructor desde que se hacen obras. Efectivamente; el yeso, que generalmente acompaña a margas y arcillas, es pernicioso en las obras, porque es soluble en el agua, porque constituye terrenos muy fácilmente disgregables y porque los cementos no fraguan en tan mala compañía. Es preciso recurrir a cementos especiales, hacer drenajes o dar a las obras disposiciones adecuadas.

Hay veces en que es preciso atravesar estratos de dicho mineral o de arcillas y margas acompañadas del mismo, y aquí la ciencia ayuda al ingenio del constructor, y cuando radican ambas cosas en una misma persona, se puede llegar a solución tan salvadora como la que aplicó el Ingeniero geólogo Benavent en el canal de Aragón y Cataluña, en el ramal de Escarpe. Atravesaba este canal unos conos de deyección muy repartidos, correspondientes a varios barrancos con dirección normal al trazado del mismo, y ocurría frecuentemente que se formaban en el canal grietas que producían su rotura, a pesar de su buena y sólida construcción. La causa no le pasó inadvertida a Benavent. Era que en las tierras de los conos había trocitos de yeso que ocasionaban, por su disolución, la disgregación del terreno y como consecuencia grandes empujes que daban al traste con la obra. Se le ocurrió entonces la idea de un doble canal, el interior bastante sencillo de construcción, y llenando el hueco entre los dos con arena. Esta elasticidad que se daba al canal ha sido lo suficiente para evitar las roturas. Además, de ocurrir algún desperfecto, la víctima sería el canal exterior y la

pérdida de arena avisaría el accidente y se podría proceder pronto a la restauración de la obra.

En los túneles es donde más tiene que trabajar el geólogo para iluminar el camino que tiene que seguir el ingeniero. Ya hemos hablado de cómo tenían en cuenta la constitución del terreno los antiguos en la ejecución de las obras; pero, creada la ciencia geológica en las postrimerías del siglo XVIII, hasta mucho tiempo después no se supieron llevar sus enseñanzas a la práctica de la construcción.

En los túneles alpinos ya precedieron a los proyectos los estudios geológicos, y en España, en los túneles de alguna importancia realizados o en vías de ejecución, se han tenido muy en cuenta la naturaleza del terreno y los problemas geológicos que se podrían plantear en la construcción.

La disconformidad que se observó entre la constitución del terreno en donde se perforó el túnel del Simplón, construido de 1898 a 1905, y la que habían supuesto algunos de los geólogos informantes, se ha tomado como arma para aquellos que creen en la inutilidad de la ciencia geológica; han considerado a ésta como en quiebra. Pero no nos parece justa la consecuencia, porque el que por falta de conocimiento de un terreno tan intrincado y complicado como el cortado en el Simplón hayan podido existir equivocaciones, no quiere decir que la geología sea ineficaz. Precisamente hay que atribuir aquéllas a que no se aplicaron las verdades de la ciencia, aunque hubo intención de hacerlo.

Si no se tiene en cuenta la geología ocurrirá lo que en el túnel de Chalifert, en que el terreno atravesado estaba constituido por unas capas permeables que se apoyaban en sitio próximo en unas margas verdes impermeables. Costó muchos esfuerzos y grandes desembolsos el atravesar los lechos permeables, y todo se hubiera

evitado desviando muy poco el trazado y perforando el túnel en las margas verdes.

En los túneles, además de los accidentes de origen geológico que acabamos de estudiar para las vías de comunicación, es preciso también tener muy en cuenta las avenidas de aguas, la irrupción de materiales arenosos y las temperaturas elevadas que en el interior del túnel se pueden alcanzar y que pudieran impedir la ejecución de la obra.

Las temperaturas que supusieron los geólogos se iban a alcanzar en el túnel del Simplón fueron muy inferiores a las que se obtuvieron en la práctica. Stockalpel, que estudió a fondo los túneles de Mont⁺Cenis y San Gotardo, calculó la de 36° como máximo a nueve kilómetros de la entrada, y Hein y Renevier, 35° próximamente en el sitio. En la ejecución de las obras, a 7.500 metros de la entrada, llegó a subir el termómetro a 54°.

Estudios posteriores han puesto de manifiesto que el grado geotérmico presenta grandes variaciones y depende, no tan sólo de la profundidad, sino también de la posición de los estratos, corrientes de agua, conductividad de las rocas y descomposición y alteración de ciertos minerales, como piritas, caolín, yeso, anhidrita, y últimamente se ha podido comprobar que el grado geotérmico depende mucho de la radioactividad de las rocas, y precisamente el gneis y pizarras, atravesados en el Simplón, son más radiactivos que la generalidad de ellas.

Las avenidas de agua entorpecieron grandemente las obras del famoso túnel, donde se encontraron 237 manantiales y alguno termal con 45° de temperatura. En conjunto, en la obra se dió un curso completo de Hidrología subterránea. Se presentaron fenómenos tan extraños como aparecer por una misma fractura un manan-

tial frío y otro caliente. Una de las avenidas de agua llegó a tener un caudal de 1.200 litros por segundo.

En la zona atravesada por el túnel del Simplón existe una geología muy complicada que obedece a fenómenos como el de los pliegues acostados y corrimientos que cuando se empezó el túnel se comenzaban a vislumbrar. Aunque si bien los cortes de Renevier y Schardt, en los que se representaba de un modo demasiado sencillo el anticlinal en gneis de Antigorio con recubrimiento de pizarras, calizas y yesos, no se parecen al que se ha trazado después de perforado el túnel; el de Lugeón tiene grandes semejanzas con éste, pues en él se ponía bien de manifiesto las complicaciones tectónicas existentes a más del anticlinal, como pliegues con cobijadura y corrimientos. Con el corte de Lugeón bien claro se vió que no estaba la geología en quiebra.

En el túnel de Loetschberg, construído de 1906 a 1911, fué proyectado con 13.735 metros y hubo que desviar su trazado y aumentar su longitud hasta tener 14.605 metros, por causas geológicas; por bordear una zona de aluviones peligrosa del antiguo lecho del río Kander.

En el túnel de La Argentera se puso bien a prueba la inteligencia y pericia del Ingeniero Sr. Maristany. Los estudios geológicos sirvieron para prevenir la índole y espesores de las rocas atravesadas correspondientes a los tres tramos del Trías, al paleozoico y al granito. Sin embargo, no fué en el terreno tan sencillo el corte como se previó, pues se encontraron entre las calizas del Muschelkalk margas y arcillas que motivaron desprendimientos y en el granito bancos de cuarcita de extraordinaria dureza.

Las temperaturas halladas variaron poco de las calculadas. El máximo 24°,5 se tuvo a 2.000 metros de la boca de salida. Se

cortaron aguas muy abundantes y se llegó a extraer en un día 2.299 metros cúbicos. La media al final de la obra fué de 850 metros cúbicos y sólo se calcularon en los proyectos 200.

