

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

# DISCURSO

LEIDO EN EL ACTO DE SU RECEPCION

POR EL EXCMO. SEÑOR

D. JOSE MARIA RIOS Y GARCIA

Y

# CONTESTACION

DEL EXCMO. SEÑOR

D. JUAN GAVALA Y LABORDE

EL DÍA 30 DE NOVIEMBRE DE 1966



DOMICILIO DE LA CORPORACION:

VALVERDE, 22. MADRID

Teléfono 221 25 29

1 9 6 6

Depósito legal: M. 16.477 - 1966

DISCURSO  
DEL EXCELENTISIMO SEÑOR  
D. JOSE MARIA RIOS

# EVALUACION DE LA VALIDEZ DE LOS FUNDAMENTOS, METODOS Y LOGROS DE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS

(EN SI MISMOS Y EN COMPARACION CON LOS  
DE LAS RESTANTES CIENCIAS NATURALES)

## INTRODUCCION

Excelentísimos Sres. académicos, Sras. y Sres. :

Me acerco a este podio, al que tan inmerecidamente he tenido el honor de ser invitado por ustedes, con un sincero y profundo sentido de humildad. Y ello por dos razones: en primer lugar, y como factor extrínseco, por el natural y sobrecogedor respeto que ha de inspirar forzosamente la presencia y atención, siquiera se suponga amable, e incluso benévola, de tanto sabio distinguido, representante de una selección de lo mejor y más destacado de los cuerpos de disciplinas científicas representadas en esta Academia; en segundo lugar, y como factor intrínseco, por el complejo de inferioridad que parece aquejar a muchos geólogos cuando, como yo en esta ocasión, se elevan a considerar la validez de los fundamentos, métodos y logros de las ciencias geológicas, analizados en sí mismos, y en comparación con los de las restantes ciencias naturales, incluidas las físicas y las químicas; es decir, en la más amplia acepción de aquel concepto.

Pero no debo entrar más profundamente en esta materia sin recordar antes la ilustre figura y personalidad de mi antecesor en la codiciada posesión de una medalla y puesto en esta Real Academia, en este caso la número 21.

Constituye para mí un placer, y un deber de gratitud, recordar la eminentísima figura de don Agustín Marín y Bertrán de Lis, y así lo considerarán no sólo la totalidad de los Ingenieros de Minas, de cuyo cuerpo fue durante tantos años figura señera, sino la infinidad de personas de todas

las esferas y clases sociales de la vida nacional que tuvieron la oportunidad de tratarle. Yo creo que su rasgo preeminente era el de una entrañable humanidad. Y con esto quiero expresar un profundísimo espíritu de comprensión, una apreciación infinita de las cualidades ajenas, una tolerancia sin límites para los defectos ajenos. Su humildad, que era fruto de la conjunción de una bondad innata y de una gran experiencia de la vida y conocimiento de los hombres, queda reflejada en cada línea de sus "Recuerdos de un Ingeniero de Minas", publicados en 1961 por el Instituto de Ingenieros Civiles. Son un puro resplandor de su humanísima personalidad, de su bondad, de su sinceridad hasta lindar a veces con la inocencia.

Mis relaciones con él comenzaron muy pronto, cuando siendo aún alumno de 4.º curso en la Escuela de Minas, y siguiendo los mandatos de una vocación irresistible, realicé en el País Vasco mi primer trabajo geológico original. Era entonces profesor de Geología en la Escuela otro ilustre e inolvidable académico, don Pedro de Novo, a quien tuve el honor de suceder en la cátedra muchos años más tarde. Don Pedro de Novo se fijó seguramente no en el sin duda modestísimo trabajo, sino en la vocación que lo inspiraba, y logró interesar a don Agustín Marín, para que, patrocinado por ambos, se presentase a concurso de un premio Conde de Cartagena, que me fue concedido en el año 1933 y que, por una serie de curiosas circunstancias, me dio la envidiable oportunidad de trabajar durante algún tiempo al amparo de don Julio Palacios, con lo que no sólo logré sacar algún partido como reflejo lejano de su extensísima y profunda sabiduría sino conocer un mundo entonces nuevo para mí, el del trabajo en el laboratorio, donde se funciona a escalas remotísimas y con criterios radicalmente distintos de los que habían de instruir el campo principal de mis actividades futuras.

De aquella manera conocí a D. Agustín Marín, y este conocimiento persistió ya, más estrecho en adelante, durante los muchos años en que trabajé a sus órdenes en el Instituto Geológico y Minero de España.

Nació don Agustín Marín en Madrid el 22 de octubre de 1877, de familia ilustre, pero toda su vida supo conjugar una innata distinción con su naturalísima sencillez de trato. Se desenvolvía en sus relaciones personales con la misma naturalidad y extraordinaria simpatía con las más altas personalidades de la vida nacional que con las personas más modestas, bien fueran los labradores o trabajadores con los que sus tareas geológicas y mineras le ponían en frecuente contacto, o con los más humildes funcionarios de los establecimientos que presidió.

Su infancia y adolescencia se vieron ensombrecidas por una prematura orfandad, ya que perdió en primer lugar a su madre, y en seguida también a su padre, cuando tenía ocho años de edad.

Hizo sus estudios de bachillerato en los Escolapios de Getafe, y sus estudios profesionales en la Escuela de Minas, orientado en parte por la vocación, en parte por deseos paternos. Terminó sus estudios el año 1900.

Su actividad profesional comenzó por la minería, y precisamente por la minería del carbón en Asturias, primero en la Cobertoria, luego en las minas de Mieres. De sus rápidos progresos en la profesión minera se deduce que su clara visión de los problemas fue rápidamente apreciada. Entró al servicio del Estado, y pasó fugazmente por el Distrito Minero de Oviedo, ya que en el año 1908 fue llamado a prestar sus servicios en la Comisión del Mapa Geológico, luego transformado en Instituto Geológico y, más tarde, en Instituto Geológico y Minero de España.

El mismo dice que su vocación geológica nació en la mina y fue resultado de la apreciación de que no hay un sano desenvolvimiento de las actividades de una mina sin un conocimiento previo de sus circunstancias geológicas, vocación fomentada después a lo largo de sus correrías por Asturias con Adaro e Ibrán.

No podemos entrar en los pormenores de su brillantísima carrera geológica. Baste decir que trabajó con los ahora clásicos de la geología española y académicos muchos de ellos, con Cortázar, Vidal, Adaro, Orueta, Sánchez Lozano, Rubio y, sobre todo, con Mallada, de modo que tuvo excelentes maestros. Y como compañeros, con otra serie de geólogos, algunos de los cuales fueron o son miembros de esta Academia, como Novo, Sampelayo y Gavala.

Dirigió durante muchos años aquel centro, del que salió por ascenso a la categoría de Inspector General con destino en el Consejo de Minería.

Sus actividades puramente geológicas plasmaron en cantidad de trabajos, muchos de ellos publicados. Los más importantes se refieren a la investigación y delimitación de la cuenca potásica de Cataluña, descubierta en 1912, que llevó a cabo en colaboración con D. César Rubio, y a la que siguió ligado de por vida, y a sus estudios en las cadenas marroquíes del Rif, en que colaboró con el ilustre geólogo francés Paul Fallot.

Miembro de la Sociedad Geológica de Francia desde 1920, fue elegido miembro de honor en 1946, en la primera promoción a esta categoría, y asociado extranjero en 1948.

Era muy conocido y estimado en los círculos geológicos extranjeros, tanto por su capacidad como por su simpatía.

Pero quizá fue el campo de la geología aplicada a la minería y a las obras públicas el que tuvo su preferencia. Pronto adquirió verdadera fama en este terreno, y llegó a ser el asesor indispensable de las compañías mineras. Y no sólo en las potasas, sino en las piritas, en los hierros, en los wolframios y estaños, en la hidrogeología y en el petróleo y en el asesoramiento de cierres para embalses de agua.

No había prácticamente ningún área, en este amplio campo, que no tocara alguna vez en sus actividades. Ello era debido a su optimismo inveterado, contrapesado por un conocimiento profundo y un gran sentido de la responsabilidad. Orientó y asesoró cantidad de negocios mineros, y una buena parte de sus numerosas publicaciones estuvo dedicada a estos temas, que dominaba en toda su extensión.

No es preciso explicar que con este fondo profesional y con sus dotes personales de afabilidad y simpatía destacó poderosamente en la vida oficial. Fue Director General de Minas, dirigió el Instituto Geológico y Minero, fue Presidente de la Comisión de Estudios Geológicos y Mineros del Protectorado Español de Marruecos, de la E. N. Adaro de Investigaciones Mineras y de la Asociación de Ingenieros de Minas. Presidió y formó parte de infinidad de comisiones legislativas, mineras y de obras públicas, y representó a España en numerosos congresos. Era conocido y apreciado en los ambientes profesionales y oficiales de España y fuera de ella, por lo que fue honrado con muchas y preciadas condecoraciones.

Fue elegido miembro de esta Academia el 20 de diciembre de 1930 y recibido en ella el 18 de noviembre de 1931. Su discurso versó sobre "El Desarrollo Histórico de las aplicaciones de la Geología", y fue siempre asiduo asistente y colaborador en las tareas académicas.

Su vida oficial terminó el 21 de octubre de 1947, en que fue jubilado con la categoría de Inspector General, pero su inmensa vitalidad no le permitió resignarse a una disminución de sus actividades. Su extraordinaria fuerza vital se manifestaba en todo, hasta en las comidas. Teníamos el privilegio, un grupo de sus colaboradores y subordinados en el Instituto Geológico, de reunirnos a comer con él con alguna regularidad. Nos daba ciento y raya, en exigencia y en cantidad, y esta asombrosa vitalidad prevaleció en sus últimos años, con la natural alarma de los que le acompañábamos.

Sus últimos años fueron amargos, pero más para los que contemplába-

mos su decadencia física que para él mismo, ya que su espíritu, claridad de su mente y su indomable voluntad le mantenían en alto. Aquejado de graves achaques consiguientes a su avanzada edad, privado casi totalmente de la vista, su ánimo, su espíritu, no abdicaron. Seguía queriéndose ocupar de todo con extraordinario tesón, y grave preocupación de los que querían ayudarle intentando no herir sus sentimientos. Y murió, como suele decirse, con las botas puestas, en el transcurso de una visita profesional en la provincia de Granada, el día 29 de septiembre de 1963, tras cerca de sesenta y cinco años de una actividad profesional incansable.

Su memoria no será olvidada, ni el hueco podrá llenarse; pero como la exigencia vital, sobre todo en los tiempos que corren, más bien deberíamos decir que vuelan, nos obliga a mirar hacia adelante, y nos priva de mirar hacia atrás con la calma que quisiéramos, hemos de continuar con nuestro tema.

\* \* \*

Hablábamos antes de un complejo de inferioridad. Que el complejo de inferioridad existe resulta patente tan pronto como se ahonda un poco en la literatura existente y donde no son raros los trabajos que se encabezan con títulos tales como "La Geología, ¿es ciencia?" (P. E. Cloud, 1957) u otros parecidos. Y aún más cuando se examinan a fondo otros trabajos en que, sin anunciar desde el título su preocupación, constituye ésta un motivo temático constante a lo largo de su texto.

Este sentido de inferioridad nos pone de manifiesto que alguna debilidad encierran los fundamentos y métodos de las ciencias geológicas, debilidad que forzosamente ha de quedar reflejada en sus logros. Por otra parte es expresión de un espíritu de profundo respeto a la verdad, de auténtica sinceridad, y de amor a la disciplina que cultivan, ya que el verdadero amor no sólo se fija en las cualidades de la persona u objeto amado, sino que conoce los defectos, pero los excusa, o incluso llega a amarlos por formar parte del objeto o persona amada.

Diremos que en todos los países más adelantados no son escasos los geólogos, aunque tampoco sean numerosos, que se han ocupado del análisis de los fundamentos lógicos de la geología y de su comparación con los de otras ciencias (C. C. Albritton, Jr., 1963). Quizá la razón reside en que lanzada la geología, sobre todo en los últimos tiempos, a una gran expansión

en el número y extensión de sus especialidades, en ciencia pura pero sobre todo en la aplicada, queda poco tiempo para el ejercicio espiritual que requiere la meditación sobre estos temas.

En nuestro país, que yo sepa, poco, muy poco, se ha hecho en este sentido. Nuestra geología ha sido, aunque brillante en épocas, hasta rebasar sus personalidades y realizaciones más allá de nuestras fronteras, de índole más bien descriptiva que especulativa. Si ha habido lugar a preocupaciones en este sentido no han cristalizado en estudios concretos. Pero he de recordar, por lo menos, una notable contribución a estas especulaciones: la del ilustre e inolvidable Ingeniero de Minas don Eugenio Cueto y Rui-Díaz, de tan modesta como recia personalidad. Nacido en Gobiendes, Asturias, en 1874, demostró siempre un profundo amor a la geología, que ejerció como afición colateral, ya que sus empleos fueron siempre mineros. Y lo demostró desarrollando una brillantísima labor que, si resultó limitada en su alcance por su carácter local y geográficamente restringido, no por ello dejó de alcanzar gran altura y excelente calidad, basada sobre todo en una profunda honradez geológica, de fidelidad a lo directamente observado por él.

Pero aparte de dedicar este homenaje de afecto y de recuerdo a tan perfecto caballero, al que tuve la suerte de conocer y de tratar, y la desgracia de que este conocimiento, por razón de las diferencias de edades y categorías, así como por las circunstancias, no pudiera ser más profundo, lo que quería es subrayar la atención que dedicó a estos problemas de que yo me voy a ocupar, en sus "Fundamentos lógicos de la Geología" (Cueto y Rui-Díaz, E., 1948), obra excelente, que no recibió la atención que merecía por el escaso interés que este campo de pensamiento y especulación ha despertado entre nuestros geólogos.

Pero a mí el tema de los fundamentos lógicos de la geología, y de su validez, me atrajo siempre con singular interés, y le he dedicado atención en diversas ocasiones. Ha sido una labor dispersa y fragmentaria, aparecida como comentarios en diversos trabajos. Quería ahora reunir aquí los diversos razonamientos, unificarlos, completarlos y ampliarlos con comentarios a diversas referencias del pensamiento de geólogos de otros países.

Hablaba antes de un complejo de inferioridad. Aunque la cuestión, como verán ustedes a lo largo de esta exposición, es compleja y tiene infinidad de implicaciones, creo que en definitiva, y en resumen muy concentrado, nace de la incapacidad en que se encuentra la geología, actualmente

y quizá para siempre, para dotar, a sus principios y hechos, de formulaciones exactas y dotadas de expresión matemática.

Y lo que voy a tratar de argüir es que no es necesario que se pueda llegar a tal formulación para que una disciplina de tan nobilísima índole y tan altísima categoría mental sea considerada, de todo derecho, como ciencia.

Toda mi exposición estará impregnada de un profundo amor por la disciplina científica a la que me llamó una vocación tan temprana como irresistible, interés que se extiende a sus fundamentos, a sus métodos e incluso a sus limitaciones, y que estaría más que sobradamente justificado aunque no fuera más que por su objeto, la Tierra, de cuyo barro fuimos creados por Dios y a la que irremisiblemente hemos de volver hasta vernos de nuevo integrados a ella.

Con cuya belleza natural nos recreamos en tantas ocasiones, de la que derivamos sustento, materias primas y energía y que es, de todo lo creado por la Providencia, aquello a lo que estamos más íntima e inexorablemente ligados, por lo que tenemos la obligación de conocerla lo más íntimamente que nos sea posible.

Decía en otra ocasión (Ríos, en Cornelius, 1954). “La Geología, como ciencia joven, y en gran medida desprovista por su propia naturaleza del auxilio de la experimentación, se basa en la observación y la deducción. Por la primera razón es ciencia estadística y su firmeza depende de la abundancia y calidad de la observación, muy desiguales e incompletas aún, en general, y sobre todo para muchas y extensas áreas terráqueas. Por la segunda es ciencia especulativa y, por consiguiente, como la filosofía, muy personal. Sin embargo, nadie niega a la filosofía, por su propio mecanismo, el primer rango entre las disciplinas del espíritu, aparte de su preeminencia como suma de todas las ciencias; pero precisamente por su mecanismo es por lo que la geología se hermana con la filosofía.

”De todos modos, como ciencia especulativa, y como ciencia joven, hay en la geología infinidad de conceptos, incluso básicos, que no son sino imágenes distorsionadas de la realidad, muy distorsionadas a veces. Los geólogos lo saben, pero es demasiado frecuente olvidarlo o al menos aparentar que se olvida.

”Sabemos que utilizamos muchos conceptos que no resisten el análisis, muchas herramientas que se mellan al choque con la realidad, pero como son las mejores de que disponemos, y las únicas que por ahora hemos podido crear, las empleamos de continuo. Sería peligroso que su empleo

se convirtiera en rutina, y que llegásemos a olvidar sus fallos. En general se descuida notablemente la crítica de los principios geológicos y esto entraña un peligro para el futuro de esta ciencia.”

El tema que he elegido exige una definición de principios y fines de la ciencia geológica y no hay mejor medio para ello que su propia definición. Y aquí, en su propio origen, se inicia una indecisión que resulta patente al ver la diversidad de definiciones que se han propuesto para la ciencia geológica. Si bien las diferencias sean a veces de matiz, resultan sintomáticas de una falta de unanimidad de criterio, que a su vez es fruto de una falta de definición de la imagen.

Estas diferencias son consecuencia unas veces de diversidad de apreciación en la amplitud del campo, que puede variar desde sus contactos con la astronomía hasta los que tiene con la ciencia de los suelos u otros muchos y diversos campos; puede incluir o excluir la petrología y la paleontología, o tener un sentido mucho más restringido, y tal indecisión es sobre todo consecuencia de la multitud de ramas a las que ha dado nacimiento, principalmente en los últimos años; estas discrepancias no tienen en general demasiada importancia. Pero otras veces se basan en diferencias de criterio y tienen entonces carácter fundamental.

Desde mi punto de vista partiré de una definición que ideé hace años y que quizá no es más que reflejo subconsciente de alguna lectura previa. Según esta definición, la geología es la ciencia que trata del conocimiento de la disposición de los materiales que constituyen el globo terráqueo, de las causas que originaron dicha disposición y de los efectos de los agentes que la alteran.

Creo que en esta definición quedan implicadas no sólo las relaciones más remotas con las demás ciencias más o menos afines, sino que, si meditamos sobre su contenido, vemos que se designan implícitamente sus caracteres esenciales, el de ciencia natural descriptiva; el de ciencia de carácter eminentemente histórico, y también sus mecanismos lógicos como ciencia analítica de observación, de disgregación y clasificación de las aportaciones de la observación, y de ciencia sintética de reconstrucción y deducción de mecanismos. Y es así en todos sus terrenos; lo ha sido en su evolución y desarrollo, lo es en su mecanismo de trabajo, en su pedagogía y en toda su filosofía.

Con seguridad que la característica que más la diferencia, y en cierto modo la separa, del restante grupo de ciencias representadas en esta Real

Academia, es su carácter de ciencia histórica. Es este carácter especial, y a mi juicio, aunque no al de todos los geólogos, indiscutible de la ciencia geológica, el que la hace más extraña, menos asequible a las mentalidades de los cultivadores de otras disciplinas, cuyos fenómenos son, al menos en la versión pragmática al uso corriente, independientes de su ubicación en el tiempo. Existen de por sí, y no tienen esa relación de dependencia, tan íntima, tan trascendente, con los fenómenos anteriores, a veces tan remotos en el tiempo, relación que constituye la trama íntima de todo el acontecer geológico.

Por consiguiente no podemos olvidar, ni por un momento, que sobre todas las restantes características de esta ciencia la geología tiene la de constituir una reseña de acontecimientos pasados, en la que cada uno de ellos ejerce además una influencia conformadora de los que van a suceder en el futuro y que ninguna situación se repite en forma idéntica a las que existieron antes.

Como todas las ciencias históricas, la geología se ha de nutrir de testimonios, pero sus testimonios son mudos. No existe la tradición oral, salvo para los acontecimientos de tiempos que, geológicamente hablando, son inmediatos, ni existe la más o menos nutrida documentación histórica, los hechos reseñados en relaciones de testigos, documentos, contratos, inscripciones, etc., que permiten reconstituir con más o menos fidelidad, detalle o veracidad, los hechos del pasado en la historia humana.

En geología esta documentación queda escrita y reseñada en las rocas, que son los documentos mudos y enigmáticos que permiten al geólogo, si domina su ciencia, reconstituir el pasado, remontarse hacia atrás en la oscura distancia de los tiempos infinitamente remotos, y ello es posible precisamente por el hecho fundamental de que cada acontecimiento ejerce una acción conformadora en los acontecimientos futuros. Todas estas acciones quedan reflejadas con gran minuciosidad, con extrema delicadeza, en las rocas; pero su lectura es difícil y complicada y exige un dominio extremo de las técnicas geológicas.

Una de las diferencias más marcadas entre el buen geólogo y el mal geólogo reside en la mayor o menor capacidad que tiene para realizar esta lectura. En la cantidad y calidad de la información que obtiene acerca de lo ocurrido en el pasado, cuando se enfrenta ahora con unas rocas o con una situación geológica representada por una determinada combinación de rocas.

Faltos de la conexión con el pasado, que en otras ciencias históricas está

constituida por la transmisión directa de tradiciones, documentos y testimonios de todas índoles y categorías, la labor de la geología, al nacer como ciencia, ha sido el estudio y análisis profundo de los fenómenos geológicos que ocurren en los tiempos presentes y la observación minuciosa de cómo afectan a las rocas que actualmente los soportan (puestas de manifiesto, como lo están, a nuestro examen en la superficie terrestre), la clase de influencia que ejercen sobre ellas y cómo graban en ellas una serie de huellas o características. De esta manera se puede llegar a establecer una relación de efecto a causa que permite ligar los fenómenos geológicos ocurridos a las características legibles en las rocas. De la misma manera permite establecer la relación existente entre los fenómenos geológicos actuales y observables, y las características de las rocas que se están formando actualmente, de modo que mediante su estudio podemos conocer la índole de los fenómenos que concurren y que colaboran en su construcción.

Si, por ejemplo, consideramos cualquiera de los infinitos materiales sedimentarios que se están constituyendo actualmente en un punto cualquiera de nuestra corteza terrestre, sus características dependen de circunstancias de clima y de relieve, de la índole de los materiales pétreos expuestos en las zonas de la superficie que integran el ámbito de suministro de materia para la formación de la nueva roca y también del ámbito ecológico y biológico reinante en este área.

Todas estas características o fenómenos geológicos (y biológicos) actuantes quedan de alguna manera registradas en la índole o disposición de los materiales que se están creando y constituyen el nexo entre el presente y el futuro geológico. Si nosotros somos capaces de definir la relación de dependencia entre esas causas y efectos, los geólogos que en lo futuro estudien esas rocas podrán igualmente intuir las causas que originaron los efectos susceptibles de observación, y es lo mismo que hacemos nosotros actualmente con las rocas que se formaron en el pasado, si bien esto, que se dice tan fácilmente, supone una tarea de gran complejidad. No de otra manera se ha constituido la ciencia geológica.