En donde la cantidad de agua hallada fué enorme, al punto de tener que suspender las obras por dos veces, fué en el túnel Mont d'Or en la línea de Frasné a Vallorbe. Sobrevino una avenida a 4.200 metros de la entrada, de 7.000 litros por segundo. Hubo que construir una presa y un acueducto por encima del túnel.

Las avenidas de terrenos arenosos en los túneles obligan a labores de conquista del terreno difíciles de realizar, como las ocurridas en el Metropolitano transversal de Barcelona.

Por último, de la aplicación de la geología al arte de construir, es preciso tener en cuenta que el terreno en donde se hagan las fundaciones para edificios tenga las debidas condiciones.

Por estar fundada en yeso la iglesia de Montmartre, de París, ascendió el importe de los cimientos a más de 25 millones de francos, y sabido es lo mucho que costaron las fundaciones del Banco de España en Madrid por las avenidas de agua.

Por corrimientos conocidos son las catástrofes ocurridas en Montcercós (Lérida), las de Monachil (Granada) y otras tantas.

En la construcción de cementerios se pide ahora el informe geológico, con objeto de conocer bien las condiciones del terreno para la salubridad pública. La situación del cementerio de Evre, en Francia, fué muy discutida, porque el suelo donde se hacían los enterramientos era de arcilla y peligraba la salud pública.

En la ciudad de Badalona intervino el geólogo San Miguel de la Cámara, porque querían construir un cementerio próximo a una galería filtrante que abastecía parte de la población, y demostró la fácil contaminación de las aguas porque, dadas las condiciones

geológicas del terreno, su permeabilidad era notoria. Se varió la ubicación en vista de este informe.

A las ciencias y artes constructivas también presta la geología otra clase de auxilios de interés. Me refiero a ilustrar a los constructores sobre las canteras o criaderos importantes de los materiales destinados a la construcción. Ya Vitruvio en su obra de Arquitectura y tantos otros estudian con atención las distintas rocas empleadas con este objeto.

Muchas veces, el geólogo indica que se puede abrir cantera en pizarras para techumbres; en margas para construir cemento; en roca dura para fabricar muros; en arena para fabricar un mortero; en sitios donde desconocen los materiales del país y en muchas mejores condiciones de calidad o emplazamiento. No queda a esto reducida la ayuda geológica, sino que, considerados los materiales arrancados como criaderos sedimentarios o en bolsadas, no son sino caso particular de la industria extractiva, y ya hemos manifestado lo que en esta industria representa la geología.

La aplicación de la geología a las construcciones tiene carácter especial, cuando éstas se ejecutan con fines militares.

El arte de la guerra está íntimamente unido al relieve de la Tierra, y así lo afirmaba uno de nuestros grandes escritores militares, Almirante, cuando decía: «Concebir un ejército, una tropa desligada del terreno valdría tanto como querer concebirla separada de sus armas»; y el brigadier Rodríguez Quijano decía en su libro *La geología y la guerra*, que la victoria está a veces oculta en los pliegues del terreno. Como la forma de la tierra se debe a causas geológicas, por ello se ha preconizado la conveniencia de los estudios geológicos con fines bélicos. En 1819, el brigadier Juan Sánchez Cisneros, en su obra *Elementos sublimes de Geografía física*

aplicados al arte de la guerra, y posteriormente, Luxán, Zarco del Valle, Almirante y otros españoles insisten sobre el tema con gran competencia.

Otro punto interesante que relaciona la geología con la guerra es que, si se examinan las causas de esta última a través de los siglos, se observa que muchas de ellas se deben a la avaricia por poseer ciertas riquezas minerales, y así creemos que tal vez las últimas guerras que han estremecido de horror al mundo no se hubieran producido si no se ventilara en ellas la posesión de provincias con ricos y potentes yacimientos minerales. Interviene tanto en las luchas de los pueblos Mercurio como Marte.

En el arte de la guerra se presenta la necesidad de realizar toda clase de construcciones, pero con carácter de premura y bajo ciertas condiciones restrictivas que ha de tener muy en cuenta el geólogo en sus asesoramientos.

Una de las principales ayudas que en la guerra puede prestar la geología es buscar el agua necesaria para el abastecimiento del ejército, problema que reviste excepcional importancia en las guerras coloniales. En nuestra campaña de Marruecos el agua constituía una de las principales preocupaciones del alto mando, y así hemos visto realizar operaciones militares, no con propósito de ocupar un poblado o un sitio estratégico, sino con el de conquistar un manantial.

Desde otro punto de vista, contrario al anterior, también el agua puede causar la preocupación del jefe de un ejército y verse obligado a solicitar la ayuda del geólogo. Es preciso en muchos sitios eliminar las aguas profundas y drenar el suelo empapado de aquellas que pueden producirse por filtración o por origen meteórico. Tuvieron grande influencia estas cuestiones durante la última gue-

rra en la ejecución de las trincheras, pues obligaba a establecer la ubicación de éstas en sitios en donde aconsejaban los geólogos que se estaba libre de ese peligro o que hubiera fácil medio de evitarlo. En el NO. de Francia, en zanjas de dos metros de profundidad, se interceptaban corrientes artesianas que fueron causa de muchas penalidades.

Para la ejecución de las trincheras y también para la pronta construcción de las fortificaciones, es importantísimo conocer la constitución del terreno y la clase de materiales en los que es preciso hacer los trabajos, pues si se medita sobre la premura que exigen esta clase de obras, a veces puede tener que dejar de utilizarse un terreno por sólo esta clase de consideraciones, lo que obliga a variar el plan de la operación militar. De todos modos se deben dar al alto mando cifras sobre el tiempo que se puede emplear en las obras, y para ello se debe calcular por el geólogo el rendimiento por obrero en las distintas clases de rocas.

También es preciso tener en cuenta la solidez del terreno, y en este particular debe el geólogo estudiar bien los hundimientos que pueden sobrevenir por fallas, corrimientos, etc. El estudio de la solidez del terreno puede servir también para proporcionar abrigo contra el fuego enemigo, como ocurrió en Flandes en la última guerra, donde aprovecharon para dicho fin un banco grande de caliza eocena interestratificada en arcilla.

En las comunicaciones militares, del mismo modo que en las civiles, puede el geólogo ayudar mucho para realizar un trazado de las mismas en buenas condiciones de seguridad y economía.