Por consiguiente, su primera tarea consistió en el estudio y conocimiento, cada vez más profundo, de los llamados fenómenos geológicos externos o de dinámica externa, los que actúan y se conocen en la superficie terrestre, y de sus efectos sobre las rocas actualmente expuestas en ella, así como su acción generadora de nuevas rocas, que son consecuencia de, y re-

gistran minuciosa, aunque cabalísticamente, aquellas circunstancias y sus variaciones.

Es la ciencia de los fenómenos externos actuales y constituye una de las partes fundamentales de la geología.

No tenemos otro testimonio del pasado que las propias rocas. Para remontarnos a él, para retroceder en el tiempo hasta las misteriosas épocas en que se gestaban las más antiguas rocas que conocemos en la corteza de nuestro globo, aquellas sombrías y atormentadas rocas, tan sugerentes de tenebrosos fenómenos, no tenemos más que un recurso, que constituye al mismo tiempo la fuerza y la debilidad de la ciencia geológica, su columna vertebral y su talón de Aquiles.

Nadie presenció aquellos fenómenos, nadie pudo dejar su descripción ni explicar qué circunstancias reinaban entonces, y no hablemos ya de los 3.000 millones de años atrás, en que se formaron las más viejas rocas que se conocen o que se presuponen, sino que ni siquiera tenemos la absoluta y estricta seguridad, el testimonio fehaciente de lo que ocurrió hace cincuenta mil o hace diez mil años.

Pero sí sabemos que las rocas de otras épocas, como las de hace tres mil millones de años, como las actuales, son el fiel espejo y registro de lo que ocurría entonces, de las circunstancias que entonces reinaban.

Y este razonamiento constituye la clave del arco arquitectónico geológico conocida como ley del actualismo, y en la literatura anglosajona con el nombre de principio de uniformismo (Uniformitarianism), según el cual podemos aplicar a tiempos pasados la experiencia deducida de la observación de los fenómenos presentes, porque en lo fundamental las cosas ocurrieron en el pasado como ocurren en la actualidad.

## EXAMEN DEL ACTUALISMO, PRINCIPIO FUNDAMENTAL DE LA GEOLOGIA

La experiencia geológica, deducida del examen de infinitos ejemplares y circunstancias pétreas, nos enseña que incluso las más viejas y extrañas rocas del más remoto pasado geológico tienen tal semejanza de estructura, índole y de origen con alguna de las actuales, cuyas causas de formación conocemos perfectamente, que podemos con certeza y seguridad aplicar al

pasado, incluso al más remoto, los razonamientos que hemos deducido del examen de las circunstancias y hechos actuales.

No sabemos si entre las rocas más viejas que conocemos existen aún restos de la primera corteza de consolidación de nuestro globo, pero sí tenemos la conciencia de que la génesis de todas ellas nos es asequible mediante comparación con las de las rocas actuales. De modo que no necesitamos en manera alguna recurrir a procesos misteriosos para explicar su origen.

Pero este principio fundamental de las ciencias geológicas no sólo no tiene expresión matemática, sino que no podemos demostrar su validez con técnicas lógicas, irrefutables. Existe solamente en nuestra conciencia de geólogos y ni siquiera en la de todos, pues aparte de no ser su aplicación de total universalidad, puesto que cuenta con limitaciones, ni siquiera es aceptado tampoco unánimemente por todos los geólogos, aunque sí por la mayoría. Ni siquiera todos los que lo aceptan lo aceptan en el mismo grado o con el mismo matiz.

Dice Kitts (D. B. Kitts, 1963) que existe un acuerdo generalizado entre los geólogos, o al menos todos los geólogos están más o menos de acuerdo, en que alguna clase de principio uniformista es ingrediente fundamental de toda inferencia geológica, y cita que Longwell y Flint (C. R. Longwell y R. F. Flint, 1955) llegan incluso a decir que "todo el proceso mental empleado en la reconstrucción de una antigua historia se basa en aquella piedra angular de la filosofía geológica, el principio del uniformismo, probablemente la mayor contribución aislada que han hecho los geólogos al pensamiento científico". Y sin embargo, sigue Kitts, y a pesar del acuerdo general por lo que se refiere a la importancia del principio, los geólogos mantienen opiniones muy divergentes acerca de su significado. Tan diversas que se pensaría que ha habido escasa o ninguna resolución de los problemas que dieron origen a las famosas controversias entre "uniformistas" y "catastrofistas" en el siglo XIX. El problema no ha sido resuelto, pero la controversia ha bajado de tono.

A mí me parece que no es el principio, en manera alguna, lo que se discute, sino su alcance, tenidas en cuenta sus limitaciones. Veamos algunas de estas limitaciones, empezando por las más importantes y trascendentes.

Hemos hablado de imágenes del pasado semiestáticas, que se nos ofrecen como una serie de proyecciones de diapositivas que reproducen estampas de momentos del pasado (momentos según el concepto de la escala geológica de tiempos).

Pero la historia de nuestro globo es de un acontecer constante, su faz cambia de manera que a nosotros nos parece casi insensible; pero nos lo parece, por la brevedad del concepto del tiempo humano comparado con el concepto del tiempo geológico.

Si nos fuera posible cambiar de nuestra escala de tiempos humanos a la de tiempos geológicos veríamos cómo la faz de la Tierra mudaba sin cesar; veríamos avanzar y retroceder los mares, modificarse los contornos, incluso desaparecer los continentes, desplazarse los casquetes polares, alzarse sistemas enteros de cadenas de montañas, luchar con las fuerzas destructivas de la erosión y del desgaste hasta ser humilladas y convertirse sus enhiestas y nevadas cumbres en tendidas penillanuras. Veríamos también cómo la vida salía de los mares a los continentes en un largo proceso de gradual adaptación; cómo las plantas pasaban de los humildes tipos vegetativos a los orgullosos ejemplares arbóreos. Veríamos aparecer y desaparecer grupos y familias, géneros y especies, dando lugar antes, por una evolución progresiva y nunca totalmente reversible, a nuevos tipos, en general más complicados, más perfectos, más evolucionados.

Veríamos cómo sus restos quedaban primero engastados, luego petrificados en los sedimentos para constituir, por correlación entre la historia de la evolución biológica y la historia de la evolución geológica, la más valiosa herramienta para la datación de las rocas sedimentarias y el establecimiento de orden y correlación por sucesión.

Por consiguiente, la historia de la Tierra es fundamentalmente dinámica, viva, es lo que una proyección cinematográfica a una proyección de diapositivas.

Los fenómenos que rigen y ordenan este dinamismo no son externos, puesto que éstos son en cierta manera accesorios, sino internos. Tienen sus causas inmediatas en las entrañas mismas del globo, y las remotas son de categoría astral. Son los fenómenos de la dinámica interna, que constituyen otra de las partes fundamentales de la ciencia geológica.

En su contribución a la conformación de la faz de la Tierra la importancia de los fenómenos de dinámica externa equilibra, incluso quizá rebasa, a la de los fenómenos de dinámica interna, porque su acción e influencia son más inmediatas; sin embargo, la dinámica interna es de superior categoría, ya que la dinámica externa está muchas veces regida por ella y es su consecuencia.

Todos estos razonamientos pueden parecer digresiones, pero son nece-

sarios a nuestro raciocinio y los vamos a llevar inmediatamente al terreno que nos interesa, al de la ley del actualismo geológico y sus limitaciones.

Mientras que la escala de los tiempos humanos es adecuada para la observación y estudio de gran parte de los fenómenos de la dinámica externa, es totalmente inadecuada para el de los fenómenos de la dinámica interna, la duración de cuyos procesos es infinitamente más larga, por lo que no los podemos observar ni siquiera episódicamente. Sólo fenómenos de categoría tan intrascendental, como son los sísmicos, o accesorios, como lo es el vulcanismo, son observables total o parcialmente en sus manifestaciones externas.

De modo que para la interpretación lógica de los fenómenos más trascendentales de la corteza terrestre, los de la geodinámica interna, no tenemos otra base que la inferencia.

No restemos sin embargo, demasiada categoría a esta inferencia. Lo que hacemos es comparar unos con otros una serie de estados consecutivos de la faz de la Tierra, lo más próximos posible en el tiempo, cuya datación se consigue por los métodos de superposición, o de antecendencia y mediante el registro evolutivo geológico (H. D. Hedberg, 1961) (por los fósiles), y mediante esta comparación establecemos las configuraciones sucesivas, la evolución y génesis, es decir, la cinemática y dinámica de la corteza terrestre en su constante pulsar.

De esta manera volvemos a subrayar la índole fundamentalmente histórica de la geología y la índole especial de su principio fundamental, que ni tiene expresión matemática, ni formulación exacta, ni posibilidad de demostración auténticamente lógica.

Es corriente que se atribuya sólo carácter histórico a aquella parte de la geología que se ocupa de la enumeración y descripción de las vicisitudes de la historia de nuestro planeta, pero lo cierto es que por las razones mencionadas su carácter histórico queda implícito en toda su estructura e inspira el fondo de todos los principios que aceptamos como válidos y que usamos todos los geólogos.

Vemos, por consiguiente, que la limitación fundamental de la ley del actualismo consiste en que se basa en la inferencia, en que no es demostrable, y que no es por todos aceptada la universalidad de su aplicación, por lo que hemos de retirarle el tratamiento de ley que se le suele aplicar y dejarla en principio.

Veamos algunas otras limitaciones que son a modo de satélites de aquélla. Señalemos que los geólogos podemos muchas veces reconocer, en amplias

regiones del globo, las edades de muchas formaciones geológicas; digamos, por ejemplo, el Siluriano, el Devoniano, el Permiano, el Triásico y aun el Oligoceno o el Mioceno, de manera inmediata por sus aparentes características externas, al primer golpe de vista y sin necesidad de examen más minucioso, en zonas desconocidas en las que somos recién llegados.

Ahora bien, el principio del actualismo, en su forma más generalizada y amplia, dice que si podemos remontarnos del presente al pasado, si tenemos, por decirlo así, la capacidad de actualizar los fenómenos del pasado deducidos por la observación de sus testimonios registrados en las rocas, es porque en el pasado geológico todo ocurrió como en los tiempos actuales.

La aplicación literal de este principio llevaría consigo que la historia y la faz misma de la Tierra resultarían de una monotonía aplastante. Y, sin embargo, acabamos de decir que los diversos periodos geológicos tienen muchas veces un sello característico que permite reconocerlos al primer golpe de vista y diferenciarlos de los restantes. Lo que quiere decir que aunque los factores geológicos hayan sido los mismos en todas las épocas no todos ellos han actuado simultáneamente en todos los tiempos, o no lo han hecho con la misma intensidad o con las mismas características.

Es evidente que falta en casos la acción de unos u otros, o que varía la intensidad de actuación, de modo que esa diferente combinación de circunstancias en las épocas geológicas del pasado conducen a efectos bien distintos y discernibles, por lo que al aspecto y condición de las rocas se refiere.

Lo que apreciamos en este rápido conocimiento, de golpe de vista, es el dominio en amplias regiones del globo de determinadas circunstancias climáticas o ambientales, dominio de climas desérticos y ambientes continentales o, por el contrario, de gran predominio de los mares con amplias zonas de sedimentación profunda o de otras características fácilmente reconocibles, representantes de determinadas circunstancias.

Por el contrario hay situaciones geológicas incontestables, al menos sobre la base de los conocimientos actuales, que exigen explicaciones tan artificiosas que no convencen ni a los mismos que las emiten. Veamos un ejemplo tomado de las cadenas subpirenaicas: existe una extensa región subpirenaica que se extiende desde los confines de la provincia de Huesca con la de Lérida hasta muy adentro en la de Navarra. Su mejor exposición se encuentra en las sierras que se extienden desde el este del Cinca hasta más allá del Irati, por las sierras de Guara, Santo Domingo, Navascués y Leyre; pero las circunstancias que plantean la cuestión existen también en

más amplios ámbitos por el norte y también por el sur, bajo el recubrimiento oligoceno del Valle del Ebro, hasta límites aún mal conocidos. En toda esta extensísima región concurren una serie de hechos de dinámica externa e interna nada singulares de por sí, considerados aisladamente, pero que cuando se tratan de interpretar conjuntamente, como lo requiere el establecimiento de la historia geológica del país, dan lugar a una situación tan compleja que, para ser leída a la luz de las leyes actuales requiere varias peticiones de principio, cada una de ellas tan exigente de por sí que resulta difícilmente verosímil; no digamos la combinación de todas ellas.

En toda esa región, el Senonense, quizá el Turonense, se apoya directamente sobre el Triás, y casi siempre sobre una facies de Keuper, con omisión de todos los potentes e importantes tramos intermedios y, sin embargo, yace en aparente concordancia. Exigiría como explicación, de acuerdo con lo que se deduce, conoce y admite de la historia geológica de la región en que enclava, una elevación en masa de toda el área a finales de la época jurásica, porque todos los indicios apuntan a una sedimentación continua y homogénea de las formaciones jurásicas en este área, pero conservando una disposición prácticamente horizontal, lo que constituye una primera petición de principio.

El alzamiento por encima del nivel de las aguas impediría la sedimentación de los materiales cretáceos hasta los del Turonense superior o Senonense y tuvo que permitir la eliminación erosiva de los sedimentos jurásicos y liásicos. Pero el fenómeno tuvo que ser de tal índole y limpieza que tuvieron que ser eliminados con absoluta uniformidad, ya que no queda rastro de ellos, salvo en las márgenes, y este conjunto de exigencias constituye una segunda petición de principio.

Lo cierto es que desaparecieron una serie de niveles compactos o menos compactos de dolomías, calizas y margas, y el fenómeno erosivo se interrumpió precisamente cuando, desaparecidos estos materiales relativamente difíciles de arrastrar, empezaba a alcanzar la acción destructiva a los primeros niveles triásicos, tan blandos y deleznales o tan solubles, margas calíferas y yesos, de facilísima y rápida erosión, lo que evidentemente constituye una tercera petición de principio.

Luego todo ello hubo de hundirse suave y blandamente, y en disposición prácticamente horizontal, para que pudieran depositarse encima, en aparente concordancia, los sedimentos marinos del Cretáceo Superior, cuarta petición de principio. O sea, que para explicar a la luz del actualismo de

acuerdo con lo que se conoce, y se conoce bastante bien, con gran base documentaria, de la historia de esas cadenas y regiones limítrofes, son necesarias nada menos que cuatro peticiones de principio.

El hecho de que sean de la misma índole, puesto que implican todas ellas movimientos de alzamiento y de descenso, apenas hace el conjunto más aceptable, ya que los movimientos deberían ser tan finamente acompasados y graduados como para exigir una delicada orquestación, poco congruente con la índole de los mecanismos naturales.

Cada una de esas peticiones de principio es sumamente artificiosa y exigente de condiciones poco verosímiles y cualquiera de ellas sería capaz de invalidar, en un razonamiento de lógica exigente, la explicación; no digamos el conjunto de las cuatro. Y, sin embargo, nadie, que sepamos, ha propuesto una explicación más lógica. Esto nos pone de manifiesto alguna debilidad del principio actualista.

A veces es la escala de magnitud de determinados fenómenos lo que nos desconcierta, jamás observada en los fenómenos actuales de la misma índole, pero de ingente escala, lo que ocasiona un problema de incomprensión e interpretación de las causas.

Otra probable limitación de la teoría actualista reside en que aceptamos que la composición de los océanos y de la atmósfera se hayan mantenido constantes y uniformes a lo largo de los tiempos geológicos. Esta aceptación está implícita en todo el razonamiento geológico, de modo que ni siquiera nos fijamos en ella, la damos por sentada. Pero es muy probable, como señala McKelvey (V. E. McKelvey, 1963), que la historia geológica y los cambios seculares estén posiblemente relacionados con cambios unidireccionales evolutivos en la composición del océano y de la atmósfera, y que ello se refleje en la composición de las rocas sedimentarias.

Comprendida mediante estos ejemplos, la índole y limitaciones de este principio fundamental de la geología, vemos que su razonamiento básico es intuitivo, es decir (J. Maritain, 1962), que “nos elevamos a partir de los datos de los sentidos y de los hechos de la experiencia, que son la primera fuente de nuestro conocimiento y que pertenecen al orden de lo individual o de lo singular. La mente se mueve del plano de lo sensible al plano inteligible”. En pura teoría lógica, dice Maritain, que un razonamiento inductivo manifiesta la verdad de una proposición en tanto constituya una enunciación universal.

Pero de lo expuesto resulta que el principio del actualismo no podría

considerarse como auténticamente universal en razón de las limitaciones enunciadas, y de otras, sino que ha sido universalizado excesivamente a juicio de algunos.

Cueto y Rui-Díaz señaló algunos reparos a las teorías actualistas, pero cuida muy bien de acusar su valor como principio fundamental de la geología, ya que dice que “Sólo a falta de la enunciación de la teoría actualista por M. Lyell, a mitad del siglo XIX, se pudo comprender que se llegase a penetrar en el oscuro pasado de la Tierra sin utilizar la vía puramente especulativa”.

Recordemos de paso, con Cueto, que a la teoría actualista se oponía la catastrófica, preconizada por Cuvier y d'Orbigny, según la cual eran revoluciones de tipo catastrófico (de cuya verdadera índole y alcance no podríamos tener idea, puesto que no ocurren en la actualidad), las que mudaban de tiempo en tiempo la faz de la Tierra, imprimiéndole características diferentes al estado anterior, de todos los órdenes, incluso el biológico.

Las teorías catastróficas constituían una mezcla de geología, biología y teología (Simpson en “The Fabric of geology”, 1963, citando a Gillispie, 1951, y a Hooykaas, 1959), puesto que las ideas prevalentes del catastrofismo tenían dos principios de partida: 1. Intervención divina, de manera que la Historia Natural se compone de hechos naturales y supernaturales. 2. La historia de la Tierra es una sucesión de catástrofes de intervención divina.

Un comentarista reciente de las teorías actualistas ha sido L. Cayeux (L. Cayeux, 1941). Intenta subrayar algunas limitaciones de los principios actualistas señalando casos en que hay fenómenos del pasado que no se explican por los actuales, o como él expresa: “bien des causes anciennes n'ont pas leur equivalent parmi les causes actuelles”. Si nos fijamos más especialmente en este trabajo de Cayeux es porque se refiere a fenómenos de dinámica externa, a fenómenos sedimentarios, para los que parece que la ley actualista ofrezca las mínimas dudas y también por el eco que tuvo su publicación.

Parte de la idea de que hay dos materiales sedimentarios, además de gran interés práctico y comercial, los fosfatos de cal sedimentarios y los minerales de hierro oolítico, que no sólo no se conocen entre los sedimentos en formación actual, sino que hay razones decisivas para creer que no se puedan formar actualmente en grandes masas, tales como son conocidas en

el pasado, y que para su génesis fue precisa la concurrencia de una serie de fenómenos que son desconocidos en nuestros días.

Señalaremos que, de partida, esta argumentación tiene un punto débil. No ya en la época en que se escribió el trabajo, sino aun ahora, después de lo mucho que se ha trabajado en el estudio de la geología de los fondos marinos, es más lo que se ignora que lo que se sabe de ellos. La información que se posee es dispersa y fragmentaria y, ni en absoluto, ni estadísticamente, tiene valor probatorio.

No obstante tiene gran valor instructivo el estudio de Cayeux, por la calidad de su información y por el valor lógico y la claridad y método de sus razonamientos.

Por lo que se refiere a los fosfatos su argumentación se basa en que la creta fosfatada del Senonense de la cuenca de París está constituida como un depósito lentejónar de carácter detrítico, que muestra retrabajamiento de sus materiales y contiene elementos arrancados al muro, el cual, a su vez, muestra efectos inconfundibles de la acción de corrientes. Todo ello característico de depósito litoral, pero aparece completamente englobada en otras cretas muy finas de tipo sedimentario demostradamente pelágico. Además, no obstante las turbulencias manifiestas de la creta fosfatada, típica de sedimentación litoral, no contienen, en manera alguna, aportación de materia sedimentaria extraña, por lo que hay que excluir la posibilidad de cercanía a zonas emergidas. Por consiguiente, nos encontramos con la paradoja de un depósito detrítico contenido y envuelto, es decir, englobado por un medio pelágico, fenómeno no observado e inexplicable en los mares actuales, según Cayeux.

Extiende esta argumentación al caso de los fosfatos norteafricanos en que perturbaciones inexplicables provocan el cambio de régimen de los fondos submarinos en forma que resulta favorable a la formación de los granos de fosfato. Sólo que en vez de producirse el fenómeno una sola vez para un solo lecho, como ocurre en la mayor parte de la cuenca de París, se repite varias veces. Otra diferencia consiste en que en Marruecos hay cambios profundos en los aportes sedimentarios; pero, en el caso de la cuenca de París, los lechos fosfatados presentan un carácter mucho más detrítico, e igualmente sin que hayan cambiado las relaciones de posición con respecto a la tierra firme. Por consiguiente, la causa de la formación ha residido, en ambos casos, en rupturas de equilibrio que han creado en plena mar condiciones

ambientales que por sus caracteres físicos simulan, y aparentan, la vecindad de una costa inexistente.

Sólo en detalles difiere la argumentación que emplea Cayeux para explicar la constitución de los hierros oolíticos. Con sus propias palabras "... la sedimentación que engendró los minerales de hierro oolítico es la típica de cuencas en vías de alzamiento, profundamente alteradas por rupturas de equilibrio y sometidas al influjo de corrientes, que juegan el papel de transporte y erosión submarina...". También es característica, en el caso de los hierros oolíticos (no obstante que la estratigrafía denota la proximidad de costas y de que abundan las características de intensas acciones mecánicas), la falta de aportaciones detríticas procedentes de la tierra firme, de manera que todos sus materiales han sido suministrados por la formación misma o por las formaciones en que enclavan. Incluso la metamorfosis que experimentan los minerales de hierro oolíticos y que no intervienen en el caso de la génesis del fosfato se desarrolla por completo dentro del ámbito y época constitutivos del yacimiento.

La tesis de Cayeux puede resumirse diciendo que hay transformaciones profundas en la naturaleza de los sedimentos marinos, debidas a rupturas de equilibrio causadas en general por elevaciones del fondo o por corrientes submarinas, incluso ascendentes, pero que no arrastran consigo aportes de material procedentes de tierra firme.

Otra consecuencia que deduce es que el ritmo de lapidificación de los sedimentos marinos antiguos era muy rápido y guardaba el paso con el de la sedimentación misma.

Todas las observaciones de Cayeux representan un espíritu extremadamente sagaz, de gran capacidad inductiva, basada en una inteligente selección de los elementos de observación, y es admirable el sistema y encadenamiento de los razonamientos, así como el orden de su exposición.

En lo que concretamente se refiere a nuestro objeto, Cayeux trata de demostrar, de diversas maneras, que hay fenómenos geológicos del pasado de formación o transformación de sedimentos en los fondos marinos que son inexplicables, y quedan inexplicados, por el examen de los fenómenos actuales y que algunos se han verificado a ritmos distintos.

Es cierto que Cayeux no ataca por su base la ley del actualismo, sino que únicamente señala algunas limitaciones. Pero aun esto parece poco justificado, porque, como decíamos antes, una gran parte de los fondos marinos es desconocida.

Aunque ya Heim (A. Heim, 1908) había señalado la trascendencia y consecuencias litológico-tectónicas de los deslizamientos subacuáticos de sedimentos escasamente consolidados, sólo mucho más tarde se han conocido a fondo las características e importancia de tales fenómenos. Los más recientes estudios de los fondos marinos han puesto y siguen poniendo de manifiesto fenómenos actuales, entonces poco conocidos, tales como oscilaciones profundas de los senos marinos, verdaderos oleajes submarinos, que apenas tienen reflejo, o que no se reflejan en la superficie, así como la existencia de insospechadas corrientes submarinas profundas. Son, más o menos, los fenómenos que sagazmente intuyó o dedujo Cayeux para formaciones antiguas y negó para las actuales, todavía incompletamente conocidas.

De modo que este inteligente geólogo supo adivinar o intuir fenómenos entonces no conocidos, contribuyendo de manera inconsciente a valorar en alto grado los métodos geológicos. Se equivocó al suponer que con ellos atacaba, o al menos limitaba, los alcances de los principios actualistas. En realidad los predecía y confirmaba.

Nos parece, por lo que se refiere a los fenómenos de la dinámica externa, que no se podrá ni aceptar ni refutar fundamentalmente la ley de causas actuales hasta que se domine a la perfección el conocimiento de aquéllos, y estamos aún muy lejos de ello, sobre todo en lo referente a los fenómenos geológicos que tienen lugar en los fondos marinos, tan desconocidos todavía.

Son muchos los intentos que se han hecho de evaluación de ritmos de los fenómenos geológicos en tiempos pasados y todos sus resultados tienen relación con los principios actualistas.

Gilluly (J. Gilluly, 1964) calcula el volumen de sedimentos triásicos, y más jóvenes, acumulados en la costa oriental de Estados Unidos entre la bahía de Chesapeake y Nova Scotia, sobre la base de los mapas de isopacas de la costa, de la plataforma costera y del declive continental. Luego calcula o estima, según los casos, cuál era el área alimentadora de esta zona y evalúa cuál hubiera sido el volumen de materiales aportado a ella desde los tiempos triásicos, si la velocidad de erosión hubiera sido la misma que la actual. Compara ambos volúmenes y llega a la conclusión de que la velocidad de erosión, a lo largo de esos tiempos, debió ser como promedio  $3/4$  de la actual o quizá igual a la actual.

El estudio de los mapas de isopacas denota una constitución especial de

los senos sedimentarios, separados en dos fajas por una cresta media más o menos paralela a la costa.

Llega a la conclusión de que la plataforma continental se constituyó en parte por el hundimiento isostático de la faja submarina costera bajo el peso de la carga sedimentaria acumulada por las corrientes fluviales. Pero la presencia de la cresta media indica que el mecanismo isostático no fue por sí mismo suficiente para la constitución de la flexura descendente, ni pudo serlo, porque los materiales sedimentarios acumulados tienen una densidad de menos de  $2/3$  que el material subcortical desplazado. Las cuencas interiores han tenido que hundirse mediante otro mecanismo distinto que el descenso isostático, ya que el fondo del mar se alza sensiblemente a la misma altura sobre las depresiones exteriores que sobre la cresta media.

Esta depresión diferencial exige un adelgazamiento de la corteza, y Gilluly piensa que esté originado por erosión subcortical causada por corrientes situadas bajo la discontinuidad de Mohorovicic. La cresta media, por consiguiente, debió tener su origen en las inestabilidades producidas por tales corrientes, y no en plegamientos, que exigen arrastre y fricción.

El razonamiento de Gilluly no sólo nos da una medida comprobante de los principios actualistas, sino que nos liga los fenómenos de dinámica externa con los de dinámica interna.

Las cifras calculadas o estimadas por Gilluly de valores de fenómenos geológicos de dinámica externa tienen interés, no sólo por su reflejo en la teoría actualista, sino también por su valor informativo general.

Veamos ahora algunos valores numéricos en que cristalizan esos razonamientos:

Para el desgaste medio del relieve de la zona de alimentación rechaza por excesivo el valor promedio calculado por Dole y Stabler de 0,0002 pulgadas año (B. B. Dole y M. Stabler, 1909) y calcula que es de 0,000.005 de pulgada año referido al río San Lorenzo, si bien señala que la intercalación de los Grandes Lagos, con su sedimentación intermedia, constituye un elemento de confusión.

Por lo que se refiere a la proporción general entre la carga transportada por arrastre y la que llevan en suspensión las corrientes de agua cita los valores de Corbel (J. Corbel, 1959), cuyos estudios de diversos cursos fluviales arrojan valores oscilantes entre 2 y 300 por 100 y, si se eliminan los ambientes alpinos, el arrastre constituye el 5-15 por 100 de la suspensión.

Gilluly acepta, para su problema, una proporción arrastre-suspensión de

10 por 100, que equivaldría a una denudación o rebaje medio del relieve de 0,000.02 pulgadas año. La carga transportada en disolución corresponde a un desgaste de 0,000.68 pulgadas año para el conjunto de ríos nordatlánticos y de 0,000.6 para el San Lorenzo, y acepta un valor promedio de 0,000.64 pulgadas año.

En conjunto la erosión que resulta de la aplicación de los coeficientes parciales es de 0,000.86 pulgadas año.

La denudación ocurrida para los materiales arrastrados desde el triásico sería de 390.000 millas cúbicas para una densidad de material 2.65, pero dado que el material actual, más poroso, tiene menor densidad, el volumen se estima en 450.000 millas cúbicas.

El volumen calculado mediante las isopacas de sedimentación es de 280.000 millas cúbicas de modo que la velocidad de erosión media desde los tiempos triásicos debió ser menor que la actual en un 62 por 100, es decir, de 0,000136 de pulgada año. Estima Gilluly que sus cálculos han sido excesivamente conservadores y que la velocidad de erosión debió ser muy parecida a la actual.

Aceptados los coeficientes consignados pasa a calcular la profundidad de erosión subaérea, que resulta de 16.300 pies o casi 3,1 millas en 225 millones de años, cifra calculada meramente sobre el volumen de sedimentos producidos.

Chamberlin (R. T. Chamberlin, 1910), mediante el volumen calculado por reconstrucción de cortes geológicos, llegó a establecer una denudación promedio de 3 millas para un periodo geológico parecido, con gran coincidencia con el cálculo de Gilluly.

Si se combina esta información con la mucho más precisa que resulta del estudio del Golfo de Méjico, tan conocido por infinidad de sondeos petroleros, se llega a la noción de que las actuales velocidades de erosión no solamente no son 10 veces mayores que los promedios de los tiempos geológicos pasados según calculan Barrell (J. Barrell, 1918) y Kuenen (P. M. Kuenen, 1950), sino que no son, según Gilluly, ni siquiera doble de la actual, que es el valor más conservador de entre los enunciados por Kuenen (P. M. Kuenen, 1946).

Estas consideraciones de Gilluly no sólo nos dan una medida de los valores actuales en relación con los antiguos, sino también una idea de los métodos aplicados en éste y en otros casos.

Podríamos prodigar las citas y los comentarios casi al infinito, pues el principio actualista es de lo más discutido en geología.

Nos llevaría tal análisis a una solución de compromiso, pero mucho más cercana al principio actualista que al catastrófico, según el cual la historia de la Tierra se compone de una serie de ciclos, de fenómenos lentos, evolucionarios, que degeneran de tiempo en tiempo en unas épocas de actividad de las energías dinámicas internas y, como consecuencia, también de las externas. Estas etapas, mucho más cortas comparativamente hablando, son lo más parecido a alguno de los aspectos de las "revoluciones" o "catástrofes" de Cuvier y de d'Orbigny.

Aunque esta idea, considerada las circunstancias, fluye de por sí, ha sido Stille (H. Stille, 1924, 1940, 1944 y 1949) uno de los geólogos que más ha contribuido a darle expresión y formulación concretas. Pero exageró los conceptos de la definición de la coetaneidad y de la universalidad de los procesos acelerados (fases orogénicas) respecto a los procesos evolucionarios (fases geosinclinales) en tal manera, que pronto suscitó oposición y controversias (J. Gilluly, 1949; *Struktur und Zeit*, 1950), dando pie a la publicación de algunos trabajos que defienden la teoría evolucionaria a ultranza (E. M. Spieker, 1957).

Aun aceptando la teoría de Stille en todo su alcance no dejamos de apoyarnos en un concepto actualista, aunque limitado, puesto que más bien que la índole es el ritmo de las formaciones geológicas lo que experimenta variación en determinadas épocas, que Stille cree simultáneas y válidas para todo el globo, lo que daría al concepto una universalidad de ley, que evidentemente no tiene, puesto que la coetaneidad no afecta un valor estricto, sino meramente estadístico de los puntos o momentos álgidos.

Debemos subrayar el hecho de que tales momentos álgidos tienen su origen en la dinámica interna. La dinámica externa es más constante e inmutable. Por consiguiente, los principios actualistas podrán considerarse más universalmente válidos si se aplican a los fenómenos de la dinámica externa y en menor grado aplicados a la dinámica interna.

Propone entonces Simpson (G. C. Simpson, 1963) que se considere válida la ley del actualismo para lo inmanente, pero no para lo contingente o figurativo, y para prevenir a aquellos que consideren que esto es una verdad de Pero Grullo señala el ejemplo de la gravedad. La gravitación es un fenómeno inmanente, pero nadie puede demostrar que su valor no haya cambiado a lo largo de los tiempos.

Diremos, resumiendo, que no se puede mantener el principio del uniformismo o actualismo a ultranza, según el cual “los procesos que actuaron en la Tierra en el pasado son los mismos que actúan en el presente a la misma escala y al mismo ritmo”. Coincido con Simpson y con otros muchos geólogos en que esta expresión es una deformación irreal y exagerada. Es cierto que los fenómenos que conocemos del presente han actuado en la misma forma que en el pasado y de ello tenemos infinitas pruebas. Pero han podido variar las escalas, los ritmos o las combinaciones de los fenómenos actuantes. Y tampoco hay que excluir la posibilidad de que hayan tenido lugar en el pasado fenómenos que no ocurren en el presente, y el principio que admite esta posibilidad se reconoce con el nombre de “excepcionalismo” (E. Raguin, 1951). Es cierto que por el presente, y sólo por el presente, podemos conocer el pasado; pero quizá no nos dé las claves de todos sus enigmas.

## EXAMEN DEL CARACTER HISTORICO DE LA GEOLOGIA Y DE SUS IMPLICACIONES

Hay dos circunstancias que marcan indeleblemente el carácter histórico de la geología. Por un lado el rastreo, en el pasado, de los fenómenos que hubieron de intervenir para que quedaran impresas las características que observamos actualmente en las rocas de cualquier edad. Por otro lado, la reconstitución de la historia de la Tierra, fijando la época, en el tiempo, y el orden de sucesiones correlativas de fenómenos y estados de la corteza desde el momento de su creación hasta alcanzar su conformación actual.

Señalaremos de paso que nos encontramos los geólogos con una anfibología incómoda cuando empleamos la voz histórica aplicada a la geología, ya que tanto se emplea para designar la historia del pasado geológico como la reseña histórica de la evolución de las ideas geológicas o auténtica historia de la ciencia geológica.

No podemos perder de vista, además, que de todas las variadas ramas y especialidades de la geología la que expresa más netamente su carácter histórico es también la que alcanza más noble y elevada categoría, la paleogeología, es decir, la reconstitución de la faz de la Tierra en cada momento de su larga, variada y complicada historia, porque es la que exige más amplio y general caudal de conocimientos geológicos.

Señalaremos de paso que ese carácter histórico parece marcar los límites naturales de la ciencia geológica. Puesto que por razones de limitación de capacidad de observación la geología se ve constreñida sobre todo al estudio de la corteza terrestre, su límite histórico más remoto parece natural que se fije en la formación de la primera corteza de consolidación por enfriamiento. Lo que ocurrió antes, como lo que ocurre en las zonas más profundas, corresponde ya a los campos naturales de la astronomía y de la geofísica del globo terráqueo. El otro extremo es más confuso, y el campo de la geología se superpone en él al de la historia, en el terreno de la prehistoria.

Sin embargo, los contactos de la geología con la astronomía y con la geofísica son constantes, ya que los fenómenos de dinámica interna dependen de causas geofísicas, y éstas probablemente tienen una profunda causalidad astronómica, como la tienen también algunos fenómenos importantes de geodinámica interna.

Su carácter fundamental de ciencia histórica impone a la geología unas determinadas técnicas y también unas determinadas limitaciones.

Entre las más importantes limitaciones tenemos el hecho del encadenamiento infinito de circunstancias, ya que las causas finales de cada disposición actual de materiales de la corteza terrestre, en cada localidad, en cada área, en cada región, cualquiera que sea la escala a que se considere, son la suma y consecuencia final, hasta el momento actual, de una larguísima serie o cadena de acontecimientos que se remontan hasta el origen mismo de la corteza.

Como decía en otra ocasión (Ríos, 1960), “de la misma manera que cada uno de nosotros llevamos en nuestro soma algo de la personalidad fisiológica, y aun psíquica, de la innumerable cadena de antecesores, cada situación geológica, sea roca, formación o conjunto, lleva indeleble la huella de los acontecimientos geológicos vividos”. De modo que su lectura correcta y completa es muy difícil y tanto más cuanto más vieja sea la roca o situación geológica que se estudia.

Para Goguel (J. Goguel, 1951), uno de los hechos diferenciales en la parte informativa y observativa de la geología, no ya con respecto a otras ciencias físicas, sino incluso con las biológicas, es la continuidad de los fenómenos, que impide su delimitación y clasificación; como, por ejemplo, ocurre con la especie biológica; y en lo referente a la parte especulativa, en la clasificación de los hechos para la inducción de leyes, afirma que el verdadero método geológico es esencialmente un método histórico, y lo que le

diferencia fundamentalmente de los de las ciencias físicas y químicas, que son sus herramientas frecuentes e inevitables, es el desinterés de éstas por el pasado.

Las rocas constituyen los documentos de que se nutre la geología como ciencia histórica, pero son documentos muchas veces maltrechos por el metamorfismo, por la acción de las fuerzas tectónicas y de los agentes atmosféricos. Son documentos registrados en la piedra viva, pero que han experimentado con frecuencia muchas fases y vicisitudes violentas y adversas a su conservación. Cada una de ellas ha borrado o destruido algo de lo existente anteriormente y ha añadido algo nuevo. El geólogo debe saber recomponer y restaurar los efectos de estos fenómenos que han alterado sus características primarias averiguando las causas y situando los fenómenos en el tiempo, y utiliza para ello criterios del actualismo geológico: todo ocurrió en el pasado como observamos en el presente.

Afirmado este carácter histórico de la geología veamos cuál es su esencia.

Simpson (G. C. Simpson, 1963) subraya la diferencia entre lo inmanente en el universo material, es decir, las propiedades invariables de la materia y de la energía, así como los principios y procesos que son consecuencia de esas propiedades y son igualmente invariables, y lo contingente o mudable, constantemente variable, que Simpson prefiere llamar configurativo.

Para Simpson, el objeto de la ciencia natural (en su más amplia acepción) es la exploración del universo material en busca de relaciones naturales y ordenadas entre los fenómenos observados, y ha de ser susceptible de encontrar su propia comprobación. Es decir, la ciencia natural se ocupa de relaciones entre lo inmanente.

Por el contrario, una ciencia histórica tiene por objeto la determinación de secuencias configurativas (contingentes), su explicación y la comprobación, desde fuera, de tales secuencias y explicaciones.

Puesto que la geología se asienta en los dos grupos, ya que forma parte de las ciencias naturales y es fundamentalmente una ciencia histórica, debe contarse entre las más diversas de todas las ciencias. Por un lado estudia fenómenos inmanentes, no históricos, con aspectos puramente físicos, químicos y mecánicos aplicados al complejo objeto Tierra.

Cree Simpson, por consiguiente, que tiene carácter histórico todo lo que no se repite de idéntica forma, porque las circunstancias que exigen o acompañan al fenómeno no se reproducen nunca exactamente en la misma forma.

Los fenómenos físicos y químicos se estudian con condicionamiento o aislamiento de las circunstancias externas, de donde resulta una facilidad de definición y una posibilidad de formulación; son fenómenos y experimentos contenidos en sí mismos mientras que los fenómenos geológicos están siempre influenciados por circunstancias externas múltiples y complejísimas, y no son aislables, ni del ambiente actual ni de sus precedentes en el tiempo, lo que les impone un carácter especial y eminentemente histórico, ya que estas circunstancias varían constantemente. Según Simpson el físico elimina todo lo que no es inmanente, prescindiendo de lo histórico y configurativo y propone como ejemplo la teoría del péndulo, en que se busca una ley aplicable a todos los péndulos y, en objeto final, a toda la materia, independientemente del espacio y de la época. El geólogo (y el paleontólogo) están igualmente interesados en generalizar las propiedades comunes y relaciones que sus generalizaciones se hacen sobre las propiedades configurativas, no sobre las inmanentes, y por consiguiente se ve apresado por el concepto de ciencia histórica, o como dice Simpson de otro modo: las propiedades de los objetos geológicos (y paleontológicos) no dependen solamente de sus características inmanentes, sino también de las configurativas, como creaciones que son de procesos históricos.

Concurro, con Simpson, en que en cuanto se desposee a un fenómeno geológico de su carácter histórico se le descompone en fenómenos físicos o químicos, y pierde en gran o en total medida su carácter geológico. Se le desgeologiza, si se me permite el empleo de este barbarismo.

Y, siguiendo de nuevo a Simpson, a las ciencias no históricas les concierne más el “cómo” que el “por qué”. El primer paso del “cómo” de las ciencias no históricas es una descripción generalizada, y cuando consiguen llegar a la máxima perfección de expresión ésta plasma en leyes que manifiestan relaciones invariables entre variables.

Los cultivadores de las ciencias históricas no sólo se proponen el “cómo”, sino además el “por qué”, y entonces se añade en el razonamiento lo contingente o configurativo a lo inmanente.

Señala Simpson que en las ciencias biológicas juega un papel importante, además, el “para qué” (¿para qué son las alas de las aves?), que no tiene sentido en las ciencias físicas y químicas, ni en el aspecto puramente geológico de la geología.

La ligazón última entre los principios actualistas y la índole histórica de la ciencia geológica resulta patente de los esquemas que acabamos de

exponer, pero ha sido muy bien subrayada por Brunn (J. M. Brunn, 1963), quien dice que para alcanzar los objetos que se propone la geología se parte de observaciones fragmentarias sobre la naturaleza actual, se coordinan esas observaciones para reconstituir una historia del pasado y volver de nuevo a una interpretación global y racional de la organización actual en el espacio, de los materiales terráqueos, y añade que hay en este método histórico algo muy notable e importante, ya que constituye un verdadero descubrimiento que la historia de las ciencias, y más generalmente el desarrollo del pensamiento moderno, deben a la geología.

## **REPASO DE OTROS PRINCIPIOS Y OTRAS LIMITACIONES DE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS. LA OBSERVACION. CONCEPTO DE FACIES**

Por lo expuesto llegamos a la evidencia de que la fuente fundamental de conocimientos es la observación de los fenómenos actuales y su mecanismo esencial la inducción, en un proceso de reconstitución histórica del pasado, según los principios del actualismo geológico.

La geología nació de la observación (J. M. Ríos, 1960) y precisamente de las observaciones obtenidas en la práctica de la minería, así como del caudal recogido por los mineralogos y petrólogos de primera época, es decir, por los geognostas.

La geología se nutre exclusivamente de la observación, en el sentido de que todos los resultados geológicos no son más que síntesis de observaciones, completadas por extrapolación. Las teorías no son más que hipótesis resultantes de una extrapolación mental por inducción extraída de la síntesis de observaciones. Nada de lo que se expresa en geología puede ir en contra de los hechos de observación, y los fallos de las teorías resultan de la colisión de sus contenidos con datos de observación desconocidos por sus enunciadores, o de la observación posterior de situaciones inéditas que resultan en contradicción de las teorías. Dice Simpson (G. C. Simpson, 1963), "El presente no sólo es una clave del pasado, sino la única de que disponemos".

Como dije entonces, en geología la observación es reina. Nada puede ir en contra de lo observado ni hay interpretación o principio que puede omitir o contradecir lo conocido por la observación. Hasta tal punto que el lema

de esta ciencia podía ser: “todo mediante la observación, nada en contra de lo observado”.

Mientras que las leyes físicas, químicas y mecánicas derivan sus leyes, en gran medida, de la experimentación, este método tiene escasa aplicación en geología, y las razones las explicaremos más adelante.

Así es que un geólogo en el terreno, enfrentado con una situación geológica, necesita saber, observar y estimar toda clase de matices. Debe saber definir la disposición absoluta y relativa de las rocas en el espacio, y fijarla por medio de medidas. Reconocer la clase de roca, por su composición, textura, color, dureza, etc. Distinguir la estructura del paquete, índole y grosor de la estratificación, calidad del afloramiento, y si forma o no parte de un conjunto de orden mayor. Debe saber reconocer su contenido fósil y, finalmente, apreciar la edad con la máxima exactitud que le sea posible.

Porque de todo ello, y aplicando consciente o subconscientemente el método histórico, mediante el juego del principio del actualismo, tratará de definir la “facies” de la roca o conjunto de características que permite inferir, a partir de las circunstancias actuales de la roca, la máxima información acerca de las condiciones en que se formó, de dónde procedían sus materiales, qué clase de rocas constituían esas áreas de alimentación, así como su disposición y su relieve, cómo y dónde se depositaban y tratará de obtener la imagen más completa posible acerca de los ambientes climáticos, geográficos y geológicos entonces existentes.

Este concepto de facies es fundamental en geología, tanto en la teoría como en la práctica, y es de índole netamente histórica.

Si la definición de las facies es cosa complicada en el caso de las rocas dotadas solamente de características primarias, es decir, impresas en su origen o creación, mucho más lo es en el caso de las rocas que han sufrido después transformaciones trascendentales, introductoras de características secundarias, o añadidas, que se han superpuesto a las primarias. Entonces es preciso saber separar cuáles son las características primarias, aislarlas de las superpuestas y reconstituir las circunstancias del remoto pasado en que se formaron; y considerar, por otra parte, las características secundarias o superpuestas y, por su análisis e interpretación, reconstituir los procesos que las originaron, las circunstancias ambientales en que tuvieron lugar y la época o épocas en que se engendraron.

Así resulta que el concepto de facies, tan dependiente de la observación, fuente principal de la geología, es la herramienta fundamental de carácter

eminentemente histórico, porque permite al geólogo remontarse al pasado.