Es muy importante en la guerra, para no entorpecer la gran movilidad de los ejércitos, evitar esos barrizales tan grandes que a

veces se forman en las arcillas por estancamiento del agua de lluvia o por infiltración. También el mismo peligro puede existir en materiales arenosos de grano muy fino. Los depósitos arcillosos, con el tránsito grande y con el paso de la artillería, se convierten en sitios muy peligrosos para la marcha de los ejércitos. Recuerdo los grandes barrizales en Cuesta Colorada, en la zona contigua a la zona internacional de Tánger, en donde durante varios años se enterraban en lodo caballos y material y, sobre todo, se consumió la energía de las fuerzas que llevaban los convoyes, y que tal vez se hubieran podido evitar con drenajes bien hechos o con modificaciones en el trazado de los caminos.

Por último, la geología militar puede ser muy útil para indicar los sitios donde se pueden obtener los minerales útiles, sobre todo los materiales para la construcción y combustibles.

Con motivo de la Gran Guerra se ha dado mucho impulso a los estudios geológicos y es muy copiosa la bibliografía sobre el particular, principalmente la alemana, en la que descuellan los trabajos de Kruntz, Schmidt y Wilsor.

El juicio que los hombres han formado acerca de la aplicación de los estudios geológicos a la agronomía, ha pasado por vicisitudes y oscilaciones, según las teorías y descubrimientos que en el transcurso de los años han nacido, desarrollado y desaparecido. Como ya hemos manifestado que la ciencia geológica nació en las postrimerías del siglo XVIII, sólo desde esta época ha podido auxiliar a los que dedican sus afanes al cultivo de la tierra.

La ayuda que la geología puede prestar es de tres clases: 1.^a, proporcionar agua para ciertos cultivos; 2.^a, estudiar el origen y las

condiciones del suelo para el desarrollo de la planta; y 3.^a, facilitar los abonos y enmiendas necesarias a los terrenos.

De la primera ayuda nos hemos ocupado precedentemente y no hay que hablar de los beneficios que reporta, sobre todo cuando el riego se hace en tierra que lo sepa agradecer y bajo clima a propósito. En gran parte de Valencia, la relación entre el valor de la tierra de secano a regadío es de 1 : 5 aproximadamente, y en Canarias mucho más.

Los conocimientos de mineralogía y geología que el agricultor de todos los tiempos poseía hasta llegar al siglo XIX, tenían un carácter empírico, y las clasificaciones de las tierras se han fundado en sus condiciones físicas y en algunas químicas de carácter elemental. De modo instintivo habían aplicado reglas eficaces, que sólo en los tiempos modernos se ha sabido el principio científico en que se apoyaban.

Realmente el estudio científico del suelo, desde el punto de vista geológico-agronómico, tiene que estar fundado en el modo de nutrirse la planta, en el examen de las sustancias que ésta extrae de la tierra. Bernard de Palissy fué precursor al afirmar que los abonos químicos obran por las sales que llevan disueltas. El sueco Urban Hiarne, en 1706, fué el primero que emitió la hipótesis de que los álcalis formaban parte de las plantas, en contraposición con las teorías de entonces. Bourdelin y Boerhave, por distintos caminos, sospecharon que el álcali existía en los vegetales. Marggraf y Rouelle abundaron en estas ideas y fué uno de los fundamentos del criterio de que los álcalis jugaban papel importantísimo en la teoría del Flogiston.

Siempre se vió en la geología un gran auxiliar de la agronomía, tanto que la Sociedad Geológica de Francia, creada en 17 de mayo

de 1830, hizo constar en su artículo 2.º que la Sociedad tendría por objeto contribuir al progreso de la geología y de favorecer especialmente en Francia la aplicación de esta ciencia a las artes industriales y a la *agricultura*.

El acontecimiento sensacional en este orden de ideas fué la aparición del libro de Liebig, en 1840, titulado *Química Agrícola*, que abrió nuevos horizontes al cultivo de la tierra. Hizo observar que las sales que componen las cenizas de los vegetales eran siempre las mismas y que, si falta una sola de ellas, no existe vegetación posible. Demostró, además, la importancia extraordinaria de la potasa y del ácido fosfórico.

Sentado este nuevo principio, los geólogos y agrónomos dieron en buscar el origen de las sales que constituían las plantas, que no podía ser otro que el de las rocas que constituyen la corteza terrestre, y se dió tal vez importancia exagerada a la condición mineralógica de las tierras. A la vez se abandonaron las ideas que preconizó Teodoro de Seassure, que habían tomado mucho incremento en el principio del siglo XIX, referentes a la importancia del humus, considerándole como única sustancia de donde extraía el vegetal los alimentos necesarios para su nutrición.

En España, los trabajos de Cavanilles tuvieron excepcional importancia, y ya hemos indicado en lugar oportuno cómo se vió obligado para llegar al estudio completo de las plantas a profundizar en los conocimientos geológicos. A consecuencia del recrudescimiento de que hemos hablado de los estudios geológicos en su aplicación a la *agronomía*, después de Liebig, se publicaron en nuestro país muchos trabajos de esta índole. Schimper publica en 1849 un mapa geológico botánico del Sur de España, y el Profesor Moritz Willkonim, publicó en 1852 un libro titulado *De*

las estepas de la Península y de su vegetación; materiales para servir a la geografía, a la geognosia y a la botánica de España, con un mapa geológico-botánico. Esta Academia de Ciencias abrió un concurso, cuyo programa apareció en la *Gaceta de Madrid* de 1 de abril de 1852, para premiar la mejor Memoria geognóstica-agrícola sobre alguna provincia, y fueron premiadas las de Lucas de Olazábal, sobre Vizcaya; Manuel Pastor y López, sobre Asturias, y Juan Vilanova y Piera, sobre Teruel.

Los trabajos de Vilanova descollaron por aquel entonces, siendo sumamente importantes, además de la Memoria antes citada, su *Manual de geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales*, publicado en 1860, y la titulada *Ensayo de la descripción geognóstica de la provincia de Teruel, en su relación con la agricultura de la misma*, que publicó en 1868.

En las Memorias geológicas de diferentes provincias de España publicadas por la antigua Comisión del Mapa Geológico (hoy Instituto Geológico), se daba mucha importancia a los estudios geológico-agronómicos, y en ellas, como en los trabajos de Vilanova, se describen las condiciones físicas y químicas del suelo; el modo de descomponerse y disgregarse las rocas hasta formar la tierra arable, y la relación de las diferentes tierras con los terrenos geológicos de que procedían. De estos estudios sacaban datos interesantes, y así, por ejemplo, el Sr. Pato, en la Memoria de Murcia, manifestaba que por concepto de inmuebles, cultivo y ganadería, se pagó en aquella provincia durante el año 1887, 4,63 pesetas por hectárea en los terrenos formados de rocas postpliocenas, 2,20 pesetas por hectárea en los procedentes de rocas miocenas, 1,09 en los de rocas eocenas, 0,84 en los de rocas cretáceas, 1,00 en los de jurásicas, y sólo 0,05 en los terrenos procedentes de

rocas cambrianas. Es decir, que las rocas cuanto más recientes son de mayor riqueza agrícola, que suele ser lo contrario de lo que ocurre con la riqueza mineral.