Véase cuan íntimamente enlazados están unos con otros todos los principios geológicos, que no constituyen, como en otras ciencias, ramas independientes que enlazan sobre todo en el tronco, y que sólo ocasionalmente se cruzan, sino que en geología todos los principios están inextricablemente unidos e íntimamente entrelazados. Constituyen una trama, no un esquema.

Pero la capacidad de observación está afectada de muchas limitaciones (J. M. Ríos, 1962).

Estas limitaciones, que se ofrecen como obstáculo a las fuentes del conocimiento geológico, son de dos tipos:

1. Naturales, constituidas por obstáculos que la naturaleza opone a la observación.
2. Circunstanciales, constituidas por la calidad de las circunstancias variables bajo las cuales nos sea posible practicar la observación.

Son naturales, o de fundamento (y no mencionaré más que algunas que nos den el concepto de la idea), por ejemplo, la falta de continuidad de los afloramientos, o su escasez o su ausencia total; abundancia, escasez o falta total de fósiles; inaccesibilidad o impracticabilidad de algunas zonas de observación, tales como montañas escarpadas, interior de los volcanes en erupción, fondos marinos, que constituyen tan importante parte de la corteza terrestre y de los que se conoce tan poco, etc.

Son circunstanciales, o de ocasión, la diferente susceptibilidad de observación, cambiante con las estaciones del año, con la hora del día, con la iluminación, con el sentido de la marcha. (Véase una ampliación de estos conceptos en J. M. Ríos, 1960.)

## EL CONCEPTO DE TIEMPO EN GEOLOGIA. MULTIPLE ASPECTO. LIMITACIONES QUE OCASIONA

La importancia del concepto de tiempo, en geología, ha constituido un motivo temático tan insistente en nuestras anteriores consideraciones que no es preciso volver sobre ese punto. Pero sí debemos examinar las diversas facetas de su intervención en el proceso geológico, así como la cuestión de su escala y las limitaciones que supone.

El factor tiempo interviene en el proceso geológico bajo dos facetas, como factor absoluto o mecánico y como factor relativo, de sucesión y cronología.

Señala Brunn (J. H. Brunn, 1963) que es la geología la que ha introducido la noción del tiempo, a escala sobrehumana, en el campo de las ciencias, como lo habían hecho los astrónomos para la noción sobrehumana del espacio, al calcular las distancias interestelares.

Esta colosal escala de tiempos es uno de los principales obstáculos para la comprensión y, aún más, para la formulación de los procesos geológicos.

Los tiempos geológicos son inmensamente largos, con un concepto y una escala profundamente distintos del concepto humano del tiempo.

La medida humana del tiempo no cuenta en geología. Sólo fenómenos efímeros y poco trascendentes como son una erupción volcánica, el desarrollo y efectos de un terremoto, el desprendimiento de rocas, el desplome de una cornisa costera, etc., son observables en su totalidad desde su génesis aparente hasta su conclusión. De otros fenómenos no vemos más que episodios más o menos efímeros, pero que nos bastan para comprender la totalidad de su proceso. La sedimentación, por ejemplo, es un fenómeno lentísimo, hacen falta muchos miles de años para conseguir que se forme un débil espesor de sedimento y muchísimos más para que se consolide como una roca firme. Pero basta la observación que puede practicar un geólogo y muchísimo más las observaciones acumuladas por generaciones de geólogos para comprender el fenómeno, y así ocurre con la mayor parte de los fenómenos de dinámica externa, algunos de los cuales se desarrollan, en todo caso, a la escala humana de tiempos.

Pero los fenómenos de dinámica interna, sobre ser inobservable su génesis, que tiene lugar en regiones profundas de la corteza, se desarrollan a la escala sobrehumana de tiempos, que rebasa amplísimamente, incluso para los actos tectónicos, los cuales son tan rápidos para la medida geológica del tiempo (relativamente hablando) que son considerados por algunos como catastróficos o casi catastróficos, o al menos como revoluciones, como fenómenos opuestos a las evoluciones.

Por lo que se refiere a sus efectos mecánicos, las escalas de los tiempos geológicos introducen un difícil factor que sólo en los últimos tiempos llega a comprenderse e incluso busca una formulación.

Nos dice la física moderna que el concepto de rigidez es una función del tiempo. No hay material absolutamente rígido si se le da el tiempo necesario para lograr su deformación, incluso sometido a fuerzas proporcio-

nalmente pequeñas, por ejemplo su propio peso. La deformabilidad es, por consiguiente, función de la duración del esfuerzo o, dicho de otro modo, de la velocidad de aplicación de las fuerzas (S. W. Carey, 1953).

Pero como en geología los periodos de tiempo son inmensos comparados con los de la técnica humana, factor al que se acumula el de la escala misma de dimensiones de las fuerzas, el concepto de rigidez resulta muy difícil de evaluar si se ha de deducir por comparación con el que se aplica en las técnicas o experimentos humanos.

Sin embargo, aun dentro del concepto geológico, se sigue conservando la escala de categorías, así es que en geología, como en la técnica, cabe hablar de materiales rígidos, menos rígidos, plásticos y fluidos. Se sabe que materiales que en la actualidad se comportan en sus actuales posiciones superficiales como extremadamente rígidos, se deformaron plásticamente cuando quedaron sometidos en profundidad a los esfuerzos deformantes, quizá por efecto de la velocidad de aplicación de las fuerzas, quizá por el efecto acumulado de la temperatura (S. W. Carey, 1953). Hay casos en que los estudios microscópicos permiten separar ambos efectos, pero no siempre se llega a conclusiones claras.

En cuanto al tiempo, como factor histórico o cronológico, su función es tan clara que apenas necesita explicación.

Se trata de colocar los acontecimientos en la escala de los tiempos geológicos. El método ideal es el de tiempos absolutos, que se consigue parcialmente por los métodos radiactivos, perfectos en teoría, pero sujetos a muchas limitaciones.

El método habitual y clásico, que coincide con el propio origen de la geología, es el de datación relativa, según los criterios de superposición o antecendencia puros, o más generalmente ligados al concepto histórico, paralelo de la evolución biológica, mediante el empleo de los fósiles, también sujeto a limitaciones de índole o de circunstancia (H. D. Hedberg, 1961, y J. M. Ríos, 1962).

## OTROS CONCEPTOS FISICOS. ESPACIO. PRESIONES. TEMPERATURAS. LIMITACIONES QUE OCASIONAN

Muchos de los dolores de cabeza que aquejan a los geólogos residen en la magnitud de las escalas de los factores físicos que han de manejar, y que son causa de parte de su complejo de inferioridad.

Nos referimos al alcance difícilmente imaginable de los valores de temperatura y presiones, sobre todo presiones, que intervienen en los fenómenos geológicos, y a la manera y efectos de su combinación.

Cierto es que la energía atómica ha puesto en manos del hombre la posibilidad de alcanzar valores muy elevados, probablemente muy próximos, posiblemente con exceso, de los que juegan en los fenómenos de la corteza superficial, pero sobre todo en las regiones profundas.

Pero cuando se aplica en experimentos geológicos, tales como explosiones subterráneas, nos encontramos con que no hay paridad en la escala de aplicación, ya que el desarrollo de estos últimos valores en la actividad humana se concentra en superficies muy reducidas y afecta a volúmenes muy pequeños, mientras que en la corteza terrestre cualquier fenómeno geológico trascendente atañe a volúmenes infinitamente mayores, y también son sumamente dispares las velocidades de aplicación de las fuerzas y temperaturas, instantáneas en el caso de las experimentaciones nucleares y lentísimas en los casos naturales.

De modo que ni siquiera las explosiones atómicas subterráneas, que tratan de reproducir algunos fenómenos naturales en que intervienen altos valores de presiones y temperaturas, tienen valor de ejemplaridad por muy interesantes e instructivos que sean sus resultados. Su valor es meramente indicativo. Pero la experimentación en geología es una materia muy discutida y que merece que se le dedique atención aparte.

Hay problemas físicos y químicos, con juegos de presiones y temperaturas, que pertenecen al campo especial de la petrología, ciencia muy afín a la geología, pero que, como hija en mayoría de edad, tiene autonomía y debe dilucidar sus propios problemas.

A escalas de espacios de superior categoría el geólogo se enfrenta con la imposibilidad no ya de cifrar, o medir, los esfuerzos en juego, sino de ubicarlos y juzgar sus intervenciones.

Observa y mide sus consecuencias, puede analizarlas y obtener inducciones, pero no puede llegar más que a muy esquemáticas conclusiones, que

por lo general se limitan a apreciar las direcciones de los empujes, o resultantes de los campos de fuerzas.

El problema es algo menor con las temperaturas, ya que ni el concepto es tan difícil de manejar ni de expresar, ni las cifras se alejan tanto de las que manejan las técnicas, sobre todo las modernas.

Pero el problema resulta muy complicado si se tiene en cuenta que en casi todos los fenómenos geológicos ambos factores actúan y crecen conjuntamente, y los efectos del crecimiento de uno de ellos ejerce influencia sobre los resultados de la actuación del otro. Todo ello, por ahora, completamente fuera del campo experimental en que se deducen los coeficientes y fórmulas que se manejan en las técnicas físicas.

A las interacciones de estas dos variables, inasequibles a las escalas geológicas, se une la del tiempo, que interviene como dijimos antes al variar las propiedades mecánicas de resistencia de los materiales con la variación de las velocidades de aplicación de las fuerzas, y la del espacio, ya que actúa todo ello sobre volúmenes ingentes de roca que escapan a toda posibilidad imaginable de extrapolación de los resultados de la experimentación.

Como ejemplo de problema de escala en cuestión de espacios hemos dado en otro lugar (J. M. Ríos, 1960) el hecho de que en geología petrográfica, sobre todo ígnea, se halla el pasar de la escala natural del petrólogo, la de una preparación microscópica, a la del geólogo, por ejemplo las dimensiones de un batolito, es decir extrapolar del estudio de preparaciones de rocas de  $2,5 \times 2,5$  cm. escasos, a cientos de kilómetros cuadrados de superficie y miles de kilómetros cúbicos de roca. Por mucho que se multiplique la extracción de muestras persiste una inadecuación básica de escalas, una falta de proporcionalidad fundamental.

Esta falta de proporcionalidad de escala entre lo técnico y experimental por un lado, y lo natural por otro, constituye una limitación natural o intrínseca, de las ciencias geológicas, tanto para su formulación principal y matemática como experimental. Es cierto que, como decíamos antes, el desarrollo de las técnicas nucleares va a permitir, o está permitiendo ya, el manejo de mucho más altas presiones y temperaturas que las que hasta ahora habían contribuido en los experimentos al establecimiento de los parámetros y coeficientes físicos, de modo que se reduce al inmenso hueco que quedaba entre lo experimental y lo real. Será preciso esperar algún tiempo para ver qué frutos aportan esos nuevos conocimientos, que pueden ser grandes, e incluso definitivos, si además consiguen salvar de alguna ma-

nera la enorme diferencia existente entre las masas y volúmenes de los objetos experimentales y reales, y la barrera de las diferencias entre las velocidades de aplicación.

También está recibiendo ya ayuda la geología de la moderna técnica de cálculo automático, y se espera que la reciba mucho mayor en lo futuro. Su papel se ve inmediato en la tabulación, memorización y capacidad casi instantánea de comparación entre los infinitos datos informativos de la observación. Tiene sus limitaciones, que por otra parte no son distintas de las que resultan de su aplicación o problemas parecidos no geológicos, y la principal reside en la falta de elemento subjetivo de estima y apreciación, es decir, en su cualificación.

Y también es grande su promesa en la capacidad que tiene de manejar y resolver problemas de muchas variables, actuando simultáneamente. Es el caso corriente en geología, y esta pluralidad de variantes constituye una de las limitaciones más serias que se oponen al progreso de las ciencias geológicas hacia la expresión exacta y cuantitativa.

Pero de ambos conceptos nos ocuparemos con más detalle en otra parte de este discurso.

### **CONCEPTOS FUNDAMENTALES PROPIOS DE LA GEOLOGIA, ISOSTASIA. GEOSINCLINAL. OROGENESIS. DERIVAS CONTINENTALES, ETC.**

Hay otra serie de conceptos en geología, que, como los principios ya examinados, constituyen piezas clave del pensamiento y del mecanismo geológico, tanto en la teoría como en la práctica. Son las ideas de geosinclinal, isostasia y orogénesis, todas ellas íntimamente ligadas entre sí y, como colateral, la de las derivas de los continentes. Un problema ligado a todas ellas, y cuyo carácter es astronómico-geológico, o al menos geofísico-geológico, es el de si la Tierra se contrae, como han pensado hasta ahora la mayoría de los geólogos, o se dilata, como está tratando de demostrarse, tanto en el campo de la teoría pura como en la de su aplicación a las ideas recién mencionadas. (P. Pruvost, 1951.)

No podemos entrar en análisis detallados de estas ideas, ya que cada una de ellas constituye un mundo geológico y un mundo apasionante. Seguir su evolución histórica y analizar cada una de las interpretaciones

pasadas y presentes requeriría volúmenes, pues estas interpretaciones, incluso las actuales, son múltiples y la literatura copiosísima.

Diremos aquí, de paso, que uno de los métodos más eficaces, y también más apasionantes, tanto para el estudio y enseñanza de la geología, como para el análisis de sus fallos y limitaciones, pero también de sus logros, es el del estudio y seguimiento de la evolución histórica de las ideas y teorías geológicas.

Resulta extremadamente instructivo y aleccionador ver cómo nace en la mente de un geólogo una idea o teoría acerca de materia trascendente, cómo se desarrolla y afianza, cómo es discutida y combatida, bien para lograr su afianzamiento o para caer; a veces para renacer de nuevo años más tarde bajo diferentes versiones o modalidades.

Tal es el caso de la mayor parte de las teorías geológicas contraccionistas, de las derivas continentales, de las causas orogénicas, de los alzamientos verticales isostáticos.

Desgraciadamente es un método tan lento y trabajoso como eficaz, y por consiguiente poco compatible con las exigencias de los vertiginosos tiempos modernos.

Vemos, con verdadero sentimiento, cómo la enseñanza de la historia de las ciencias geológicas, de la evolución de las ideas y teorías, va desapareciendo rápidamente de los textos, que necesitan dedicar sus páginas a agoger la infinidad de los modernos avances.

La misma razón nos veda aquí entrar en el estudio de la evolución de estas ideas geológicas radicales y únicamente vamos a delinear un esquema generalizadísimo del papel que desempeñan en el ideario geológico y señalar el carácter común a todas ellas: el de su indeterminación actual.

La idea de geosinclinal viene a constituir una síntesis de todos los efectos de los fenómenos de la geodinámica externa en la medida en que éstos contribuyen a suministrar y capacitar la acumulación de potentes masas sedimentarias, y por otra parte de una serie de fenómenos de dinámica interna, más bien intuitivos que conocidos, mediante los cuales esas acumulaciones son plegadas, deformadas y llevadas a la superficie como cadenas de montañas.

Por la mera enunciación de su contenido se comprende que la doctrina del geosinclinal constituye una de las piezas fundamentales del pensamiento geológico (A. Knopf, 1948).

La doctrina de la isostasia trata de explicar, y hay explicaciones para

diversos gustos, cómo está constituida y fragmentada la corteza terrestre en elementos adyacentes pero independientes, cuyo juego de desplazamientos verticales relativos permite deformaciones con constitución de grandes senos y grandes abultamientos en la superficie de la corteza, u otras deformaciones del mismo carácter, pero de menor escala.

Es una doctrina geológico-geofísica, que va íntimamente ligada a la del geosinclinal. Esta la necesita para explicar cómo pueden descender los fondos de los senos sedimentarios, al mismo tiempo que los sedimentos conservan su cota por debajo del nivel, poco variable, de la superficie de los mares. Y también es requerida por las teorías orogénicas para explicar cómo los sedimentos, una vez plegados y deformados, a gran escala y con violencia, en zonas profundas, pueden elevarse de nuevo a grandes alturas sobre el nivel de la corteza terrestre. Es decir, no es que puedan elevarse, sino que se ven obligados a elevarse por un juego de equilibrio retardado, que es el que da nombre a la doctrina de la isostasia.

La doctrina de la isostasia liga los fenómenos de la corteza superficial, teatro de la acción de la dinámica externa, con los fenómenos de la dinámica interna, que tienen su motor en la corteza profunda, fenómenos que, por ahora al menos, tienen puro carácter especulativo.

La doctrina de las derivas continentales trata de explicar la configuración actual de la corteza terrestre, mediante desplazamientos horizontales relativos de unos fragmentos de la corteza superficial rígida, con respecto a los otros, de donde le viene su nombre. Es hija también de la doctrina isostática y tiene en su apoyo numerosos argumentos geográficos, geológicos y biológicos. Ha nacido varias veces, y su versión más sonada es la de Wegener (A. Wegener, 1924). En todas sus versiones ha sido siempre muy discutida, pero estas discusiones han sido muy fructíferas. Las controversias desencadenadas por Wegener, y tan brillantemente sostenidas por él y por sus adversarios parciales o totales, han arrojado profunda luz sobre muchas cuestiones de geología, paleobiología y geofísica. Dieron pie a cantidad de estudios que han hecho avanzar en muchas direcciones a las ciencias geológicas, tanto en detalle descriptivo como en el concepto teórico.

Actualmente se puede decir que vive en la mente de todos los geólogos y es casi universalmente aceptada en versiones distintas y muy modificadas, pero derivadas de la de Wegener. Y sin embargo estas ideas habrán de ser sujetas a muy estrecho examen, ya que los estudios geofísicos más recientes no parecen confirmarla.

Su opuesta era la teoría de los continentes puente, que puede considerarse actualmente abandonada, porque exige una interpretación catastrófica y porque no acuerda con la doctrina de la isostasia, de universal aceptación bajo una u otra forma.

Las teorías orogénicas, no obstante el papel vital que desempeñan en la teoría geológica, son extremadamente diversas e inciertas. Algunas de ellas podrían designarse como epiteliales, y se refieren a efectos mecánicos del despegue de las capas superficiales de la corteza sobre horizontes deslizantes, como consecuencia de la creación de gradientes gravitativos. No es a ellas a las que nos referimos ahora, sino a aquellas deformaciones trascendentales y violentas que se desarrollan en ámbitos más profundos de la corteza terrestre y que por tener lugar en regiones donde las presiones son muy grandes y las temperaturas elevadas, van muchas veces acompañadas de reformaciones estructurales y materia, o sea de metamorfismos. Las partes profundas de estos sistemas, además, por gravitar encima potentes paquetes de estratos y masas de rocas, se deforman bajo régimen de contención, lo que da lugar a estilos peculiares de deformación, que por otra parte facilitan su reconocimiento e interpretación.

Estas doctrinas orogénicas van ligadas a la del geosinclinal, puesto que el fenómeno orogénico no es sino la fase final, de rápida evolución, del lento y secular fenómeno geosinclinal. Y también a la de la isostasia, pues estas masas comparativamente ligeras e insertas a la fuerza y deformadas en el seno de las rocas más densas de la corteza profunda, se ven obligadas a alzarse luego en el reajuste del mecanismo isostático como cadenas de montañas.

La pluralidad de opiniones acerca de las doctrinas mencionadas indica por sí sola, sin necesidad de descender al examen de su discusión, la inconsistencia de las bases.

La mayor parte de esa inconsistencia radica en que son doctrinas que implican fenómenos que se desarrollan en las zonas profundas de la corteza, completamente excluidas de la observación directa y de la que tenemos solamente la información suministrada por la geofísica, que no es disciplina comprobativa sino interpretativa.

Por consiguiente, y por ahora, no podemos hacer otra cosa que inferir y emitir hipótesis, que sólo han de evitar unos pocos escollos de observación interpretativa.

Durante casi dos siglos ha dominado la mentalidad geológica la idea de que la Tierra está en proceso de contracción. Geólogos tan modernos

en el pensamiento geológico, tan distinguidos en el cuadro de la ciencia como lo es, por ejemplo, Stille (H. Stille, 1924, 1944, 1946, 1949) son decididamente contraccionistas. No obstante las objeciones de muchos órdenes, sobre todo mecánicas, que desde antiguo se han opuesto a la idea de la contracción, es ésta tan sencilla y sugestiva que se ha impuesto quizá por exceso de complacencia. Cierto es que los sistemas de plegamiento, que constituyen los aparejos geológicos de mayor categoría y más aparatosos, suponen un acortamiento del espacio que actualmente ocupan con respecto al que ocupaban antes de experimentar su deformación. Y, sin embargo, la Tierra ¿se contrae o se dilata?

A partir del descubrimiento del fenómeno de la radiactividad y, sobre todo, de la existencia de grandes masas de rocas radiactivas en la corteza externa empezó a ponerse en duda que el gradiente calórico de la Tierra fuera negativo, es decir, que la Tierra se enfriase, principal explicación de la contracción. Por el contrario, la Tierra debe caldearse como consecuencia de la radiactividad o de otros procesos. Estamos lejos aún de poder afirmarlo, pero ésta es la tendencia de las estimas y cálculos más modernos (P. Jordan, 1965).

La contracción de la Tierra permitía explicar cómodamente, aunque no sin serias objeciones, mediante arrugamiento de la corteza, el origen de las fuerzas de compresión necesarias para explicar el origen de los sistemas plegados. La isostasia permitió luego una explicación en que el principio de la contracción continuaba involucrado, pero en menor grado.

Pero la comprobación de que muchos sistemas plegados ofrecían en conjunto durante su periodo de creación no una deformación convexa hacia la superficie de la Tierra, sino convexa hacia el interior, hizo vacilar profundamente la idea contraccionista.

Entonces aparecieron las explicaciones actualmente en boga, y no faltas de determinadas pruebas geológicas y geofísicas, según las cuales en las regiones profundas de la corteza, en la de los magmas, se desarrollan corrientes de convección ocasionadas por el gradiente de temperatura. Que estas corrientes, de diferente extensión y disposición, según las diversas teorías, se oponen en su sentido, de modo que actúan como molinos de rodillos que comprimen las rocas de la capa externa y las fuerzan a penetrar hacia las zonas profundas, originando sus extremas deformaciones y reformaciones.

Inversiones del sentido de las corrientes, o restablecimientos de equilibrio

exigidos por el mecanismo isostático, ocasionan la resurgencia a la superficie de los conjuntos deformados.

A este mecanismo es totalmente ajena la contracción, como lo es al de las deformaciones que he llamado epiteliales, que tienen lugar en la corteza superficial y que están causadas por la combinación de un gradiente gravitativo y de determinadas propiedades mecánicas de algunas de sus rocas, que favorecen al despegue y deslizamiento (P. Fallot, 1947).

Apoyados en la tendencia a admitir una Tierra en dilatación y liberados de la necesidad de aceptar la contracción como motor de la deformación de las rocas, los geólogos se han lanzado a una serie de investigaciones tendentes a demostrar que las deformaciones de todos los tipos pueden también ser explicadas por movimientos verticales (S. W. Carey, 1964; E. S. O'Driscoll, 1964).

### METODOLOGIA GEOLOGICA

Acabamos de pasar revista a los principios y doctrinas más salientes y fundamentales de la geología, es decir, a los que atañen a los fenómenos y conceptos de índole más general y universal, y vemos que difícilmente se les podría aplicar la designación de leyes, como discutiremos más adelante.

No solamente carecen de formulación universal, sino que además no son aceptadas universalmente y quedan aquejadas de excesivas limitaciones, que también analizaremos después.

Vamos a tratar, en las páginas que siguen, de analizar cuáles son los métodos que sigue el geólogo para, no obstante sus limitaciones, llegar a conclusiones fidedignas y útiles, y llegar a la posibilidad de apreciación de cuál sea la confianza que estas conclusiones pueden merecer de acuerdo con las circunstancias.

Los geólogos que dedican algo de su tiempo a la meditación de estos temas conocen bien la flojedad de los principios generales, pero no así muchos de los geólogos practicantes de la geología de campo y de la geología aplicada a la minería, porque en general los libros de texto no insisten sobre la importancia de estas limitaciones, si es que llegan a mencionarlas.

Y existe el grandísimo peligro de la complacencia cuando se ignoran o se olvidan las limitaciones básicas a que están sujetos nuestros principios. No sólo porque falta el estímulo de la duda, que impulsa al análisis y, por consiguiente, al avance de las cuestiones, sino porque construimos sobre

terrenos movedizos sin molestarnos en adoptar las técnicas adecuadas para cada caso. También se puede construir sólidamente sobre terrenos falsos, pero es preciso tomar las precauciones necesarias.

De entre los geólogos que con más vigor y vehemencia han señalado este peligro destacamos a Haarmann (E. Haarmann, 1935), porque lo cierto es que aun con principios en parte falsos, dudosos, contradictorios o limitados se puede hacer avanzar las ciencias, como lo prueban tantos y tantos casos en las mismas ciencias físicas, de base mucho más exacta.

Son falsas e incompletas, en esos casos y en materia geológica, las circunstancias generales, ciertas y válidas las observaciones e indicaciones parciales.

En geología tenemos infinidad de inducciones a partir de observaciones que son absolutamente ciertas y válidas y que son de universal aplicación, pero que se refieren a fenómenos parciales, tales como hechos de erosión, sedimentación, metamorfismo, deformaciones, comportamiento físico de la corteza, etc., y constituyen aspectos parciales que han de ser desde luego integrados en principios generales. Y es la certidumbre de la exactitud de esos conocimientos y de las inducciones a que se llega, lo que inspira una falsa confianza de conocimiento, una complacencia, cuando se pasa a planos más generales o más elevados.

Señala Maritain (J. Maritain, 1962) que disponemos esencialmente de dos géneros de argumentación, de modo que la verdad sólo puede hacerse manifiesta a nosotros por dos vías: por argumentación deductiva o silogismo, en que nuestro espíritu se encamina hacia la verdad partiendo de los primeros principios universales, conocidos inmediatamente por la inteligencia, y enlaza después a esos principios una conclusión. La mente se mueve puramente en el plano inteligible y manifiesta la verdad de una proposición en tanto quede ésta contenida en una verdad universal, de la cual deriva. Y cita Maritain como ejemplo: Todo lo que subsiste inmaterialmente es indestructible, el alma humana subsiste inmaterialmente, luego el alma humana es indestructible. Nada más ajeno que la geología, evidentemente, a este tipo de argumentación, al menos para sus principios fundamentales.

Luego la argumentación geológica sigue, manifiestamente, el segundo camino señalado por Maritain, el inductivo, en que la mente, a partir de los datos de los sentidos (y de los hechos de la experiencia), que son la pri-

mera fuente de nuestro conocimiento, se mueve del plano de lo sensible al de lo inteligible.

Bradley (W. H. Bradley, 1963) señala tres métodos fundamentales de pensamiento geológico, por inducción, por analogía, por imaginación.

Veamos algunas características de estos métodos de pensamiento.

a) *Razonamiento inductivo.*

Según Maritain (J. Maritain, 1962), la inducción es un razonamiento mediante el cual, a partir de datos singulares o parciales suficientemente enumerados, se infiere una verdad universal.

Con un criterio más inmediatamente aplicable a la geología, tenidas en cuenta sus limitaciones, el razonamiento inductivo es aquel que se remonta del hecho a la causa, de lo implícito a lo explícito.

Aclara Maritain que la inducción va del plano sensible al plano inteligible; lo que es medio en la inducción no es un término universal, es una enumeración de individuos o de partes. De modo que la inducción sube de las partes al todo y desciende del todo a las partes, procediendo en virtud de la conexión de las partes con el todo universal.

Señala Bradley que del razonamiento inductivo no puede escapar la ciencia geológica, por la necesidad de llegar al todo mediante una reconstrucción de las partes, así como por el carácter fragmentario del material informativo de que dispone, pero lleva consigo un riesgo, el riesgo que acompaña a todas las extrapolaciones.

Pero como el método geológico es esencialmente inductivo, seguiremos hablando del tema al tratar, más adelante, de la metodología geológica.

b) *Razonamiento por analogía. Ejercicio de la memoria. Estadística.*

Para Bradley el razonamiento por analogía es consustancial con todo el pensamiento humano, y hay filósofos como Hume y Mill para los que todo razonamiento, de cualquier clase que sea, se basa en analogías y en la capacidad de reconocerlas.

El geólogo, en la práctica de su vocación, compara constantemente situaciones, próximas y remotas. Las situaciones próximas para poder apreciar la evolución de circunstancias. Las situaciones remotas para apoyar, en el precedente o enseñanza de problemas ya resueltos, posibles soluciones para el problema con el que se enfrenta.

Debe comparar constantemente y mentalmente, o por sus notas de campo, la composición y disposición de las formaciones geológicas, sus colores, facies, etc., lo que le permitirá situar en el tiempo y en el ambiente geológico las que tiene en su estudio.

Y lo mismo actúa pero aún con mayor intensidad y amplitud, cuando desarrolla sus observaciones sobre el tablero. Al componer sus mapas debe saber reconocer la identidad, o establecer las diferencias que resultan de sus anotaciones en el campo y de lo que la memoria le pueda aportar. De modo que el trabajo por analogías es método no ya habitual, sino consustancial, con la índole de la materia geológica.

De aquí que el ejercicio de la memoria sea no ya importante sino imprescindible en el ejercicio de la geología, como en el de las ciencias biológicas (paleontología, zoología y botánica históricas).

Subrayé en otros trabajos (J. M. Ríos, 1960) cómo la mineralogía y la petrografía, que más que ciencias auxiliares constituyen columnas básicas de la geología, son disciplinas eminentemente descriptivas y, como tales, memorísticas. Hay que recordar composición, dureza, brillo, color, grupo cristalino, etc., de los minerales, así como sus paragénesis en la composición de rocas y criaderos; gran número de detalles para los que el geólogo va a depender fundamentalmente de la memoria.

En general, y sobre todo los estudiosos que parten en su formación del campo matemático, suelen no ya manifestar, sino incluso hacer gala de un desprecio olímpico por lo memorístico. Y sin embargo la memoria, como el entendimiento y la voluntad, son potencias del alma, dones de la Providencia, en igualdad de categoría.

La memoria, en grado excepcional, puede ser innata en algunas personas, pero de igual modo que el entendimiento y la voluntad, puede ser desarrollada en grado insospechado mediante el ejercicio.

El ideal reside, por consiguiente, en desarrollar conjuntamente la memoria y el entendimiento, el raciocinio y la retención. En el caso de las Ciencias Naturales (s. str.) el ejercicio de la memoria no es optable. Hay que memorizar, hay que retener infinidad de detalles para poder establecer con la máxima amplitud y la más sólida base el razonamiento analógico, método fundamental de la geología.

La estadística es aquella disciplina que reúne gran cantidad de información sobre determinadas materias que interesan, con objeto de poder llegar a conclusiones por el método analógico.

En general, cuando se habla de valores estadísticos se da por entendido que se trata de valores promedios, pues el objeto de la mayor parte de las recopilaciones estadísticas tratan de conseguir el conocimiento de qué es lo que desea, o cómo se comporta, o de qué se compone, una mayoría de hechos o personas.

La geología tiene una mecánica estadística en el sentido de que, siendo la observación su principal y casi exclusiva fuente de información, ha ido acumulando inmenso caudal de datos de observación en incremento geométrico, que luego valora mediante los métodos analógicos.

Y sin embargo es en esencia netamente antiestadística porque, como dijimos antes, lo que suele tener interés en estadística son los valores medios y deja caer los extremos, las excepciones, y en geología, sin embargo, las excepciones tienen, por lo menos, el mismo valor que la regla y, muchas veces, mayor importancia e interés

No puede omitirse la información suministrada por un afloramiento inexplicable e inexplicado, o una disposición extraña de roca, incluso aparentemente inverosímil, porque constituya excepción o porque ocupe una reducida extensión

Si en un área, donde por ejemplo todos los afloramientos son de Mioceno continental, encontramos unos pocos metros cúbicos de materiales del Keuper, o del Cretáceo inferior, o del Siluriano, desconocidos en la región, *englobados o que reposan encima, no valdrá decir que como es extrañísimo*, y tienen tan poca extensión, ha de hacerse caso omiso de ellos. Muy al contrario, han de ser estudiados y cartografiados con todo cuidado y ha de intentarse una explicación. Se llegará o no a una interpretación verosímil, pero lo que no se podrá, de ninguna manera, es omitir el hecho.

En geología las excepciones tienen mucha más importancia, con frecuencia, que la regla, porque manifiestan muchas veces la existencia de procesos y fenómenos complejos, generalmente trascendentes, de las que son testimonio aquéllas.

Podemos reunir estas consideraciones diciendo que la estadística, en geología, tiene valor informativo pero no normativo.

Los cerebros electrónicos se han introducido de muchas maneras en las técnicas geológicas como consecuencia de sus características memorísticas y de su método analógico.

La cantidad de información geológica reunida hoy en día es tal, y aumenta a tal velocidad, que no hay mente humana, ni la mejor dotada,

que pueda seguir el paso de tal información, asimilarla y establecer comparaciones analógicas.

Así es que se ha llegado al caso de una mecanización de la geología, utilizada en muy diversos aspectos.

En otro trabajo he lamentado (J. M. Ríos, 1962), por puras razones humanas, que haya de ser así, pero es un fenómeno arrollador e inevitable, como lo es el crecimiento de la población humana, causante remoto de estos fenómenos.

Así, por ejemplo, hoy en día los geólogos de campo, que recogen la información de observación para la geología industrializada, por ejemplo la petrolera, hacen uso de tarjetas preparadas, donde perforan las casillas correspondientes al dato pertinente observado.

Y luego los cerebros electrónicos clasifican, comparan y devuelven los datos computados de acuerdo con la información que se demandó. De este modo el geólogo de campo llega a convertirse en un verdadero operario, disgregado de toda evolución mental posterior a la observación, y la evaluación de esos datos es hecha por otro grupo de operarios que no ha pisado, que ni siquiera conoce el terreno.

### c) *Razonamiento por imaginación.*

Sería ingenuo querer negar que la geología es una ciencia altamente imaginativa. Lo que hace falta analizar es si ello constituye un detrimento o un mérito, cosa que haremos más adelante.

Señala Bradley que mucha gente considera la imaginación sólo como un medio para crear, sin base, cosas caprichosas e irreales, pero añade que la calidad fragmentaria de la información geológica obliga al geólogo a utilizar la imaginación, aunque sólo sea para reconstruir las partes que faltan y visualizar de este modo imágenes espaciales completas.

Llega incluso a designar a la tan atacada imaginación el primer lugar en el proceso mental de los geólogos.

Es cierto que la imaginación ocupa, si no el primer lugar, un papel muy importante en los mecanismos mentales del geólogo, ya que no sólo interviene en la restitución de imágenes incompletas al estado original, para lo que tiene como punto de partida informaciones muy concretas y de gran exigencia de circunstancias, sino que la emplea masivamente para tratar de elevarse de estas reconstituciones, perfectamente normales, a niveles mucho

más generales y altamente especulativos, a través de hipótesis imaginativas, tratando de crear principios, ya que no puede crear leyes.

Cueto y Rui-Díaz dice: Se discute por muchos, se duda, si la geología es una ciencia o si más bien es un conjunto, sólo aparentemente sistemático, de especulaciones desprovistas de base lógica, en cuya elaboración tiene parte principalísima la imaginación, mientras que las restantes funciones del espíritu desempeñan sólo papeles secundarios. Y no sólo opinan así gentes alejadas de la geología, que ignoran sus técnicas, o que al menos no tienen un sentido claro del objeto y métodos de la geología, sino que también entre profesionales e ingenieros de Minas existe este espíritu, no obstante que militan en una profesión cuyo principal objeto es la extracción de las riquezas minerales que atesora la corteza terrestre, y para los que la geología constituye el fundamento científico de sus actividades industriales.

Pero, sigue Cueto, no puede menospreciarse en modo alguno el papel que desempeña la imaginación en geología, ni tampoco en otras ciencias. Cita a Tyndall (1873), quien expresa que la imaginación, contenida en sus justos límites y condicionada por la razón, se convierte en el instrumento más poderoso de los descubrimientos, y para Tyndall el descubrimiento de la ley de la gravitación universal constituye un triunfo estupendo de la imaginación. Cierto que, como dice Cueto, la imaginación no debe trabajar nunca con independencia, sino extremadamente subordinada al entendimiento, es decir, como mero instrumento, aunque extraordinariamente importante, de otras facultades del espíritu. De modo que una imaginación científica debe ser rigurosamente dependiente de la razón, en contraste con la imaginación artística, que actúa siempre con absoluta libertad. El uso de la razón, e invierto con ello términos empleados por Cueto, no sólo es necesario sino legítimo.

La especulación geológica, especulación imaginativa (J. M. Ríos, 1960), no es libre, sino que está regida por muchos principios. No es el azar de cualquier orientación, el descenso libre por una ladera nevada, sino el slalom a través de una serie de banderines que no se pueden rebasar, aunque entre ellos se pueda elegir libremente el camino; o mejor aún el descenso, cuidadosamente meditado, por una ladera peligrosa donde hay muchos pasos difíciles, imposibles o inaccesibles que nos están vedados.

Nada de lo que exprese el geólogo puede ir en contra de lo observado, nada puede contradecir una serie de principios físicos y mecánicos, pero se mueve en cambio con frecuencia en campos que la física y la mecánica aún

no han podido cubrir con sus leyes. El geólogo trata de adivinarlas o deducirlas usando su capacidad imaginativa. La tarea que constantemente desarrolla la geología es la de ampliar el número de banderines y estrechar su separación, aumentando el número de hechos positivos que no se pueden contradecir y reduciendo el uso de la imaginación.

d) *Método experimental. Experimentos artificiales y experimentos naturales.*

Es lástima que este método, de que tanto se han beneficiado las ciencias físicas y químicas, hasta poderse decir que constituye la columna vertebral de su metodología, sea de tan limitada aplicación a las ciencias geológicas.

Y no porque no se haya intentado utilizarlo con todas las fuerzas y en las más variadas direcciones, desplegando para ello extremado ingenio y habilidad, sino porque su utilidad viene literalmente acorralada por limitaciones, que en gran parte hemos señalado ya a lo largo de este texto.

Las limitaciones se refieren sobre todo a la desproporción entre las escalas naturales y las que son posibles en la experimentación. Enumeradas en grado decreciente de importancia, tenemos las que se refieren a los conceptos de tiempo, de espacio, a las presiones, a las temperaturas. Las diferencias de escalas para estos dos últimos factores se han reducido en gran medida, gracias a los progresos de la investigación profunda de la energía nuclear, pero, como subsisten las otras dos, los adelantos son pírricos para cuestiones generales, aunque interesantes para las de detalle.

Falla también una posibilidad que tan importantes aportaciones ha hecho en el campo de las ciencias físicas y químicas, la de apartar variables y dejar éstas reducidas a un mínimo comprensible y operable. Pero este mecanismo tiene escaso sentido práctico en geología, donde son siempre tantísimas las variables trascendentes que entran concatenadamente en juego.

Esta capacidad y posibilidad de simplificar el fenómeno, sin que pierda eficacia y se desvirtúe, establece una diferencia esencial en la metodología de las ciencias físicas y químicas con respecto a la de las geológicas y biológicas. La posibilidad de abstraer sin que se desvirtúe totalmente la índole del fenómeno. Al tratar de hacerlo, en geología, lo que resulta es la descomposición del fenómeno en una serie de fenómenos físicos y químicos, pero no ya puramente geológicos. Entre otras razones porque en geología cada situación es hija de otras anteriores. O sea que es el carácter histórico de la

geología lo que se opone al método experimental, si de lo que hablamos es de experimento geológico puro y no de sus componentes físicos y químicos.

Por muy diversos modos se ha tratado de reproducir en el laboratorio, en mesas de experimentación, en la corteza misma, fenómenos naturales. La literatura sobre la materia es copiosísima, relativamente hablando. En general los resultados no son sino el remedo, casi caricatura del fenómeno natural, no obstante tener algún valor informativo.

En mineralogía y en petrografía los resultados son mucho más alentadores y útiles cuando se trata de espacios parciales, debido a que la desproporción de masas queda mucho más reducida y se puede forzar la de los tiempos, aparte de que muchos fenómenos petrográficos se completan en periodos que geológicamente hablando son muy breves, de modo que los resultados experimentales simulan bien los reales.

Otro es el caso de la geología, pero hay que reconocer que en los últimos tiempos se ha intentado con gran ahinco salvar el escollo.

Se eligen los materiales experimentales con gran cuidado, de modo que sus propiedades mecánicas de deformabilidad en relación con el tiempo de aplicación de esfuerzos o con la velocidad de aplicación de las fuerzas trate de guardar proporcionalidad con el caso de factores naturales. (S. W. Carey, 1953.)

Otro concepto de la geología experimental es el que ha analizado recientemente McKelvey (V. E. McKelvey, 1963). Dice que la geología ofrece la oportunidad única e insustituible de permitir la observación de los resultados de procesos naturales que no sólo implican muchas más variables y masas mucho más grandes que los experimentos de laboratorio, sino que les exceden infinitamente en la aplicación del factor tiempo, de modo que ponen de manifiesto reacciones tan lentas que no serían observables en condiciones corrientes. Hay otras ciencias naturales que permiten la observación del juego mutuo de muchas variables, pero sólo la astronomía admite un registro completo y la observación de resultados de "experimentos naturales", cuyo desarrollo completo ha requerido millones o billones de años.

Por eso, sigue McKelvey, la geología es una ciencia exploratoria, que permite el estudio de fenómenos y procesos no predictibles sobre la base de conocimientos y teorías apoyadas en las ciencias de laboratorio. Y posee el medio de resolver una gran variedad de problemas demasiado complejos para ser atacados por experimentos artificiales.

Como los experimentos artificiales, los naturales deben ser observados y evaluados cuidadosamente y examinados inquisitivamente con hipótesis imaginativas. De otro modo carecen de valor. Pero usados de esa manera han conducido al descubrimiento de fenómenos nuevos y a la formulación de principios a los que no se hubiera podido llegar de otra manera.

Parte del principio de que todas las ciencias han llegado, mediante la observación de fenómenos naturales, al descubrimiento de lo no predecible sobre la base de los conocimientos y teorías entonces prevalentes, y de que el estudio de la Tierra ha sido el que más ha contribuido a este desarrollo, en todo el campo de las ciencias naturales consideradas en el mas amplio sentido del vocablo.

Este campo, más o menos agotado en otras ciencias, sigue siendo vivo, y muy prometedor para el futuro, en geología.

Aparte de casos particulares que cita (el estudio por Barth y Posnjak de la estructura de las espinelas, que contribuyó al descubrimiento del principio de los semiconductores, y el de Murata, de que la fluorescencia de las calcitas y de la halita naturales se debe a la coincidencia de los elementos plomo y manganeso, descubrimiento que permitió la síntesis de muchos nuevos compuestos fluorescentes), el método permite descubrimientos; además el hallazgo e investigación de fenómenos que no son singulares como en los casos citados, sino complejos.

Como ejemplo de procesos seculares, descubrimientos mediante la síntesis y análisis de muchas y diversas observaciones geológicas, cita los conceptos de evolución biológica, plegamiento de geosinclinales (M. P. Billings, 1960) e inversión periódica en la polaridad del campo terráqueo.

Pero si consideramos atentamente lo expuesto por McKelvey parece que este método de experimentos naturales no sea otra cosa que la inducción aplicada a la observación en forma gradual, es decir, elevando la categoría del razonamiento de lo local a lo general, porque el método, según dice McKelvey, exige comprobar y descartar muchas hipótesis antes de poder llegar a formular una relación empírica válida, y me parece que lo difícil es llegar a demostrar que es válida y encontrar el mecanismo lógico que permita comprobar y contrastar su validez. Ahora bien, si no se encuentra otro camino que el del razonamiento inductivo no queda otro remedio que seguirlo pese a todas sus limitaciones, siempre que tengamos la conciencia de ellas.

Precisamente es uno de los muchos alicientes de la geología, de la misma

manera que los peligros y dificultades de la ascensión constituyen el principal aliciente para los escaladores de una cima de arriesgado acceso.

En una palabra, McKelvey dice que por el razonamiento inductivo geológico podemos llegar a obtener conclusiones no predictibles de gran alcance, relaciones de dependencia entre fenómenos actualmente imaginativos. Y son imaginativos, en unos casos, por la falta de clave que ponga de manifiesto la relación causal; en otros, porque la información disponible es aún muy escasa, como ocurre por ejemplo con la geología de los fondos marinos, o la distribución absoluta y relativa de los elementos mayores y menores en la corteza terrestre, longitud de onda y amplitud de los pliegues, entre otros muchos casos que cita.

Considera que la Naturaleza constituye un gran teatro experimental y que se deben examinar los fenómenos geológicos desde ese punto de vista. Los estudios de Milton (Ch. Milton, 1957) demostraron que es posible la formación, a bajas temperaturas, si se les da el tiempo necesario, de minerales que corrientemente sólo se forman a altas temperaturas; así ocurre con determinados minerales autógenos, como el basalto, la riebeckita y la leucosfenita en formaciones salinas sedimentarias. Cita otra serie de casos de carácter más o menos parecido.

Es cierto que la fuerza persuasiva de los experimentos de laboratorio, más bien diría yo su validez y su ventaja fundamental sobre los experimentos naturales, reside no solamente en la posibilidad de un apretado control, sino en que pueden ser aisladas las variables y sobre todo en que se puede comprobar por repetición indefinida la validez de sus resultados.

Para McKelvey esto ocurre en cierta medida con algunos experimentos naturales, ya que fenómenos semejantes pueden haberse repetido en circunstancias diferentes que subrayen los efectos de los diferentes factores.