El *Anuario Estadístico de España*, correspondiente al año 1858, insertó la «Reseña geográfica, geológica y agrícola de España», cuyas diversas partes fueron redactadas por D. Francisco Coello, Francisco Luxán y Agustín Pascual. En 1862 publicó el gran mineralogista Felipe Naranjo y Garza, *Elementos de Mineralogía general, industrial y agrícola*, y en 1866, Manuel Murguía publicó el primer tomo de la obra *Descripción geográfica, geológica y mineralógica, botánica y zoológica de Galicia*.

En 1867 publicó la Junta General de Estadística, que se ocupaba en los estudios geológicos antes de la creación de la Comisión del Mapa geológico, el plano euforimétrico de la provincia de Madrid, en el que se expresaban con diversos colores las tierras calizas, silíceas, arcillosas y silíceoarcillosas; con notaciones especiales, los suelos permeables e impermeables, y se indicaban, además, los sitios en donde se extrajeron muestras de tierra para su análisis. Es decir, que viene a ser un mapa de los que ahora se llaman edafológicos. Posteriormente, en 1868, Pedro Sampallo publicó su resumen de Geología Agrícola.

En 1875 se marca un nuevo período en los estudios de la tierra arable debido a los descubrimientos del gran Pasteur sobre los microorganismos que hicieron ver que no estaba el suelo constituido por una masa mineral, sino que, como dijo Berthelot, había que considerarlo como un organismo viviente. La existencia de seres orgánicos microscópicos ya había sido descubierta por el sabio De Caudelle en los principios del siglo XIX, pero no llegó a obtener resultados prácticos con sus observaciones.

Hoy día se cree que la nutrición de la planta depende del aire y del suelo, y que en éste hay que distinguir los elementos cuyo origen se debe a transformaciones químicas de aquellos en que los seres vivos intervienen en su formación; pero los campos no están bien deslindados y la ciencia tiene mucho aún que descubrir acerca del verdadero papel que representan en la nutrición de la planta los diferentes elementos que integran el suelo arable.

Los antiguos, hasta el siglo XIX, dividían las tierras en arenosas, calizas, arcillosas, pedregosas o en pingües, sedosas y apretadas, o las definían por el color o las distinguían por los nombres de dulce, insípida, agria, ácida, salada o seca y mojada que huele a búcaro. También se hacía una definición clara entre el suelo y el subsuelo; pero los modernos estudios han deducido que esas separaciones no son tan claras y hoy se hacen cortes de los suelos y en ellos se distinguen varios horizontes según el grado de descomposición del terreno y también por lo que hayan podido influir en su composición la aportación de elementos transportados. Los rusos, que parece van a la cabeza en esta clase de estudios, distinguen los distintos horizontes de modo sencillo, con las letras mayúsculas de nuestro abecedario. Para el perfecto conocimiento de estos horizontes han de ir unidos el estudio mineralógico, químico, físico, botánico y biológico. Bien determinados los perfiles se ha podido proceder a una buena clasificación de los terrenos y se han deshecho muchos errores sobre el particular, como el que era corriente hasta hace poco, de suponer que en España existían estepas, como se venían representando en los mapas agronómicos.

Los estudios más profundos referentes a las condiciones del suelo para la nutrición de las plantas se deben al genio de Schläesing, que ha dado la norma al Mundo de cómo deben hacerse estos

estudios y ha hecho una serie de experiencias sobre los elementos que forman el suelo y del modo como éstos se comportan con relación a la vida de la planta, que se puede decir que desde su laboratorio ha iluminado el camino que debe seguir la Humanidad para el desarrollo de la agricultura en este particular.

La biología, como ciencia que se ocupa de seres que crean, ha de llenar papel importantísimo en la ciencia agrícola del porvenir. La vida se establece en el suelo vegetal en toda su complejidad, y los seres que pueblan esos microcosmos se ponen en relación con la naturaleza inorgánica y se ven afinidades, amores, crecimientos de materia, con toda una serie de fenómenos que para explicarlos hace falta recurrir a todas las ciencias representadas en esta Academia.

Hay microbios, que pudiéramos llamar buenos, que laboran por el agricultor, y otros malos, como los bacilos desnitrificantes, pero unos y otros tendrán su medio de vida más a propósito en ciertas clases de materiales en relación con los terrenos geológicos de donde proceden. Y he aquí que nos parece se abre un horizonte grande en los estudios del porvenir fomentando el cariño que sienten los microorganismos buenos por cierta clase de rocas, y destruyendo el que puedan sentir los malos por otra clase de ellas. Creemos que cabe llegar en el porvenir a cuidar que la planta se cree en el medio más a propósito para su mejor desarrollo y rendimiento.

Es indudable que las plantas continuamente extraen del suelo diferentes sustancias, que luego no vuelven al sitio de donde fueron extraídas. Los fertilizantes y enmiendas no tienen otro objeto que cubrir el déficit de sustancias nutritivas de las plantas que produce el cultivo de la tierra.

Los abonos se han empleado desde la más remota antigüedad, aunque utilizados de un modo empírico. A más de los orgánicos, los antiguos empleaban las cenizas de las plantas, que no son otra cosa que un abono químico, pero hasta el año 1880 no se empleó fertilizante químico con fundamento de causa. Crug-von-Nida, en 1860, alentaba a su país a que extrajera potasa de la cuenca de Stasffurt para usarla como abono.

Para el empleo del abono hay que conocer el papel que juegan en la planta los distintos elementos que lo integran y el modo de absorción de las diferentes sales del suelo. Puntos aun oscuros, aunque en los últimos años, se ha avanzado mucho en su investigación. Se sabe que los elementos principales necesarios para el desarrollo de la planta son el nitrógeno, el ácido fosfórico y la potasa, y que los abonos todos están hechos a base de devolver a la tierra estas sustancias. Se sabe también, que la tierra los absorbe por diversos medios, entre los que predominan la influencia de los humus y de los silicatos coloidales. Los fenómenos de nitrificación son muy complicados y han originado estudios profundísimos, de los que se deduce que el nitrógeno es absorbido por diferentes medios, en los que interviene activamente el mundo de los microorganismos y que lo mismo se puede obtener de la tierra que del aire; esto último descubierto por Berthelot en 1885. La actividad bacteriana bien estudiada en las leguminosas, es aún poco conocida en las demás plantas.

Sea la que sea la forma de nutrición de las plantas, lo indudable es que a las tierras para obtener buenos cultivos hace falta agregarles nitrógeno, fosfatos y potasa. El primero, proporcionado por las secreciones de los seres vivientes, algunos acumulados en muchos años, como el guano de las costas chilenas y, a veces, pro-

porcionado como producto de fábricas de destilación de materias orgánicas depositadas en el seno de la tierra desde hace miles de años, como los carbones.