Me parece que lo que trata de subrayar McKelvey no es la índole del método, que no es otro sino el mecanismo geológico inductivo, sino el espíritu de acercamiento al método, de ataque de los problemas.

Finaliza McKelvey diciendo: "Las aplicaciones prácticas de la geología justifican por sí solas su cultivo y toda clase de apoyo en alto grado de categoría. Pero, además, las oportunidades que suministra para la observación de experimentos naturales la clasifica como de importante categoría en uno de los campos exploratorios y analíticos de la ciencia, capaz, en general, no sólo de dar la pista de problemas apasionantes, sino de resolver inte-

rogantes difíciles y complejas mucho más allá del alcance de los experimentos artificiales.

### ¿LEYES, PRINCIPIOS, GENERALIZACIONES?

Una vez que hemos razonado ampliamente acerca de los mecanismos físicos y mentales que siguen, y limitan, el pensamiento geológico, vamos a tratar de evaluar su categoría como ciencia, pero para ello necesitamos evaluar esos mecanismos. ¿Qué categoría tienen? ¿Llegan a la categoría de leyes? ¿Se quedan en meros principios rectores o son sólo la expresión de procesos generalizados?

Barnhart (C. L. Barnhart, 1948, citado por G. C. Simpson, 1963) define la ley, en su sentido filosófico y físico, como la “expresión de una relación o secuencia de fenómenos que son invariables, bajo las mismas circunstancias”. Los fenómenos son variables, es su relación lo que es invariable, en el concepto de ley, aclara Simpson.

Considero que, bajo los términos de esa definición, es difícil que los procesos o mecanismos geológicos puedan ser considerados como leyes, dada su complejidad, por el número de variables inaislables que concurren y por la esencial variabilidad de las circunstancias, que nunca se repiten para los fenómenos trascendentes.

La falta de “leyes”, en geología, se debe a que, aunque la expresión de muchos de los fenómenos geológicos cabría dentro del concepto de ley por su evidente formalidad, no tienen trascendencia ni universalidad, sino que se refieren a aspectos muy parciales o muy locales de la fenomenología geológica.

En puro análisis se ve que corresponden a aspectos exclusivamente físicos de la geología deshistorizada, es decir, desgeologizada, y están sujetos a “configuraciones”, que varían en el espacio y en el tiempo, así es que aun siendo absolutamente vigentes por ser ciertas y auténticas en su expresión, carecen de universalidad en su aplicación.

Kitts (D. B. Kitts, 1963) ha llevado a cabo un profundo análisis de la teoría de la geología que, por su interés, voy a comentar con alguna amplitud.

El problema que se plantea Kitts es el de si existe una teoría de la geología, para lo cual examina la teoría de las teorías.

Hempel (C. G. Hempel, 1958) considera que la sistematización científica se logra en dos tramos o niveles sucesivos, la generalización científica y la constitución de la teoría. El primer nivel, o etapa, corresponde a la búsqueda de leyes universales o estadísticas, que establecen condiciones entre los aspectos directamente observables de la materia en estudio. El segundo, y más avanzado nivel de la investigación, se dirige a la expresión de leyes comprensivas, universales, expresadas en términos de entidades hipotéticas que den cuenta de las uniformidades establecidas al primer nivel.

Nagel (E. Nagel, 1961) considera útil la distinción entre “leyes teóricas” y “leyes experimentales”, aun reconociendo que es difícil a veces establecer esta clasificación. La característica más saliente que separa las leyes experimentales de las teóricas es que en las primeras, pero no en las últimas, cada término constante de carácter descriptivo (es decir, no lógico) está asociado con por lo menos una acción o curso manifiesto de ligazón o especificación de rasgos determinados por observación bajo la concurrencia de determinadas circunstancias. Así es que el mecanismo o proceso ligado a un término de una ley experimental, a diferencia de una ley teórica, posee invariablemente un determinado contenido empírico que, en principio, puede ser controlado siempre por pruebas de carácter observacional obtenidas a lo largo del proceso.

Una ley experimental queda formulada, sin excepción, en una sola afirmación; una teoría, casi sin excepción, se compone de varias afirmaciones relacionadas entre sí. Esta diferencia obvia no es sino la indicación de algo más importante y trascendente: la mayor generalidad de las teorías y su mayor capacidad de explicación.

Remacha el clavo Kitts con la opinión de Carnap (R. Carnap, 1956), que considera habitual y útil, en la metodología de la ciencia, dividir su lenguaje en dos partes, el lenguaje de la observación y el lenguaje de la teoría. El lenguaje de la observación emplea términos que designan propiedades y relaciones observables, aptas y necesarias para la descripción de cosas o acontecimientos observables. El lenguaje teórico contiene términos que pueden referirse a acontecimientos no sólo observables o a aspectos o características no observables de acontecimientos; por ejemplo, a micropartículas como electrones o átomos, a los campos magnéticos o gravitativos de la física, a estímulos o potenciales de diversas clases en psicología, etc.

Kitts rechaza, al contrario de lo que suponen o admiten muchos geólogos, que la geología del pasado, y en parte la del presente, haya sido exclu-

siva, ni siquiera predominantemente descriptiva: una mera enunciación de descripciones. Para Cueto, esta etapa, la de los geognostas (siglos XVI, XVII y XVIII), terminó con G. Werner, creador de la geología. A partir de Werner, esta disciplina ya no fue puramente descriptiva, ya no se limitó a la descripción de los hechos, sino que trató de relacionarlos causalmente.

Resulta interesante, desde mi punto de vista, lo que sigue en el discurso de Kitts, que estima que el mismo hecho de que durante todo el desarrollo de la ciencia geológica los geólogos hayan mantenido el punto de vista de su carácter histórico, rechaza la clasificación como ciencia meramente descriptiva, ya que la formulación de afirmaciones históricas exige procedimientos por inferencia, que van claramente más allá de una mera descripción.

Pero es cierto, sigue Kitts, que la característica que más acusadamente señala a la geología como descriptiva, y que todos reconocemos, es que la mayor parte de las expresiones geológicas o bien están enunciadas en lenguaje de observación, o bien pueden ser eliminadas de cualquier enunciación geológica de importancia y sustituidas por términos que lo están. Lo que equivale a decir que los términos y las expresiones geológicas no son teóricas.

Para Kitts, la abundancia que encontramos en geología de términos y consideraciones de carácter (inevitablemente) histórico engendran confusión cuando se trata de distinguir entre conceptos de observación y conceptos teóricos. Todo lo que tenga carácter de "histórico" lleva consigo inferencia a cosas del pasado, y requiere para su definición referencia a cosas que no han sido observadas. Los filósofos de las ciencias denegarían la categoría de teórico a tal término o concepto, porque el acontecimiento del pasado fue descrito en lenguaje de observación, y para que alcanzase aquella categoría debería ser posible, al menos en principio, observarlo.

Pero yo creo que cualquier estado o circunstancia cuyo origen está en el pasado, pero es observable en el presente, y de estos casos parten la mayor parte de las inferencias geológicas, presenta dos situaciones: o se describe totalmente en el presente y se transfiere al pasado, por inferencia, lo que desde luego lleva consigo un grado de indeterminación, o bien se trata de definir, sólo por observación presente, cuál fue el funcionamiento del pasado, puesto que existen elementos y capacidades de observación, pero a esto no se atreven los geólogos, y quizá es una de las causas por las que dudan de la categoría de su ciencia.

Según Hempel las expresiones teóricas deben establecer, en grado considerable, un orden explicativo y predictivo entre los datos, asombrosamente completos, de nuestra experiencia, o sea de los fenómenos directamente observables por nosotros.

Se plantea Kitts la cuestión de si hay algún término o concepto geológico que cualifique plenamente como teórico y llegue a la conclusión de que no existen términos tan abstractos como las construcciones teóricas de más alto nivel de otras ciencias, y cita como ejemplo el de la mecánica cuántica.

Señala por otra parte que hay cantidad de conceptos geológicos que cualifican, como lo que llama conceptos teóricos de más bajo nivel, por ejemplo, el de geosinclinal.

Yo diría más bien que la categoría no se puede medir tanto por la altura de nivel, sino porque los conceptos teorizables se refieren sólo a aspectos parciales o a aspectos locales, y carecen, como hemos expresado anteriormente, de la necesaria universalidad, ya que cuando se aplican en diferentes casos han de matizarse con singularidades locales de alcance o de índole. Es lo que ocurre con el concepto de geosinclinal, y queda puesto de manifiesto además por la diversidad de sus definiciones, aunque todas ellas compartan un fondo común.

Como dice Cueto, las leyes geológicas, al no apoyarse en la raíz misma de las cosas sino sólo en su observación más o menos defectuosa, no pueden ser inmutables, y deben estar sujetas a constantes revisión y evolución, o sustitución por otras que expliquen más cabalmente su raíz filosófica. Y no hay teoría, por muy alta que sea la personalidad que la enunciara, que no deba ser sujeta a tal revisión, utilizando para ello tanto la experimentación (en la medida que sea posible) como los principios de la lógica.

Volviendo a lo expresado por Nagel vemos que lo que en geología tiene carácter de ley no es en realidad sino préstamo de otras ciencias con las que aquélla está íntimamente entrelazada, y que las teorías están excesivamente teñidas de carácter parcial o local.

Todo ello puede parecer demoledor para la moral del geólogo, pero es que, a mi juicio, la categoría de un razonamiento no puede establecerse ni por la posibilidad de su expresión exacta, ya que hay muchos procesos reales en todos órdenes de cosas que por unas u otras razones no tienen formulación exacta, ni tampoco por su universalidad, sino por la lógica e intuición de su construcción.

De otro modo la única ciencia verdaderamente pura sería solamente la matemática, que tiene a su cargo el hallazgo y expresión de relaciones formulables, ya que incluso lo mucho que tiene la física y la química en este sentido lo tienen en la medida en que son matemáticas, mientras que la filosofía, disciplina puramente especulativa, carecería de la categoría de ciencia. El mecanismo mental del geólogo tiene mucha más relación con el de las ciencias filosóficas e históricas, y las ciencias exactas y físico-químicas no son sino sus herramientas. Pero no olvidemos que al escultor tan necesarios le son los cinceles como el mármol y la inspiración.

### LA METODOLOGIA GEOLOGICA EN SI Y COMPARADA CON OTRAS METODOLOGIAS

Método (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) es el conjunto de reglas a que deben sujetarse las diversas facultades del alma durante el estudio de una rama del saber. Los hechos y materias que constituyen el objeto de una determinada ciencia ofrecen peculiaridades distintivas con respecto a otras que siguen su método, de modo que aunque éste tenga afinidades o directrices comunes con los de otras ciencias, pueden hacerlo diferir notablemente. Así ocurre, dice Cueto, con la geología respecto a las ciencias físicas y químicas, que pueden reproducir los fenómenos en el laboratorio, cosa en gran medida vedada a la geología.

Vila Creus (P. Vila Creus, 1959) define el método como aquel orden o modo que debe tenerse en los actos para que obtenga su fin.

El método lógico es el orden que debe observarse en las aplicaciones del entendimiento para llegar a alcanzar la verdad de las cosas, o sea la ciencia. Y distingue dos vías de método, la analítica y la sintética.

Método analítico es el que procede por análisis y, partiendo del todo propuesto, examina las partes. Se procede analíticamente cuando se separan los elementos de una idea compleja o contenido mental complejo.

El método es sintético cuando se procede de las partes al todo.

Según Palacios (L. E. Palacios, 1962) el conocimiento teórico se debe más al análisis que a la síntesis, por lo que se le puede llamar analítico. Y el conocimiento práctico tiene mayores deudas con la síntesis que con el análisis, por lo que puede llamarse sintético.

La especulación prepara el terreno con el llamado análisis de cosas, por el que ascendemos del todo a las partes, del efecto a la causa, del fin a los medios, y se consuma plenamente en el análisis de conceptos, por el que ascendemos de lo singular a lo universal. Este proceso analítico es el ascenso de lo manifiesto a lo recóndito.

Y añade: el temperamento analítico es teórico como opuesto a lo práctico. El hombre práctico es siempre sintético.

No podría decirse que la geología es una ciencia más analítica que sintética o viceversa, puesto que es esencialmente analítica en la recogida y selección de los datos de observación, su fuente primaria del conocimiento. La aplicación de la observación (J. M. Ríos, 1960) requiere un profundo criterio geológico para la selección de lo que es verdaderamente interesante observar y anotar. De lo que puede observarse en una roca, o en un frente de rocas, hay muchas cosas que son banales o de poca trascendencia, y no siempre las más aparentes son las más importantes. Muchas veces son características de difícil apreciación las que dan la pista de un hecho trascendental. De modo que el geólogo debe saber seleccionar y escoger para su atención lo que importa, aunque no sea lo más llamativo, cualidad que es muy difícil de enseñar, y que se aprende en el terreno con la práctica y los años.

El geólogo, por consiguiente, para adquirir su material de información o partida recoge un número de observaciones adecuado en cantidad y calidad al objeto que persigue. Realiza una labor de análisis, puesto que ha de ejercer un criterio de apreciación de las características y un criterio de separación y selección de las que son interesantes. Estos criterios no son uniformes ni constantes; lo que interesa para unos objetivos no tiene importancia para otros.

Pero con esto el geólogo no ha completado sino una parte de su tarea. Ha de expresar después de alguna manera, tanto se trate de construcción de teorías como de fines prácticos, los hechos observados. Ha recogido los materiales de observación y ahora ha de sintetizarlos, reunirlos, trabajarlos, acoplarlos, obtener una síntesis en suma. Esta labor de síntesis se lleva a cabo con ejercicio de los criterios de comparación, valoración de características y memorización de las mismas, lo que requiere amplio ejercicio de la capacidad de síntesis.

En esto consiste en resumen lo fundamental en el método geológico. Si examinamos con detalle lo que ello implica veríamos que en realidad es muy complejo por la variedad de criterios y conocimientos que ha de poner

en juego, por el equilibrio que ha de mantener entre la participación del criterio personal y el rigor científico y encadenamiento lógico de sus inducciones y construcciones. Y porque como se trata de una disciplina forzosamente especulativa, hay que valorar el alcance de la exactitud y precisión de los resultados, exactitud forzosamente condicionada por una serie de factores y limitaciones naturales y subjetivas.

Parecería que en principio lo ideal sería que el geólogo pudiera proceder por vía puramente analítica. Es decir, que, enfrentado con un problema, pudiera desmenuzarlo sin necesidad de recurrir a comparaciones mentales con otros casos, que es lo que hace cuando trata de elevar sus síntesis a teorías por el proceso de generalización. No sólo porque la comparación con otros casos obliga a introducir factores o variables que pueden ser ajenos a su objetivo real de momento, sino porque supone una experiencia que muchas veces es excesivamente subjetiva. En una palabra, sería como pedir a un médico que pudiera emitir diagnóstico sin necesidad de comparar síntomas o historiales de otros casos clínicos por pura y limpia determinación y análisis del caso concretísimo, individualísimo, que tiene entre manos.

Y ya que hemos mencionado el tema de la generalización pasemos a examinar este punto de la metodología geológica. Seguiremos para ello ceñidamente a Kitts (D. D. Kitts, 1963), que llama generalización geológica a la manera que tienen los geólogos de expresar fenómenos cuya aplicación rebasa al ámbito de lo local, es decir, que son aplicables por lo menos a más de un caso, y en general a varios o muchos. Pueden ser comparados a las leyes de otras ciencias naturales, aunque en general los geólogos, salvo algunos (W. H. Bucher, 1933), se resisten a llamar leyes a estas generalizaciones geológicas por carecer de universalidad en su aplicación.

La literatura geológica es profusa en el empleo de generalizaciones condicionadas por los vocablos "posibilidad" y "probabilidad". Decía en otra ocasión (J. M. Ríos, 1960) que la geología es, esencialmente, una ciencia de especulación cuajada de hipótesis y extrapolaciones (P. Pruvost, 1951). De "probables" y "posibles" están llenos los informes y estudios geológicos. El geólogo no puede llegar más allá. Es una ciencia, dentro de ciertos límites, personal, interpretativa, especulativa, lo que no quiere decir, de ninguna manera, que carezca de base. Quiere decir que tiene límites, que estos límites no son fijos, ni establecidos, sino circunstanciales y, por consiguiente, difícilmente definibles.

Volviendo a Kitts, y a sus consideraciones sobre las generalizaciones,

subraya su carácter inductivo y señala que la aceptación del hecho expresado exige la de otros hechos o afirmaciones, que constituyen apoyos meramente parciales.

Cuando son susceptibles de admitir excepciones porque se basa en promedios, dispersiones o correlaciones, se las conoce como de tipo estadístico si admiten formulación numérica, y de tipo probabilístico en caso contrario. La deducción estadística se emplea en términos crecientes en la investigación geológica, pero, añado yo, sólo para fenómenos parciales auxiliares, ya que como expresé antes las excepciones tienen muchas veces más importancia que la regla y no pueden ser omitidas. Indica, además, Kitts que este método tiene el peligro de que una falsa apariencia de exactitud, derivada de la terminología matemática que emplea, oculte el carácter realmente laxo, problemático, de las generalizaciones.

Todavía hila más delgado Scriven (M. Scriven, 1959, citado por Kitts, 1963), para quien las generalizaciones que expresan o emplean acontecimientos individuales (locales, configuracionales, parciales o temporales) no sólo carecen evidentemente de universalidad, sino que no llegan a tener el carácter de estadísticas, ni siquiera llegan a problemáticas, y las propone como una categoría especial normativa, con algunas características universales, otras estadísticas; pero que son las únicas adecuadas para que se seleccione, de entre ellas, los fundamentos justificantes para la explicación de acontecimientos individuales.

La razón es, siempre según Scriven, que las afirmaciones estadísticas expresan que las cosas a que se refieren caen dentro de una u otra categoría, mientras que las normativas dicen que todas ellas caen dentro de una determinada categoría, excepto las que cumplen con determinados requisitos especiales. De este modo la afirmación estadística es menos informativa que la normativa.

Una afirmación normativa se convierte en una generalización exacta si las excepciones son escasas y de fácil formulación. Por consiguiente, las afirmaciones normativas son prácticas cuando el sistema de excepciones, aunque aprehensibles y susceptibles de comprensión y expresión, sea excesivamente complejo. Considera Scriven que las leyes físicas son de carácter normativo, pero la formación o entrenamiento mental del físico le crean un instinto implícito de reconocimiento de las inexactitudes y excepciones.

La debilidad básica de las afirmaciones estadísticas en geología, no obstante su gran utilidad práctica, informativa, ya las subrayamos antes. En

fenómenos trascendentes, la excepción tiene por lo menos tanto valor como la regla, mientras que las afirmaciones normativas tienen mucho más sentido geológico, ya que reconocen implícitamente la importancia de las excepciones.

La información normativa dice exactamente qué es lo que tiene que ocurrir en un cierto caso, a menos que concurran determinadas circunstancias, y entonces se lleva a cabo la comprobación de que, en efecto, no concurrían; con lo que entra en juego el carácter histórico, inevitable en geología.

No se puede por menos en quedar de acuerdo, con Kitts, en que la mayor parte de las generalizaciones geológicas son normativas, y este adjetivo le encuadra mucho mejor que el de universales, estadísticas o probabilísticas, ya que, participando del carácter de las tres, por su raíz o por su mecanismo, lo hace de manera parcial, por las limitaciones a que están sujetas, tanto la observación como la inducción.

Señala Kitts que el objeto primario del geólogo no es el establecimiento de afirmaciones universales, sino el de afirmaciones generales, sean o no universales. Si se introdujesen en ellas condiciones limitantes, iniciales o específicas, esto permitiría el establecimiento de afirmaciones universales, pero carecerían de utilidad alguna, a menos que fuese posible determinar independientemente las condiciones específicas.

Por mi parte añadiré que si el geólogo fuese capaz de desprenderse de su complejo de inferioridad, y se liberase de la tendencia a comparar la validez o categoría de su ciencia con la de otras, quedaría exento de una obsesión incómoda y sin objeto o ventaja alguna.

La ciencia geológica es, sencillamente, distinta.

No existen las leyes universales, puesto que al tratar de buscarlas y desprenderse de los cualificantes locales o históricos de los fenómenos, lo que hace es desvirtuarlos geológicamente y descomponerlos en fenómenos parciales correspondientes a otras ciencias.

El modo geológico de expresión no es la ley, sino la generalización.

En las leyes físicas y químicas se limitan y condicionan las variables hasta que tienen valores que recaen dentro del campo experimental comprobable. En geología, si se trata de hacer lo mismo, se recae en el campo de lo físico y lo químico, y se desgeologiza la cuestión.

Y estoy también en pleno acuerdo con Kitts en que la opinión, extendida entre los geólogos, de que la geología tiene tanto de arte como de ciencia deriva del hecho de que el sistema de excepciones asociadas a las genera-

lizaciones geológicas, lo que yo llamaría la inevitable esclavitud con respecto a la excepción, es tan amplio y complejo que el enjuiciamiento de su significación e importancia juega un papel más importante en geología que en aquellas ciencias naturales en que el sistema de excepciones es más reducido. Es decir, la geología es, por su índole propia, inescapablemente, una disciplina muy subjetiva.

Prosigue Kitts para señalar que el empleo de tantas generalizaciones, que parecen estadísticas y probabilísticas, imparten a la geología una semejanza de indeterminación, pero resulta erróneo eucar esta indeterminación geológica, como han hecho algunos geólogos, con el "principio de indeterminación" de la física moderna, ya que esta indeterminación constituye en muchas teorías, por ejemplo en la mecánica cuántica, una parte integral consustancial de la teoría. Es, por decirlo así, aceptada, y ni siquiera se insinúa que pueda ser eliminada mediante un análisis más detallado. Mientras que en geología se admite justo lo contrario. La incertidumbre se considera como una característica que se tolera hasta que un conocimiento más perfecto de las variables permite su sustitución por la certeza. O sea hasta que las expresiones probabilísticas y normativas puedan ser sustituidas por expresiones universales.

Por consiguiente, los geólogos son fundamentalmente deterministas. El concepto de indeterminación, en el sentido estadístico que se emplea en física y en otras disciplinas, sólo entra en geología en la medida en que ésta haga uso de principios físicos que utilicen a su vez procesos estadísticos; como, por ejemplo, ocurre en los estudios y representaciones estadísticas de fenómenos climatológicos o de orientaciones preferidas y dominantes en las fracturas y deformaciones de las rocas, tan en uso en geología estructural.

O, como dije en otro trabajo (J. M. Ríos, 1960), todas las situaciones geológicas son en teoría perfecta y exactamente definibles; sólo hay incapacidad por nuestra parte para llenar los vacíos en el conocimiento del proceso. Cada acontecimiento ha dejado sus huellas en las rocas a que ha afectado. Cada situación actual es el resultado de la actuación de una serie o cadena más o menos larga y complicada de situaciones pasadas y sólo de una. El que un geólogo no sea capaz de deducirlas no quiere decir que no haya habido un proceso, y sólo uno, que haya dado lugar a tal situación. El geólogo, ante los complicadísimos procesos de la Naturaleza, sabe que hay un desarrollo auténtico, y uno sólo, para cada uno de ellos, con independencia de que pueda o no llegar a determinarlo.

De modo que los procesos intrínsecamente geológicos no son resultados de valores medios, no tienen por qué tener carácter estadístico. Y ello es debido a su índole histórica.

Por consiguiente, no hay limitaciones de origen a la precisión de las ciencias geológicas. Cada situación es perfectamente definible, puesto que es resultado de una cadena o serie de procesos y sólo de una.

Sólo hay incapacidad, por parte de los geólogos, para interpretarlos; porque estos procesos son muy complejos y porque la documentación es difícil de leer, y con frecuencia fragmentaria. Cuando el geólogo ofrece una alternativa de diferentes soluciones tentativas, expresión de una indeterminación aparente, sabe muy bien que sólo hay un proceso que ha dado origen a esa situación, y que quizá no es ninguno de los que él propone; pero al hacerlo reconoce su incapacidad de llegar más lejos, y propone las soluciones que le parecen más lógicas y acertadas y más vecinas a la verdad.

De esta manera hemos llegado al tema de las limitaciones, del que hemos hablado ya parcialmente y que analicé con algún detalle hace pocos años (J. M. Ríos, 1962), junto con una teoría de la perfectibilidad inmanente de las ciencias geológicas, precisamente como consecuencia de esas limitaciones.

En mi opinión, un trabajo geológico puede ser perfeccionado siempre, con independencia de su calidad, en forma asintótica.

Los factores que intervienen en el establecimiento, o más bien la definición de esta perfectibilidad, son de tres índoles:

A) Por limitaciones inherentes a la índole del conocimiento geológico, cuya fuente principal es la observación. A este conocimiento, o su fuente de información, se oponen dos tipos de obstáculos: 1. Naturales, constituidos por obstáculos que la naturaleza opone a la observación. 2. Circunstanciales, constituidos por las circunstancias variables, en que nos sea posible practicar la observación.

B) Por limitaciones subjetivas que están representadas, sobre todo, por el carácter gradual de la capacidad en la facultad de asimilación del conocimiento. Factor que, aunque variable en grado entre los distintos sujetos, es permanente en el sentido de que cada geólogo está sometido, aunque en distinto grado, a esta limitación.

C) Por limitaciones que dependen de la pura casualidad.

No ampliaremos los conceptos referentes a las limitaciones inherentes.

a la índole del conocimiento geológico, porque ya nos hemos ocupado de ellas en otra parte anterior de este trabajo. Las limitaciones subjetivas están constituidas por el carácter gradual de la capacidad de asimilación del conocimiento ganado por la observación.

Esta limitación se manifiesta, y está expresada, por el hecho de que cada vez que nos enfrentamos con un paisaje o accidente, o problema geológico, que creemos conocido, observamos en él facetas nuevas. Unas veces depende ello de las limitaciones antes mencionadas de índole natural, al cambiar las circunstancias de observación, pero hay siempre un fondo remanente que resulta de una auténtica limitación en la capacidad de asimilación. Así, cuando un geólogo se enfrenta por primera vez con un problema geológico, en el terreno, su atención se ve atraída hacia los rasgos más destacados, los más salientes. Estos son a veces los más importantes, pero pueden no serlo. La atención resbala sobre rasgos o características menos acusadas y a veces más trascendentes. No es este fenómeno consecuencia de un defecto en la calidad de la observación, sino una auténtica limitación en la capacidad de asimilación. Si pasado el tiempo volvemos al mismo lugar, para continuar la consideración del mismo problema, nuestra atención ya no se fijará sobre los rasgos más salientes, ya asimilados, sino que pasará automáticamente a analizar otros menos aparentes hasta ahora inadvertidos. Esto ocurrirá tantas veces volvamos, según es mi experiencia y la de muchos otros geólogos. Por eso el conocimiento geológico es, de raíz, perfectible en forma permanente, y su acercamiento a la verdad absoluta es de tipo asintótico.

Las limitaciones que dependen de la pura casualidad están en relación con el hecho de que la ciencia geológica se nutre casi exclusivamente, como material informativo, del suministrado por la observación. Y también por el hecho de que la observación no puede ser absolutamente continua y con frecuencia es no sólo discontinua, sino muy discontinua, lo cual establece el azar, o la casualidad, como factor limitante de gran categoría. El geólogo no puede, en cada caso, pisar todo el terreno. Por consiguiente ha de extrapolar, pero la extrapolación supone siempre una renuncia a determinado grado de exactitud, muy grande en unas ocasiones, más pequeño en otras. Como además ocurre que hechos fundamentales del conocimiento geológico no tienen una ubicación general, sino que es a veces muy local, como por ejemplo ocurre en caso tan decisivo como la localización de fósiles, discordancias, restos erosivos o ventanas tectónicas, entre otros muchos ejemplos, si estos fenómenos no se encuentran sobre nuestros itinerarios la pura casua-

lidad hará que perdamos la oportunidad de adquirir conocimientos de importancia fundamental. De igual modo un puro azar puede poner estos hechos en posesión de otro geólogo que recorra después el terreno. No es de extrañar, por consiguiente, que geólogos poco expertos rectifiquen y corrijan errores cometidos, por omisión debida al azar, por geólogos mucho mejor preparados. Por consiguiente, el azar constituye una limitación natural que es consecuencia inmediata de la imposibilidad de practicar observaciones absolutamente continuas.

Ya me doy cuenta perfecta que estos factores juegan de muy distinto modo, y en muy distinta escala, en unos y otros casos, y que algunos son incluso casi inoperantes. Pero lo que me propongo señalar aquí no es la graduación de su calidad, sino su existencia, para señalar que son limitaciones inherentes a la índole de las ciencias geológicas.

Estas limitaciones, junto con las de otra índole que hemos expuesto en un apartado anterior, prestan una indeterminación a las fuentes mismas de las ciencias geológicas o a su mecanismo. Como consecuencia resulta que los principios geológicos sólo pueden ser tentativos y aproximativos.

### LA GEOLOGIA, ¿ES CIENCIA?

A la vista de las consideraciones precedentes nos volvemos a plantear la cuestión: La geología, ¿es ciencia? ¿Qué clase de ciencia? ¿Cómo se clasifica?

Decía Cueto que la ciencia tiene por objeto la observación y conocimiento de los fenómenos tal como se ofrecen a nuestros sentidos, así como su descripción y sistematización en grandes teorías.

Con arreglo a esta denominación la geología cumple los requisitos mencionados, pero por una serie de circunstancias limitantes no llega a formular auténticas teorías, sino que sólo expresa generalizaciones; lo que en geología se conoce con el nombre de teorías no son sino generalizaciones a las que falta la necesaria universalidad para llegar a constituir verdaderas teorías, mucho menos leyes.

Bradley (W. H. Bradley, 1963) señala que los que se ocupan del estudio de la filosofía de las ciencias están de acuerdo en que en física y en química las leyes generales son muchas y de general aceptación. Incluso muchos de

entre aquéllos las consideren condición “sine qua non” de la ciencia, de modo que aquellas disciplinas que no abundan en leyes generales no entran en la categoría de auténticas ciencias, sino en un grupo más o menos amorfo, de menor categoría. Algunos dicen que la geología carece de o tiene escasas leyes generales, o quizá no se ha sabido reconocerlas y por consiguiente formularlas.

Estoy de acuerdo con Bradley (1963) en que son escasas o no llegan a la categoría de leyes las generalizaciones geológicas, pero también en que la geología, por su índole, no es apropiada a tales generalizaciones.

Dice Bradley: ¿Por qué la geología no es apropiada a tales generalizaciones? ¿Es que los geólogos no se preocupan de los aspectos universales de la geología? ¿Es por falta de madurez de las ciencias geológicas? ¿Quizá los geólogos consideran las leyes como trampas peligrosas para el pensamiento geológico? ¿Por qué las índoles de razonamiento geológico difieren del de los físicos y de los químicos?

La respuesta a muchas de estas preguntas se encuentra a lo largo de las consideraciones anteriores.

No es apropiada a las generalizaciones por el carácter de dependencia que tienen los fenómenos auténticamente geológicos con respecto a la cadena de los que le han precedido; es decir, por su carácter histórico, así como por la infinita variedad de factores y circunstancias actuantes regidas intensamente por el marco de lo local o lo regional.

Y no es que los geólogos no se preocupen de los aspectos universales de su disciplina, pero cuando se remontan a ellos, o recaen en fenómenos de orden astronómico, o en aspectos parciales físicos y químicos; es decir, en leyes astronómicas, físicas o químicas.

No cabe duda que la ciencia geológica, como disciplina muy joven, relativamente hablando, es inmadura; pero probablemente lo será siempre en mayor o en menor grado, puesto que por el principio fundamental del actualismo por el que se rige, que consiste en juzgar del pasado por el presente, se ve obligado a juzgar acerca de lo ocurrido en tres mil millones de años por lo observado en poco más de doscientos años, y la observación madura es aún mucho más restringida. Lo demás ha de ser inferido sin posibilidad de repetición ni comprobación, lo que considera de exigencia para el establecimiento de auténticas leyes.

No es de extrañar, por consiguiente, que el geólogo, si conoce bien todas estas circunstancias, tema verse aprisionado por camisas de fuerza que

limiten la necesidad natural de especulación exigida por las mismas condiciones de su disciplina. Y teme que tales circunstancias puedan ser ignoradas por muchos geólogos que obtengan una falsa idea de exactitud y una complacencia basada en la confianza, en la veracidad de sus resultados y en la de teorías no consistentes por la falta de validez de sus fundamentos.

De aquí que Harmann (1939) reclame con tanta vehemencia como insistencia, que ni los principios aparentemente más sólidos y asentados sean aceptados sin crítica y examen, sino que deban ser sometidos a constante prueba y revisión. Recordemos, aunque sólo sea, la teoría contraccionista.

Coincidiendo en el mismo espíritu, Albritton, Jr. (C. C. Albritton, 1963) señala la preocupación existente en Estados Unidos acerca de cómo se prepara a los geólogos para el estudio y ejercicio de las ciencias de la Tierra. Y la comisión encargada de examinar la situación y proponer soluciones recomendó, entre otras cosas, que sólo debían presentarse, a todos los niveles de instrucción, aquellas inferencias a cuya preparación había precedido la presentación de los datos esenciales de observación y los pasos lógicos que conducen a aquella deducción; pero que para ello era preciso revisar desde la base toda la estructura lógica de la ciencia geológica.

Es evidente que la índole del razonamiento geológico difiere, y profundamente, del que practican los físicos y químicos; cierto es que comparte con ellos una gran cantidad de actividades, mejor dicho, puesto que la física y la química son columnas fundamentales de la geología, debe conocer y utilizar mucho de sus principios; pero cuando se llega al pensamiento estrictamente geológico, entonces se hace altamente especulativo, filosófico, debido a su carácter indeclinable de ciencia histórica.

Coincido con Bradley en que los geólogos (y biólogos) tienen un sistema diferente de razonamiento disciplinado, que ofrecen a los filósofos de la ciencia.

Igual y plenamente coincido en que éstos aplican un criterio erróneo al emplear como calibre los fines y medios de las ciencias físicas y químicas, tradicionalmente rigurosas, para juzgar los fines y medios de otras disciplinas de las ciencias de la Naturaleza.

Es el mismo criterio que he expuesto en diversas ocasiones, sobre todo cuando señalaba (1960) que los estudiantes de ingeniería, cuyas mentes geológicas debía contribuir a formar, padecían de una verdadera deformación mental, debida a su preparación formativa, basada casi exclusivamente en la matemática, que creaba en ellos un verdadero fetichismo de lo formulable y

expresable con exactitud matemática, que no representaba una matemática de investigación, sino que era puramente mecanicista. De modo que llegaban a perder toda noción de cuál fuese el ejercicio libre de la mente en campos no sujetos a las rígidas normas de la formulación matemática (D. Aragonés Puig, 1952).

Todo esto es ajeno a la propia esencia de la geología y sólo se encuentra, aunque frecuentemente y con categoría de fundamento, en sus columnas básicas, la física y la química, la mecánica y la petrología, en la medida en que intervienen y rigen los fenómenos geológicos.

Mientras que la matemática aplicada es esencialmente mecanicista, y no es más que una herramienta, difícil de dominar y manejar si se quiere, la especulación geológica requiere siempre un esfuerzo creador al tratar de encontrar la solución más razonable. Ya hemos analizado antes las razones por las que la exactitud es un objetivo inalcanzable en geología.

Por consiguiente: ¿Qué es la geología? Yo diría que la geología es una actividad cuyo objetivo es el conocimiento de la Tierra y más inmediatamente de su corteza superficial, y para cuyo desarrollo es necesaria la conjunción o contribución de un gran número de disciplinas, que van desde las ciencias físicas y químicas, con su imprescindible bagaje matemático, hasta las ciencias biológicas. Y diría también que su mecanismo mental difiere mucho del que exige el desarrollo de las anteriores disciplinas por el carácter netamente histórico y altamente inductivo y especulativo que afecta. También diría que es altamente vocacional, aunque no sea por otra razón de la que de la íntima comunión que con la Naturaleza entraña, obliga al que la ejerce a una vida dura, física, moral y socialmente hablando.

Por consiguiente es una actividad que exige un bagaje de conocimientos básicos excepcionalmente amplios, que se han de afrontar con mecanismos mentales muy distintos. Por lo que la mentalidad del geólogo ha de ser de grandísima latitud y amplitud, ya que ha de pasar de razonamientos enfocados con el criterio de exactitud que exigen las ciencias físicas y químicas, así como las matemáticas, a las especulaciones más imaginativas.

Si recurrimos a nuestro diccionario oficial de la lengua vemos que la ciencia se define como conocimiento de las cosas, pero la certidumbre absoluta es difícil de confirmar salvo quizá en las matemáticas y sus aplicaciones más directas a otras disciplinas. Pero también se da otra acepción, como cuerpo de doctrina, metódicamente ordenado, que constituye un ramo particular de los conocimientos humanos, en cuya definición encaja por completo nuestra

disciplina. Son siempre, según la Academia definidora de nuestro idioma, ciencias exactas las que sólo admiten hechos rigurosamente demostrados, y es evidente que la geología puede creer en la verdad de muchas de las cosas que afirma, pero no tendrá la posibilidad de demostrarlas.

Como ciencias naturales define la Academia las que tienen por objeto el conocimiento de las leyes y propiedades de los cuerpos, que es lo que intenta, y logra, en mayor o menor medida, la nuestra.

Como ley define la regla y norma constante e invariable nacida de la causa primera; pero los fenómenos constantes o invariables de que tratan los geólogos no son puramente geológicos, sino físicos o químicos, causales en geología. Como principio define el fundamento o base de un razonamiento o discurso y es patente que son principios lo que trata de definir el geólogo.

La mente del geólogo es una mente libre en su razonamiento, pero controlada por la necesidad de que se ajuste a infinidad de hechos de observación, de principios y de leyes naturales que ninguna enunciación debe contradecir. Su razonamiento debe ajustarse, además, a las rigurosas exigencias de la lógica.

Más que una ciencia en sí es una actividad dirigida a un fin altamente científico, para cuyo cumplimiento ha de justificar de los medios y conocimientos de otras muchas ciencias, de la física, de la química, de la meteorología, de la biología, etc.

Es menos que una ciencia, y más que una ciencia, es un verdadero conglomerado de partes de ciencia dirigido orgánica y armoniosamente a un fin concreto, el conocimiento de la corteza de nuestro globo terráqueo.

Vistas así las cosas parece inútil que se trate de buscar a la geología un nivel o carácter comparativo de categoría con otras ciencias.

La geología es, como dijimos antes, sencillamente diferente. Yo creo que es una de las carreras más vocacionales que existen, puesto que de partida no ofrece más que una vida dura, una economía nada brillante y un apartamiento de la vida social, y como compensación una maravillosa comunicación con la Naturaleza y un campo especulativo sin límites; es decir, dos de los atractivos más brillantes para una juventud física y mentalmente sana.

No es lógico aceptar que haya una repartición orientada de mentes privilegiadas hacia unas u otras ciencias, ni que las ciencias de expresión matemática y exacta atraigan a las más claras inteligencias más que los campos

del arte, de la medicina, de las leyes, de la biología o de cualquier otra actividad mental.

Desechemos por consiguiente todo pensamiento de inferioridad. Estoy seguro de que las limitaciones de la ciencia geológica no derivan de una limitación en la capacidad de los que se dedican a ella, sino de la índole misma de la geología. El campo de la geología es esencialmente vocacional y creo que la vocación es el elemento selectivo de los geólogos.

Por otra parte no se piense que otras ciencias, incluso las consideradas como mucho más exactas, estén exentas también de muchas limitaciones. Véase a este respecto lo que decía recientemente Bush (V. Bush, 1965) uno de los más distinguidos científicos y técnicos de los tiempos actuales.

Si examinamos en qué consiste el rigor científico de la física y de la química, veremos que en la expresión matemática y evaluación numérica de una serie de relaciones fijas entre los valores y magnitudes que existen en determinados fenómenos naturales. Estos fenómenos naturales por lo general conservan tal relación natural con independencia del espacio y del tiempo y de otros factores.

Pero en geología esto no es viable, cada conjunto de fenómenos va ligado a una serie de circunstancias de lugar, modo y época que son absolutamente inevitables; porque, eliminada alguna de esas circunstancias en el razonamiento, se desvirtúa por completo el carácter del fenómeno, y tiene lugar su descomposición en fenómenos físicos, químicos, meteorológicos o de otra índole, pero no ya puramente geológicos.

Si el complejo de los geólogos resulta de la incapacidad de formular leyes hay que pensar que las leyes no son sino expresión de la uniformidad de los fenómenos que expresan. Si no existe esta uniformidad, ¿cómo pueden surgir las leyes? La geología es una ciencia de hechos individuales, las ciencias físicas y químicas lo son de fenómenos colectivos. Alegrémonos y estemos orgullosos de haber sido llamados por nuestra vocación a cultivar uno de los campos más singulares del saber humano.

Por otra parte su amplitud es tan grande que ya no hay capacidad mental que la pueda abarcar por entero. Esta realidad, y la diversidad fundamental del carácter de sus diversas actividades, han hecho que desde tiempo atrás se ramifique en muchas ramas y especialidades.

El próximo paso parece que debe ser, por consiguiente, el estudio de su enlace y unión con otras ciencias y de su subdivisión en diversas ramas.

## RELACION DE LA GEOLOGIA CON OTRAS CIENCIAS

El edificio de la geología se apoya en varias columnas fundamentales, que son la física, la química, la petrología y la paleontología o paleobiología. Como consecuencia exige una sólida base matemática como elemento necesario para la comprensión de la mayor parte de esas columnas fundamentales.

La física y la química son bagaje indispensable de la petrografía y además participan en una serie de principios y fenómenos meteorológicos y mecánicos que rigen los procesos más trascendentales de la geología, tanto en dinámica externa como en interna.

La conexión con las ciencias biológicas es íntima, y no me refiero al hecho de que la evolución biológica constituya un elemento fundamental de la estratigrafía, y de la que la paleontología esté entrelazada en apretada trama con la geología, sino a que los fundamentos lógicos de ambas ciencias tienen mucho en común y de que compartamos con los biólogos muchos problemas a que son ajenos los mecanismos mentales de otros grupos de ciencias.

Es grande su relación con la astronomía no sólo para explicar el origen mismo de la Tierra y el de muchos fenómenos meteorológicos dependientes de aquélla, sino para explicar las trascendentes y remotas causas de las reformaciones profundas, el origen mismo de su dinámica interna y de sus alteraciones, quizá rítmicas y periódicas en relación con conjunciones astrales. Y, además, al salir el ser humano de la órbita terrestre se va a ocupar de la composición y naturaleza de otros astros. Esto, que hubiera parecido un sueño juliovernesco, o una utopía, hace pocos años, va a ser en breve realidad y ha dado origen a una nueva rama de la geología, la geología astral.

Señalé tiempo atrás (J. M. Ríos, 1960) que la geología comparte con la medicina la capacidad del diagnóstico, o sea el reconocimiento intuitivo y subconsciente de analogías, por comparación instintiva y rapidísima, del hecho actual con los casos almacenados en nuestra memoria. Es cosa que se comienza a ensayar ahora mediante las memorias electrónicas de manera objetiva, y que el geólogo lleva a cabo de manera subjetiva, matizando de forma igualmente intuitiva y subconsciente, las situaciones.

De aquí su relación, cada vez más estrecha, con la cibernética, que realiza mecánica o electrónicamente unas comparaciones mucho más completas y extensas que lo pueda hacer la mente del geólogo, aunque ésta las

lleve a cabo de manera más perfecta, puesto que permite introducir un juicio a que es ajeno el automatismo de las máquinas.

La relación con las matemáticas se lleva a cabo a través de las ciencias físico-químicas y también de la estadística.

De la misma manera que una mentalidad exclusiva o exclusivamente matemática, como dije antes, constituye un impedimento para el desarrollo especulativo e imaginativo que exige la mente del geólogo, me parece igualmente peligroso que el geólogo pierda, en sus especulaciones, la noción del rigor y la exactitud científica.

Por eso yo pediría una profunda formación matemática para los geólogos. No sólo porque esa es la única manera posible de llegar a la comprensión y aprehensión de los complejos fenómenos físicos y químicos que rigen a los geológicos, sino porque constituyen la mejor disciplina de formación mental rigurosa, y acostumbra a la mente a exigirse a sí misma el máximo rigor, con un control igualmente riguroso de los resultados. Es el balancín que da el equilibrio necesario entre el rigor y la especulación, permitiendo obtener el máximo provecho de ambos.

La relación de la geología con las ciencias históricas es grande no sólo porque enlaza con ellas a través del puente de la prehistoria, sino sobre todo porque su índole y mecanismo son los de una ciencia fundamentalmente histórica.

Con la filosofía, finalmente, suma de todas las ciencias; porque las limitaciones de todo orden a las que está sometida la impone un carácter alta y noblemente especulativo, de neto cuño filosófico.

Los enlaces de la geología con estas ciencias no son de carácter fortuito; no son tangenciales, sino profundas interpenetraciones de conceptos y principios.

## RAMAS JOVENES Y TENDENCIAS MODERNAS EN GEOLOGIA

La geología no sólo es una disciplina que requiere una base muy amplia y variada de conocimientos, sino que además ella misma se resuelve en una gran variedad de facetas o especialidades.

Algunas son antiguas, otras son más modernas o muy jóvenes. Nos vamos a ocupar aquí solamente de las tendencias modernas en las jóvenes ramas de la geología.

Por ello nada especial diremos de la petrología ni de la paleontología. Son partes componentes de las ciencias geológicas y columnas básicas tan viejas como ella misma. No habrá petrólogo ni mineralogo que no se sienta geólogo, ni geólogo sin un conocimiento básico de ambas disciplinas. Recordemos que la petrología implica consigo la mineralogía y conocimientos profundos de física y de química, y la paleontología constituye un enlace con las ciencias biológicas y aun las filosóficas (W. H. Bucher, 1941).