Los otros dos productos los tiene que proporcionar, en su mayor parte, la industria extractiva minera, y ésta ha de apoyarse en la geología. En España no hemos tenido suerte en lo que se refiere a los fosfatos; no nos ha favorecido la Naturaleza en el reparto de esta sustancia y sólo disponemos de unos fosfatos de origen filoniano, duros y hasta ahora alejados de medios de comunicación, como son los de la provincia de Cáceres que no pueden competir, por ahora, con los terrosos procedentes de depósitos marinos cercanos al mar, como son los de Túnez, Argelia y Marruecos o los de Virginia en los Estados Unidos. En nuestra zona del Protectorado no hemos encontrado este producto mineral y, sin embargo, bien cerca de nuestra frontera, en Protectorado francés, se encuentran los yacimientos de Oued Zem, que tienen excepcional importancia y de los cuales se exportan a España grandes cantidades.

En cambio, en la potasa se mostró pródiga la Naturaleza con España, depositando al pie del Pirineo rico yacimiento a modo de zócalo de oro, que aparece en una formación que se extiende, sin solución de continuidad, desde el valle del Llobregat, en Cataluña, hasta las provincias de Navarra y Logroño, cubriendo en parte la depresión del Ebro.

En la cuenca oligocena subpirenaica se ha hallado potasa en Cataluña en una gran extensión, y en Navarra, al Norte de la Sierra del Perdón, y es de esperar que se halle también en Aragón, dado que la naturaleza de los depósitos y las causas tectónicas por las que se formaron los yacimientos salinos, no deben variar en toda la región descrita. Hemos reconocido un accidente geológico,

un pliegue anticlinal en los bancos oligocenos con dirección media paralela a la de la cordillera pirenaica desde Puig Reig, en la provincia de Barcelona, hasta el Oeste de Tafalla, con una ^lcorrida de más de 315 kilómetros de longitud y con sólo una solución de continuidad en el valle del Gállego, pero sin que aquí desaparezca el accidente anticlinal; lo que falta son los estratos oligocenos por haber sido erosionados.

A pesar de todas estas circunstancias, bien comprendemos que *ni los yacimientos salinos, ni con mayor motivo los potásicos, seguirán sin interrupción desde casi el Mediterráneo hasta casi el Cantábrico, pero sí creemos que existen probabilidades de que se encuentren otros depósitos a más de los conocidos, y que algunos de éstos sean capaces de aprovechamiento industrial.*

Pero aunque sólo se explotaran los reconocidos, la riqueza en minerales potásicos en España es inmensa y capaz, no tan sólo de abastecer el mercado nacional hasta los límites de cantidad que el hombre ahora puede prever, sino lanzar sus productos a los mercados extranjeros; es decir, hacer de la potasa uno de esos apreciados productos de exportación.

En Cataluña, sólo del criadero potásico reconocido y en condiciones de explotabilidad, cabe cubicar unos 500.000 millones de toneladas de óxido potásico anhidro; bien entendido que al estampar esta cifra he reducido a su límite mínimo la potencia potásica reconocida en el yacimiento en los 35 sondeos realizados en la extensión a que se refiere esta cubicación, y que comprende el perímetro determinado por los pueblos de Sallént, Balsareny, Navás, Castelltallat, Cardona, Suria y Sallént, situados casi en los límites de la zona reconocida. En Navarra se ha descubierto un importantísimo yacimiento potásico, pero no se han hecho más

que algunos trabajos de investigación, que no son suficientes para fundamentar una cubicación.

Quisiera haber llevado a vuestro espíritu una idea de cómo han surgido en el correr de los siglos los conocimientos geológicos, cómo éstos después se han desarrollado, cómo se han entrelazado y entrecruzado con los de otras ciencias, y cómo de ellos los hombres se han aprovechado para cubrir las necesidades que sintieron desde un principio, o que la enorme máquina del progreso ha creado. Lo lamentable es que la persona que ha querido expresar esta evolución especial del conocimiento no lo haya podido conseguir; pero, como dice Goethe en *Hermann y Dorotea*: «Lo que el hombre en sí no lleva, nunca podrá hacerlo brotar.»

DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. PEDRO DE NOVO Y FERNÁNDEZ-CHICARRO

SEÑORES ACADÉMICOS:

En pocas ocasiones como la que aquí nos reúne para recibir al nuevo compañero y lamentar la pérdida de aquel a quien reemplaza, puede decirse con mayor justicia que las dotes del ausente reviven en el sucesor. La historia científica de ambos presenta notable analogía.

Reconocida autoridad Fernández Navarro, Catedrático en la Universidad de Madrid, donde explicaba Petrografía, Mineralogía y Cristalografía, y conservador en el Museo de Ciencias Naturales, lejos de limitar a dichos estudios su bien empleada vida, le cabe, entre otras, la gloria de haber sido precursor en el estudio geológico de Marruecos, donde arrojó, no sólo penalidades, sino peligros, cuando no existía en el Rif seguridad personal, por los años 1905 a 1908, durante repetidos viajes que realizaba, vestido el traje moruno y por guarda amable jefe de bandoleros. Más tarde, del 13 al 20, proporcionó los únicos datos ciertos sobre territorio inexplorado al geólogo francés M. Gentil para su mapa del Norte de Africa, que también fueron guía utilísima a los geólogos españoles de la Comisión oficial que, como primera coincidencia de las anunciadas, tenía y tiene por Jefe a D. Agustín Marín.

También dedicó Fernández Navarro, más de diez excursiones,

del año 1917 al 1926, a descifrar las formaciones volcánicas de las Islas Canarias, una por una; trabajo, no sólo de notable valer, sino penoso en ocasiones, como cuando por espacio de varios días, a más de 3.000 metros de altura, recogía en el Teide los gases del volcán...; los mismos para cuyo estudio y posible aprovechamiento comisionó el Gobierno a Marín, hará cuatro o cinco años.

Parte de la enorme actividad de nuestro fallecido colega corresponde al estudio de la hidrología subterránea en el campo, y en investigaciones y conferencias de divulgación; por ser tantos, sólo menciono *La Hidrología subterránea de la Península*, constante ayuda para los que nos dedicamos a este género de investigaciones. Aunque no lo hubierais oído excusaría decir que a esa rama debe Marín señalados triunfos, siguiendo también en ella a su ilustre antecesor.

Único consuelo por la pérdida del sabio y amigo es comprobar que su puesto logra tan honrosa ocupación. Por eso me cumple hablaros de la labor de D. Agustín Marín, aspecto de la ciencia geológica que ha callado en su copioso discurso donde tantos diferentes trata, a sabiendas de que con mi elogio hurtó la obediencia a su mandato.

Debe llamársele con justicia hombre de este siglo, pues en su primer día, recién terminada la carrera, fué a ejercerla en la cuenca carbonífera de Asturias como ingeniero de la fábrica de Mieres y director de varias minas, hasta que en 1909, su acertada gestión y una notable conferencia en la Universidad de Oviedo acerca del volcanismo, le valieron pasar al Instituto Geológico, en el que aun presta sus servicios y donde, a poco, publicó un estudio acerca de las aguas subterráneas del Llano del Llobregat.

En los veintidós años transcurridos desde entonces, ha realizado

variada y meritoria labor, de la que destacan los estudios de Petrografía y sobre todo la lenta, constante y oscura de componer el mapa geológico oficial, pues bajo su dirección se han terminado las nuevas hojas de Barcelona, San Baudilio de Llobregat, Tarragona, Tortosa, Alcanar, Hospitalet y Gavá.

En 1915 marchó a Marruecos a dirigir el reconocimiento del Protectorado; labor aun no interrumpida donde al mérito científico hay que añadir notorio riesgo, ya que muchas veces durante la guerra fué forzoso trabajar en posiciones recién ocupadas. Grande honra para Marín haber dirigido esa Comisión, en la que figura como jefe de la zona oriental D. Alfonso del Valle Lersundi, el profundo conocedor de Marruecos, de su geología y sus problemas mineros y políticos, y como jefe de la occidental, D. Enrique Dupuy de Lôme, cuyo cumplido elogio me veda hacer nuestra fraterna amistad.

Como antes dije, comisionado Marín a las Islas Canarias para estudiar el posible aprovechamiento de los gases del Teide y la Montaña del Fuego, en Lanzarote, atrajeron su atención los alumbramientos de aguas subterráneas, vitales en aquel país, y que años antes inspiraran varias notas hidrológicas a Fernández Navarro. También en Baleares se ha ocupado el nuevo Académico en los problemas de la hidrología subterránea, acaso su trabajo preferido largos años en la Península; y últimamente presentó un plan completo de investigación en la comarca de Valencia, cuyo acierto muestran en su caudal varios sondeos.

Aparte los trabajos oficiales, ha realizado otros que abarcan diversos aspectos de la Ingeniería: tranvía eléctrico de Almería a Los Imposibles; otro de Madrid a Pozuelo; salto de agua en Loja; abastecimiento de agua de El Escorial; triangulación del coto mi-

nero de Riosa, en Asturias; voladura de 50.000 toneladas para extraer piedra con destino al puerto de Motril; proyecto y construcción de la primera fábrica continua de yeso en Pantoja (Toledo). Entre los de inmediata aplicación de los conocimientos geológicos, se cuentan: El estudio del terreno para construir un túnel a presión en el río La Vansa, en Lérida; la crítica desde el punto de vista geológico-económico del mejor trazado de un ferrocarril de dos que se proponían entre Balaguer y Pobla de Segur; cementación del pantano de Tremp, en Lérida.

Ha aportado su autorizado informe acerca de la construcción de varios grandes embalses; entre ellos los de Reinosa; San Lorenzo (en Lérida, ya construido); el del Segre; el enorme de Flix, en el Ebro; los de Sans, en el Ter; Puerto Cabrienas, en el Llobregat; de Gorg Negre, en Tarragona, y de Crespiá, en Gerona, y otros muchos.

En cuanto a informes puramente mineros son tantos, que sólo he de citar:

Estudios relativos a la geología y rocas hipogénicas de Marruecos. Nota geológica de las Islas Chafarinas. Constitución petrográfica del Monte Mauro (Beni-Said). Yacimientos auríferos de Rodalquilar. Alunita y azufre en Benhadux y Gádor. Bismuto, cobre y hierro, en Granada. Consideraciones acerca de la intervención del Estado en el asunto de las sales potásicas de Cataluña, 1920. Investigación de la cuenca potásica de Cataluña. Informe sobre las minas de carbones de Berga. El sondeo de Puigreig, en la zona potásica de Cataluña, 1924. Mina de fosforita de Logrosán. Mina de plata «Cuatro Naciones», de Hiendelaencina. Minas de carbón «Hulleras de Pola de Gordón», La Vecilla y Brañuelas. Minas de hierro de Vallefeliz (León). Minas de carbón Arbas y Pla de San Tirs (Lérida).

Investigación de la cuenca potásica de Cataluña, 1922. Extracto del informe de investigación de sales potásicas en la zona reservada al Estado. Minas de hierro de Lesaca. Minas de estaño de Orense y de la Nueva, de Langreo. Lignito en la provincia de Teruel; y Guía geológica de Cataluña para las excursiones del XIV Congreso Internacional celebrado en Madrid en 1926.

No hay duda que el autor está, como se dice ahora, capacitado para hablarnos de las aplicaciones de la Geología.

Es correspondiente de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, ha sido presidente de la Asociación de Ingenieros de Minas, y forma parte de las Comisiones internacionales de La Corteza Terrestre y Del Mapa Internacional de África; ha asistido a los Congresos Geológicos del Canadá en 1913 y Bruselas, 1922, al de Sondeos de París en 1929, Aniversario de la Sociedad Geológica de Francia en 1930 y al de Geografía, en la misma ciudad, el último mes de septiembre.

Con todo esto, lo que ha dado a Marín justísimo renombre, es la investigación de las sales potásicas en Suria (Barcelona), cuyo beneficio hará de aquella comarca una de las más ricas del mundo. Demuestran el carácter científico de su reconocimiento, los dos voluminosos tomos en que ha concretado observaciones propias y modernas teorías y estadística acerca de los yacimientos análogos, y además, el dicho estudio ha permitido que, después, el sabio geólogo Valle de Lersundi, ya citado, descubriese potasa en Navarra; lo que extiende de tal modo la cuenca, que al punto se pensó en que acaso se uniera a la de Cataluña por Aragón, con transcendencia enorme para nuestra economía.

Pues bien: el mismo Marín acaba de demostrar esa continuidad en recientísimo trabajo, según acaba de comunicarnos con tal sencillez que temo no destacase toda la importancia de ese estudio que acaso pruebe que la cuenca potásica del Norte abarque gran parte de la terciaria del Ebro.

Como veis, para escribir su discurso D. Agustín Marín sólo ha necesitado una cosa: revisar su vida. En ella, paso a paso, ha ido venciendo las dificultades inherentes a cada uno de los múltiples aspectos que hoy abarca la Geología, y cuyo empleo le ha demostrado lo que afirma por tema: que nuestra ciencia nació de las necesidades de la Ingeniería y de la Minería especialmente.

Pero como es posible que parte del público, aunque culta, sin duda profana en estas materias, no aprecie el esfuerzo que exigen los trabajos geológicos, intentaré esbozar lo que suponen en glorias y fatigas para que resalte mejor la obra del beneficiario.

Honda es la satisfacción, si violento el afán, del ingeniero que, tras complicados cálculos e infinitas dificultades en el astillero, ve al fin caer al agua, fiel en sus líneas, el buque que imaginó y que luego paseará por todos los mares, con nuestra bandera, el prestigio de la industria nacional y el nombre de sus constructores.

Muy análoga ansiedad experimenta el arquitecto el día del descimbrado, pero luego el edificio se alza perenne, el público lo contempla, lee la firma y presta justo homenaje al autor que recibe provecho y honra y acaso le quepa la muy ansiada de crear, si no un estilo, siquiera un tipo de construcción.

Iguales alegrías otorga la carrera al que construye ferrocarriles, al que dirige una granja agrícola y a otros muchos que ven coronados sus esfuerzos con el aplauso general.

El minero rara vez alcanza tan preciado galardón. Su labor es

oculta, en el sentido directo y en el figurado, y además, por esencia, precedera. La galería, el tajo o el pozo que consumieron su actividad, gastaron su cerebro y hasta amenazaron su vida, suelen tenerla muy breve, y aun el propio yacimiento se abandona un día, y aquel foco de actividad sólo deja el tristísimo espectáculo de casas arruinadas en plena juventud, máquinas inertes, galerías hundidas. Los otros ingenieros construyen, los de Minas destruyen el suelo y entregan los productos para la obra ajena. El hierro flota en los mares o corre por los carriles; el plomo canaliza los edificios o pinta sus paredes; el carbón se pierde en la atmósfera luego de alimentar la industria.

No obstante, inspira entusiasmo nuestro oficio. Hay mineros por nacimiento o de raza como hay marinos, y mientras no existen grupos sociales de albañiles natos, peones camineros, ni ayudantes de laboratorio, es numerosísimo en todos los países el de los que sueñan con las minas; las buscan, las explotan, las ponderan ricas, las lloran agotadas y las defienden a costa de su fortuna; que si ese mundo, como todos, mantiene vividores y falsarios, abundan los que sienten la Minería como algo propio y por ella se arruinan. Sí; es como la gente marinera, con vida y muerte distintas de las del resto de sus coterráneos; pues tan típicos y señalados como los diversos pescadores de nuestra costa son los que arrancan y funden montes enteros de la ferrifera Euskadi; los que extraen el *negro pan de la industria* en las montañas astures que a un tiempo lo brindan y le cierran paso hacia las próximas fraguas vizcaínas; los australianos solícitos que rebuscan entre las antes ricas arenas de los ríos galaicos; los ya modorros que en su cuerpo conservan la inquietud del manchego azogue; los alarifes cartageneros que con piedra seca erigen bóvedas perennes como en memoria del arrancado plomo.

Gente singular con reminiscencias del primitivo habitante de la Península, del rico tartesio, del rapaz fenicio, del osado cartaginés, del metódico romano, del moro, perpetuo buscador de tesoros ocultos, y, por fin, del aventurero colonizador de Indias, quien desdeñoso de la agricultura, con ansia de oro, creó las modernas Minería y Metalurgia, sin pensar que territorios como los de Nueva Inglaterra, aptos para el cultivo, lo son también para la pacífica consolidación de la raza invasora; así se entró en comarcas imposibles, guiado y secundado del indio, servido del negro; unido con mujeres de las tres razas, creó una política nueva, nuevo estado social, formidable grupo étnico, hervidero de naciones y hondo problema para el pensador absorto ante tal suma de aciertos posibles y de errores patentes, que supone la lucha entre el principio sajón basado en el cultivo, patriarcal a la corta, utilitario a la larga, y el español, fraternal siempre, pero revestido con ese barniz de rapacidad por el provecho inmediato cuyo sello no hay duda que le imprimió el minero.

Y ved ahí patente el carácter efímero de nuestras labores. El minero español creó o perfeccionó las metalurgias del oro, la plata y el cobre; descubrió el wolfram y el platino; condujo ¡desde Almadén! el azogue para amalgamar minerales en México y El Perú; pero mientras perduran otras creaciones españolas, como las obras públicas, los edificios civiles y religiosos, de aquel oro, gastado luego más en lujo que en industria, queda lejano recuerdo, y de la grandiosa labor minera, de sus hallazgos técnicos y científicos, sólo gloria discutida, cuando no ignorada, que es peor.

Tan ingrata nuestra profesión, ¿de dónde procede el entusiasmo que inspira?; sin duda de lo que tiene de conquista, de magia casi, descubrir riqueza oculta. Y ésta es la que se persigue en el aspecto

geológico, más duro aún que el minero, pues la tarea del geólogo es ímproba, ya que más que ningún otro de los que en el campo trabajan, aunque a todos corresponde análoga fatiga, ha de ser gimnasta y trepador para no despeñarse en los malos pasos; ha de conocer el arte de tratar al labriego o no granjeará buen trato de venderas y espoliques; ha de conocer algo de cocina si no quiere ayunar más de la cuenta; ha de montar a caballo y aderezar la silla y el freno y, con mayor frecuencia, las enjalmas y jáquimas del burro; ha de ser ágil de sus miembros, sufridor así del calor como del frío, así de la hambre como de la sed; que todo esto y mucho más habrá menester en sus andanzas. No quiero llegar a otras menudencias, conviene a saber, la falta de cama y no sobra de limpieza; aquel afanoso buscar (si es distraído) en diez bolsillos diferentes la libreta, lápices, navaja, brújula y barómetro; aquella lucha con el mapa arrebatado del viento y que espanta a la montura; ni aquel dantesco olvido del martillo en lo alto de escarpado cerro donde le es forzoso volver en busca de la indispensable herramienta.

No hay minero ni geólogo sin martillo; puede desdeñar la brújula, hasta cierto punto, en fuerza de costumbre para orientarse; el barómetro, si lleva mapa con curvas de nivel; el libro de memorias, si la posee excelente; pero nada haría sin martillo, indispensable en el campo y en la mina. Salen a nuestro encuentro los martillos enlazados en el papel de las primeras matriculas; en balaústres de la Escuela atraen la angustiosa mirada, que no ve, del que aguarda la llamada a examen; luce con largos e irregulares intervalos en las solemnes ceremonias que exigen uniforme civil; adornan minutas de banquetes, suscripciones, memorias, cartas de amigos no vistos desde larga fecha, y encabe-

zarán también nuestra necrología. Constante compañero de glorias y fatigas, es el martillo genuino emblema de nuestra profesión.

Mas toda fatiga fuera poca si no las agravase lo inseguro de la labor realizada. El geógrafo, cuyo trabajo tiene grandes analogías con el nuestro, acude a comprobarlo matemáticamente; pero el geólogo, tras un día de intenso afán o meses o años, siempre duda de su acierto; está sujeto a continua rectificación.

¡La duda! ¡Terrible enemigo en las ciencias que, como la Geología, requieren observar conjunto y detalles! Abarca la vista espacioso territorio y al punto el cerebro comienza a funcionar buscando plausible explicación a la sinuosa marcha de las capas que al frente se alzan erguidas, a la izquierda se pliegan en múltiples rizos, a la derecha buzan hacia el horizonte. Pronto el lápiz interpreta su disposición en caprichoso dibujo..., pero ¿son las mismas las que así enlazamos? ¿Pertenece siquiera a la misma edad? Precisa recorrer los afloramientos en duras jornadas, juzgando la naturaleza de la roca por menudos detalles; abandonar los gemelos y requerir la lente. Las precipitadas conclusiones se repliegan ante otra serie de problemas que evocan cada cristalización, cada cambio local de buzamiento, cada facies; diríase que fuesen otros tantos gnomos guardadores de todo tesoro subterráneo, oro o verdad, y los riscos otras tantas esfinges que callan su enigma. Apenas la imaginación, que toda escabrosidad hace llana, circuye extenso territorio en rápidas y generales síntesis, cuando nuestra pequeñez física quiebra sus alas y abate su brío, como si la Tierra diese al geólogo distinto trato que a Anteo y le quitase las fuerzas siempre que, desconfiando de los ojos, afianza en ella los pies.

Por eso, con profunda gratitud, recuerdo a quienes me alentaron en pasos tan penosos. Mientras viva evocaré al maestro Mallada,

de quien aprendí un cúmulo de observaciones que valen por años de experiencia, y cuyo cerebro y vista, aun seniles, se adaptaban con maravillosa rapidez a toda distancia; no le escapaba el diminuto fósil, ni lo abrumaban sierras ingentes. Un compañero a quien llamo mi segundo maestro, D. Juan Gavala, me enseñó la observación precisa para traducir al dibujo los cortes del terreno. Entre los que me rodean, ¡a cuántos debo mucho de lo poco que sé! Así, cuando D. Luis de Adaro, aquel inolvidable director, abrió las puertas del Instituto a los que salíamos de la Escuela, fué Marín el primero de quien recibí aquella grata orientación, afectuosa y burlona, que el ya experimentado, pero aun muy joven, otorga a todo principiante, al que ve con simpatía por estar a un tiempo muy cerca y muy lejos de él.

Este noble apoyo, no se limita a compañeros ni aun a compatriotas, sino que es frecuentísimo entre todos los geólogos del mundo; hombres con frecuencia excéntricos y aun atrabiliarios, pero que reconocen la ajena aplicación. Es hermoso leer lo que el gran Suess dice de sus colegas extranjeros; él, que tanto genio poseía, alababa en los otros, cuando no el talento creador, la buena voluntad; cuando no, la aportación más modesta. Y es que en las altas cumbres, desde las que se contempla a un tiempo grandioso y mínimo nuestro Planeta e ínfimo el hombre, rarísima vez florece, ya pálida, ya purpúrea, la venenosa planta de la envidia.

Tenía razón Marín al escoger como tema de su discurso que la Minería es madre de la Geología. Más de la mitad de nuestros geólogos han sido mineros. Al principio: Elhuyar, Ezquerria del Bayo, Schulz, Donaire, Botella, Casiano del Prado; luego, Fernández de Castro, Cortázar, Mallada, Luis Mariano Vidal; después, Palacios, Sánchez Lozano, Adaro, Azpeitia, Adán de Yarza; últimamente,

Orueta y Urrutia, por no hablar de los que hoy se encuentran en plena actividad. Pero de modo paralelo, alternan desde el principio con ellos en creciente progresión los puros naturalistas procedentes de la Universidad: Vilanova, Macpherson, Calderón, y luego han ido aumentando hasta la brillante pléyade que hoy colabora con los mineros en la formación del mapa nacional. Maestro entre ellos era D. Lucas Fernández Navarro (por no citar tampoco a los activos, que son la inmensa mayoría), al que todos debemos provechosa enseñanza.

Cierto dualismo de escuela caracteriza la colaboración entre mineros y naturalistas, pues siempre enfocarán los problemas de modo distinto. Los ingenieros de Minas tenemos carrera complejísima, y sólo uno de sus aspectos abarca las ciencias naturales. Entre fatigosos cálculos de Electrotecnia y Construcción; entre diagramas de mecánica y fórmulas de química industrial, encajan esas disciplinas que exigen reposo y esfuerzo pneumotécnico desacostumbrado, por lo que grande es la ventaja que en eso nos lleva el doctor o el licenciado, quien durante años ha leído el libro de la Naturaleza relacionando unos fenómenos con otros; y ello motiva, que sólo excepcionalmente y llevado de vocación profunda sea el minero verdadero naturalista.

Ahora bien: ¿está de nuestro lado la desventaja? No, por cierto. He hablado de dos escuelas que deben complementarse, y lo que en ello nos favorece es precisamente nuestra condición de ingenieros, habituados al rigor matemático que ayuda a razonar, a buscar en todo relación y medida; a la familiaridad con la geometría descriptiva o proyectiva que enseña a ver en el espacio y facilita el que siempre nos representemos la complicada estructura de un territorio.

También nos aclara nuestra enseñanza química y metalúrgica cuanto de laboratorio tiene la Tierra, no sólo en sus entrañas, sino en su corteza, mares y atmósfera. Y no digamos si es propicia nuestra profesión para entrar en los cálculos de carácter astronómico o geodésico, que exige hoy esa serie de estudios llamados de geofísica, cual la sismología.

Pero donde debe resaltar nuestro instinto de ingeniero es en las aplicaciones, sin temer que el espíritu industrial busque en todo problema aprovechamiento inmediato. El que profese la Geología, en cuanto a naturalista, tiene el deber de encauzar los problemas con desinterés científico, por ese provecho que da a la larga la, al parecer, más peregrina investigación; sin esto no habría ciencia verdadera. Pero en cuanto a ingeniero, debe buscar el provecho posible y no ha de faltarle ahora que son tantas las necesidades económicas y tan amplio el campo de la Geología. Sobre todo, ha de tener en cuenta que allí donde surge una necesidad, la inteligencia y el trabajo crean el remedio.

Esto nos dice en esencia Marín, al afirmar que la Geología nació de la Minería, y esto es lo que ha demostrado en su vida de ingeniero y de geólogo.

Reciba la felicitación del Cuerpo, que mucho espera de su actividad y talento, ahora que está llamado a ser uno de sus cerebros directores; reciba asimismo la bienvenida de la Academia y un agradecido abrazo del que ha tenido la honra de contestar a su brillante discurso.

HE DICHO.