Las ramas de la geología han nacido por diversas causas y a veces por concurrencia de varias. En primer lugar porque con su gran diversidad la geología abarca actividades muy distintas no sólo como técnicas muy diferentes, sino con mecanismos mentales y puntos de vista muy divergentes.

En segundo lugar porque la acumulación, terriblemente incrementada, de información observativa y de estudios impide que una mente, por privilegiada que sea, abarque en detalle, en conocimiento profundo, ni siquiera un pequeño sector del campo geológico.

En tercer lugar porque el legítimo afán de destacar y distinguirse que anima a muchos geólogos, sobre todo a los jóvenes, les hace explorar nuevos caminos que muchas veces no conducen a nada, otras veces se convierten en campos muy fructíferos de apasionante trabajo.

Emancipadas la petrología y la paleontología como ciencias hermanas o más bien como socios comanditarios de esa empresa intelectual, queda siempre una división neta de la geología en varias especialidades de categoría superior y cuando hablamos de especialidades no hablamos de exclusividad, ya que el geólogo necesita conocer los principios básicos y técnicos de todas ellas para merecer ese nombre, sino de una atención y dedicación especial, a ese campo, de cuyos progresos procura estar siempre al tanto.

Los fenómenos de dinámica externa y los de dinámica interna difieren mucho, tanto por el tipo de conocimientos básicos que dominan como por el campo observatorio de donde procede su información. El enlace entre ambos lo constituye la tectónica cinemática o descripción figurativa de las deformaciones de las rocas.

La dinámica externa se ocupa sobre todo de problemas de meteorología, acciones destructivas sobre las rocas, morfología de la corteza visible, formación de las rocas de acarreo y sedimentarias, y configuración de las deformaciones tectónicas de las rocas. Se relaciona con fenómenos físicos y químicos que se desarrollan en campos de temperaturas y presiones normales, dentro de la escala asequible en el laboratorio, y con fenómenos biológicos.

y tanto para explicar formaciones y destrucciones de rocas como para definir, mediante los fósiles, sus sucesiones. Los conocimientos de mineralogía y petrografía que exige su tratamiento son más ligeros, al menos para las rocas ígneas.

Su enlace más lógico es con la geología histórica y, si trata de materiales útiles se referirán sobre todo sus actividades, a petróleos, carbones, materiales salinos y más rara vez a menas metálicas, como no sean de origen sedimentario.

Otra derivación natural de sus actividades será la cartografía geológica en que, naturalmente, preferirá aquellas zonas en que dominan las rocas sedimentarias.

Los fenómenos de dinámica interna se desarrollan en regiones más profundas de la corteza. Es la zona de las rocas ígneas y de los fenómenos de metamorfismo. Sus conocimientos petrológicos serán mucho más exigentes, sobre todo para el extenso y complejo grupo de las rocas ígneas y metamórficas. Su campo de acción ha sido el teatro de profundas reformaciones, y también de deformaciones peculiares, debidas a que las rocas están sujetas en esas zonas profundas a presiones de contención. Todo ello se desarrolla a altas o muy altas presiones y temperaturas, fuera del campo de lo experimental la mayor parte de las veces, y nunca en regiones directamente accesibles a la observación, de modo que sólo podemos inferir las causas por observación de los efectos, una vez que esas rocas han sido llevadas a la superficie o que las ha alcanzado una profunda denudación.

Sus enlaces con la biología histórica resultan más indirectos, y los establecimientos en su campo de la relación de edades se rigen por el principio de antecendencia, y más modernamente, pero con muchas dificultades y limitaciones, por las determinaciones de edades absolutas por el método radiactivo.

En esa zona se crean la mayor parte de los criaderos metalíferos, bien sean de segregación, neumatolíticos o de sustitución; campo este último en el que enlaza ya con los fenómenos de la corteza superficial, dominada por la dinámica externa.

De modo que enlaza con la especialidad de los criaderos mediante los profundos conocimientos mineralógicos, petrográficos y de las paragénesis minerales que exige la especialidad.

Es natural que su atención se dirija a la cartografía de las regiones donde predominan las rocas ígneas y metamórficas para cuyo difícil reconoci-

miento y comprensión tienen la exigente preparación adecuada. Todo ello requiere un profundo dominio de la técnica microscópica.

Existe una actividad geológica que exige un dominio general de ambos campos, el de la dinámica externa y el de la dinámica interna; es decir, de los fenómenos que se desarrollan en la parte más superficial de la corteza y los que se gestan en la parte más profunda, que es la de la cartografía geológica.

Para mi gusto personal es la actividad geológica más bella y más completa. Requiere un conocimiento amplio y extenso de ambos dominios sin que sea necesario que en cada caso descienda al nivel del especialista, cuya ayuda requerirá en el caso de que las dificultades del problema rebasen la capacidad de su propia preparación.

La mera enunciación señala su objetivo, su alcance y su misión, así como sus exigencias. Es a la geología lo que el médico general a la medicina, y sus recursos mentales han de ser muy amplios. La diversidad de casos que va a encontrar es tan grande que sólo la experiencia le podrá hacer maestro de su especialidad; pero si llega a dominarla podrá considerarse como un geólogo muy completo y su opinión será oída con interés y con respeto en todos los campos de la actividad geológica.

Señala Hoover Mackin (J. Hoover Mackin, 1963) que existe una tendencia a considerar la cartografía geológica, no como investigación, sino como una operación de rutina, algo así como la topografía desde el punto de vista del ingeniero.

Pero yo insisto en la altísima categoría geológica del trabajo de cartografía, al menos tal como se lleva a cabo en Europa. Ciertamente es que en Estados Unidos, al mecanizar o intentar mecanizar este trabajo, al menos por las compañías petroleras, se le ha despersonalizado; el recogedor de observaciones, que ya apenas merece el nombre de geólogo, no es sino un apreciador y reseñador de características, que no evalúa. No es paleontólogo, sino que solamente recoge las muestras. No es interpretador de sus apreciaciones, sino que las pasa a un gabinete, cuando no a una máquina, que las clasifica, y luego otro grupo de personas, muchas veces completamente ajeno al conocimiento del terreno, las evalúa y obtiene las conclusiones. Llevada a cabo de este modo, no cabe duda de que la cartografía geológica pierde casi toda su categoría. Entonces el operador en el campo es realmente un mecanicista que literalmente se dedica a aplicar una técnica sin más contribución personal, exactamente lo que hace un topógrafo.

Cierto que no hay separación neta entre las tres especialidades que acabamos de señalar, sino que se funden una con otra como los colores del espectro lumínico.

La misión del geólogo cartógrafo es primero el desbroce, luego el afino del conocimiento de la estructura geológica de una región o de un país, para lo cual irá elevando la minuciosidad y precisión de las grandes a las pequeñas escalas. Ha de dominar hasta cierto grado, cuanto más alto mejor, los fenómenos de la dinámica externa e interna y sus técnicas y conocimientos básicos, y se apoyará además en otras técnicas modernas, como son la fotogeología y la sedimentología. Propondrá problemas a los especialistas y el material que produce será la base de las aplicaciones técnicas, mineras, agrícolas y de obras públicas de la geología. Sus actividades constituyen la base de las ciencias geológicas de un país, y su nivel servirá de orgullo o de descrédito al mismo, puesto que los frutos de su trabajo tendrán que ser integrados en las cartografías internacionales o mundiales y serán objeto de minucioso contraste y profunda crítica. En una palabra, constituiría quizá no la representación más distinguida, pero sí la más frecuente y conocida de la actividad geológica de un país fuera de sus fronteras.

Añadamos que la labor de la realización de la cartografía geológica de un país es una tarea "per se" y de elevadísima categoría, que no puede ni debe ser supeditada a ningún otro fin, con lo que no haría sino padecer y resentirse.

Los planes de esta realización dependen de la ordenación de las circunstancias naturales y de la historia geológica del país, y exige, en primer lugar, su consideración como un gran conjunto, y después su desmembramiento en unidades naturales.

Su realización completa suministrará, para lo futuro, la base sólida para todas las aplicaciones utilitarias. Pero si por una razón de necesidad urgente fuera preciso realizar estudios de zonas restringidas con fines utilitarios, esta tarea debería ser llevada a cabo independientemente, sin interferencia con los planes de la cartografía nacional, puesto que tanto el planteamiento de partida como los fines que se persiguen, son muy distintos. Considero esto tan importante que debo insistir. El conocimiento de la estructura geológica de un país, explicada por medio de su cartografía, es lo básico, lo fundamental. Lo demás es lo transiente, lo contingente, y no debe pensarse nunca en sostener el árbol por las ramas, sino por su raíz y tronco.

Además, la cartografía geológica suministrará la mayor parte del ma-

terial que necesita la especialidad más extensa de la geología, la del paleogeólogo o definidor de la historia geológica de un país o de una gran unidad geológica, es decir, la del sistematizador.

Este, podríamos decir supergeólogo, es el que estudia las informaciones y trabajos procedentes de todas las fuentes posibles y trata de reconstruir la faz de la Tierra en las sucesivas épocas pasadas para esa región o país o conjunto de países, o a la escala del globo. Su capacidad de síntesis ha de ser inmensa y profundísimo el conocimiento del concepto de facies, de manera que sepa extraer de cada información la mayor cantidad posible de conclusiones. Nada de esto será posible si primero no ha adquirido una profunda experiencia en la construcción de trabajos de la índole de los que ha de sintetizar. Es el último y más elevado escalón en la graduación de actividades, y sólo llegan a él los que tienen un largo y brillante historial de experiencia de campo y además una mente privilegiada. Porque además pasará de la reconstitución de la faz de la Tierra, de la que más o menos parcialmente es su historiador, a la reconstitución de teorías generales que traten de explicar de manera lógica y coherente, y sin chocar nunca con la información observativa, los grandes procesos creadores de las situaciones geológicas del presente y del pasado.

Lo que requiere un conocimiento lo más completo posible, por ahora todavía muy incompleto de la constitución de la Tierra como astro y así enlaza con la astronomía, no sólo para poder inducir acerca de la constitución interna de la Tierra sino para poder interpretar una larga serie de fenómenos, algunos de ellos muy trascendentales, indudablemente ligados a influencias astrales.

De esta manera ligamos con la geofísica, pero ésta es una disciplina tan peculiar y tan autónoma que no nos ocuparemos de ella con detalle.

Existen dos disciplinas geofísicas realmente independientes porque, aunque tienen mucho en común, sobre todo en los fundamentos de sus técnicas, sus escalas y sus objetivos son muy distintos.

Por un lado tenemos la geofísica de la corteza superficial, cuyo alcance casi nunca llega a la discontinuidad de Mohorovicic y generalmente queda muy por encima.

Más que una disciplina es una técnica, que se vale de medios físicos por el reconocimiento mecánico o eléctrico, o de otras propiedades de los materiales de la corteza superficial, para obtener una serie de datos de información en zonas profundas que escapan a la observación directa. Se

expresa matemáticamente, pero sus expresiones están afectadas de una serie de coeficientes que representan o tratan de representar constantes físicas de determinados materiales. Dada la enorme y a veces rapidísima variabilidad de los materiales que constituyen la corteza terrestre, se comprende que sus resultados exijan una fuerte dosis interpretativa.

En los últimos tiempos ha recibido un gran apoyo de la mecánica electrónica, lo que le ha permitido no solamente simplificar y acelerar enormemente los procesos de cálculo, que en algunos métodos quedan eliminados, sino incluso ofrecer imágenes gráficas directas de la disposición de los materiales (no de su definición). De todos modos, incluso estas imágenes gráficas suelen estar, excepto en los casos más sencillos de claridad extrema, sujetas a un alto grado de interpretación en la misma imagen. Son bastante variados y muy distintos unos de otros los fundamentos y métodos de las distintas técnicas geofísicas, por lo que resulta difícil resumirlos para llegar a conclusiones en un denominador común.

No obstante, es preciso señalar que lo que suministran los estudios geofísicos son valores gráficos o numéricos que han de ser identificados como correspondientes a determinados tipos y situaciones de rocas, lo que lleva consigo una dosis interpretativa siempre variable, a veces muy grande. Pero es que, además, el geofísico no hace más que suministrar información que luego ha de ser interpretada geológicamente por geólogos, con criterios puramente geológicos.

El campo de la geofísica de la corteza superficial es sobre todo el de la geología aplicada a la minería, o a la construcción. Sus resultados pasan desde los logros más brillantes hasta los fracasos más rotundos. Estos fracasos son debidos unas veces a limitaciones naturales de los métodos, a cuyas características no responden las rocas que el problema implica; otras veces a la excesiva complejidad de los problemas. En general se busca emplear dos o más métodos geofísicos de distinta base, con objeto de poder eliminar con un sistema los obstáculos o variables que se oponen al empleo del otro.

Empleada sincera y honradamente la geofísica, puede constituir una gran ayuda interpretativa, a veces incluso la única fuente posible de información; pero por sus especiales características y su fin eminentemente industrial propende a una comercialización peligrosa.

En cuanto a la geofísica del globo, es una pura disciplina científica cuyos máximos contactos son con la física y con la astronomía, pero suministra

información indispensable y contraste imprescindible para el teorizador de la geología.

La geoquímica constituye la contrapartida de la geofísica respecto de las ciencias químicas, pero en realidad pugna ahora por desprenderse de la petrología, a la que aún permanece íntimamente ligada, y por establecerse con un sistema independiente.

Se apoya en técnicas largas, complicadas y costosas en lo que se refiere a su aspecto científico, y deberá constituir, cuando alcance su mayoría de edad, un auxiliar muy valioso tanto de la petrogénesis como de la mineralogénesis, y por consiguiente de la disciplina que se ocupa de los criaderos o yacimientos minerales, de tan inmediato interés para la minería.

Existe un intento de geoquímica aplicada, basada sobre todo en determinaciones de trazas de elementos y de su densidad de distribución, que trata de afianzarse como método práctico para la determinación de la presencia de elementos útiles, por ejemplo de hidrocarburos; pero es necesario que una aplicación más intensa y más extensa demuestre su eficacia. Mucho se obtiene ya, y aún más espera de la geoquímica por estudio de isótopos, radiactivos o no, cuya presencia va ligada a determinadas condiciones primarias o circunstancias de origen.

La vulcanología ha atraído la atención de brillantes personalidades, y hay repartidos por diversas regiones volcánicas centros o grupos de estudio dedicados a promover el avance de tan parcial, pero también tan interesante, aspecto de la geología. Aparte de la utilidad práctica para el anuncio de previsión y activación de erupciones y fenómenos satélites, con objeto de evitar los riesgos de catástrofes, estos estudios suministran muy interesante información acerca de la composición y naturaleza de los magmas, y para lograrla, los observadores ponen a veces en grave riesgo sus vidas.

Una actividad geológica muy importante e interesante es la que se ocupa de la génesis y disposición de los yacimientos y depósitos minerales, es decir, lo que en nuestro idioma se conoce con la expresión peculiar y tradicional, pero no muy apropiada, de criaderos minerales.

Plantea el problema de que abarca dos cosas que exigen preparaciones y mentalidades distintas. Por un lado, como dijimos antes, tenemos los depósitos sedimentarios, de origen gravitativo, químico o biológico cuyo ciclo de preparación se completa a temperaturas y presiones normales. Pueden ser de formación directa o proceder de materiales de la destrucción de depósitos del segundo grupo. Sus técnicas corresponden a la estratigrafía y

a la sedimentología. Enlazan con el segundo grupo a través de los depósitos metamórficos, creados por sustituciones y aportes. Los depósitos sedimentarios deberían segregarse del estudio general de criaderos como materia propia de la sedimentología.

En el segundo grupo tenemos los complicados problemas de los depósitos creados en las rocas ígneas y metamórficas o por la intervención directa o remota de estas rocas en otras. Sus técnicas son petrológicas, geoquímicas y tienen además estrecha relación con la tectónica.

Su estudio se enfoca de los maneras: una clásica, que se trata de relegar como anticuada y que es fundamentalmente descriptiva. Según sus métodos, la clasificación y ordenación de los tipos de criaderos se logra por analogías, que se basan, según los casos y los autores, en unas u otras características y propiedades, bien sean de materiales, de edades, o más corrientemente de condiciones de yacimiento.

La segunda manera, más moderna y más científica, hace uso de las experiencias y avances más modernos de la físico-química y de la geoquímica, apoyadas sobre todo en las reglas de fases y en la observación estadística y experimental de las paragénesis minerales.

Pese al gran despliegue de entusiasmo, actividad e inteligencia que se invierten en este campo, no parece que se haya avanzado muy lejos, ya que los resultados de los estudios siguen siendo muy subjetivos, y hay falta absoluta de unidad de criterio en la apreciación de las génesis de la mayor parte de los criaderos. Tantos autores, tantas opiniones. Desde luego la materia es muy difícil, pero sería insensato no buscar el apoyo de esta herramienta, cuyo uso sin duda perfeccionará, y quizá muy rápidamente.

La enseñanza de la geología es una de las tareas más nobles y elevadas del geólogo, pero sus problemas y características no son específicos de la geología, sino genéricos de cualquier enseñanza, por lo que no nos detendremos en su examen. Señalaremos únicamente un escollo: con material tan sugestivo entre las manos le es fácil al profesor inflamar la imaginación de sus alumnos engendrando una vocación. Esta vocación ha de ser puesta a prueba luego sobre el terreno, porque tiene unas exigencias de energía física y moral que no todos llevan dentro. Además, el campo de actividad remunerativa es limitado y constituye una gran responsabilidad para el profesor lanzar a gentes en direcciones económicamente inviables.

La geología es hija de la minería y cumple con una obligación filial devolviéndole con creces lo mucho que recibió de ella, el ser.

No se concibe estudio minero que no vaya precedido de un profundo conocimiento geológico.

Decía Cueto (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) que para los ingenieros de Minas que dedican su atención a la extracción de las riquezas minerales que atesora la corteza terrestre, la geología constituye el fundamento científico de sus actividades industriales.

La geología es madre de muchos descubrimientos mineros, y lo sería de muchos más si esta idea entrase en la cabeza de los gobernantes, de los hombres de negocios y de los mismos mineros.

Citemos un solo ejemplo genérico: la fantástica industria del petróleo tiene su punto de partida y su base fundamental en la geología, y más concretamente en la cartografía geológica de detalle. Y un ejemplo específico: el hallazgo de la zona rica de los yacimientos de fosfato en la provincia del Sahara es el fruto del desarrollo de razonamientos y mecanismos de investigación puramente geológicos, aunque aplicados a la prospección minera.

Hay dos métodos clásicos de encontrar minas: buscando al azar y encontrándolas por casualidad, o empleando para ello la inteligencia y los métodos y las herramientas de la geología.

El primer método ha dominado hasta tiempos muy recientes, y han sido pastores, leñadores y labradores o busca-minas sin preparación científica los que por pura casualidad o por un instinto que no es más que la expresión de una experiencia subconsciente, hija de la práctica, han encontrado infinidad de minas valiosísimas. Luego, con una mayor base científica y profesional, se ha extendido el reconocimiento a partir de este hallazgo, casual o semi-casual, a las zonas contiguas, cuando formaban parte de distritos metalíferos naturales.

En el caso de los materiales sedimentarios, sales, carbonos, petróleos, la técnica ha intervenido mucho más activamente en los hallazgos o en la extensión de los frutos de los hallazgos.

Pero de aquella manera casual sólo pueden encontrarse los minerales aflorantes. Y poco a poco se han ido agotando, sobre todo en los países de vieja cultura y gran desarrollo industrial, las posibilidades de nuevos descubrimientos.

Entonces han tenido que entrar en juego forzosamente las técnicas geológicas de todas clases.

Los que solían hallarse por azar eran en primer lugar los minerales ricos de alta ley, cuya presencia se denunciaba fácilmente por su peso, brillo,

color, etc. Pasaban inadvertidos los minerales térreos de baja ley y débil concentración, en que sólo un ojo muy experto, y sobre todo el análisis químico, ponen de manifiesto la presencia de una sustancia útil.

Pero aquellos minerales ricos, aflorantes, están virtualmente agotados en muchos países, recorridos y super-recorridos en todas direcciones. Quedan, sin embargo, con toda probabilidad, grandes masas de minerales de baja ley que antes ni se podían reconocer, ni explotar económicamente, ni beneficiar industrialmente. Ahora, por el contrario, las modernas maquinarias de remoción económica de grandes masas de rocas y los actuales procedimientos de beneficio mineralúrgico y metalúrgico hacen de estas masas objetivos muy sustanciosos y cotizados de la explotación minera.

Son los estudios geológicos y paleogeológicos, los estudios de petrogénesis y mineralogénesis, la geofísica terrestre y aerotransportada, la fotogeología y la geoquímica las que los ponen de manifiesto, estén o no estén en afloramiento.

El desarrollo de la técnica de sondeos es otro de los factores que ha hecho posible el avance de la investigación geológica y minera, al hacer factible la comprobación de las predicciones y el reconocimiento en profundidad de las zonas inaccesibles a la observación directa. Toda la industria del petróleo y la mayor parte de las investigaciones mineras modernas giran alrededor de la posibilidad de reconocer mediante sondeos.

La geoestadística, a su vez, ha suministrado la técnica matemática necesaria para hacer posible la obtención de la correcta valoración de los desmuestres, abandonando los rudimentarios procedimientos de las medias aritméticas y demás cálculos elementales que han presidido la valoración de los depósitos durante generaciones. Ahora se utilizan los más refinados recursos de las expresiones matemáticas de las leyes de influencias mutuas entre los puntos de desmuestra. Una vez calculada la densidad de información que exigen las características del depósito, se obtienen las muestras y se valora rigurosamente de acuerdo con los cálculos de influencias mutuas y covarianzas. De esta manera se llega a obtener, mediante estos métodos geoestadísticos, una imagen exacta de las zonas de distribución de los minerales de diferentes leyes, y de sus relaciones con respecto al recubrimiento u otros factores que convenga poner en juego. Las predicciones económicas de rentabilidad se hacen así sobre una base sólida.

Pero la geología y disciplinas afines y auxiliares no solamente guían al

descubrimiento de estos depósitos, sino que son indispensables para su racional explotación.

He insistido en varias ocasiones acerca de este punto. Decía, en 1960 (J. M. Ríos, 1960), que los minerales arman la corteza terrestre y forman parte de ella. Puede decirse que la geología es la anatomía de la mina. De la misma manera que un enfermo no pondría su problema clínico en manos de un cirujano poco experto en anatomía ningún jefe de empresa debería poner su mina en manos de un ingeniero poco experto en geología. Un ingeniero de Minas que no conoce la disposición de los minerales que explota, o que la va conociendo a medida que los explota, no dirige la mina, va a remolque de ella.

La geología del petróleo ofrece más bien carácter de aplicación de las técnicas geológicas generales que de especialidad; pero, dada la importancia que tiene por su importantísimo objetivo, merece la pena de que se distinga especialmente esta actividad. El único conocimiento verdaderamente específico que requiere es el de las condiciones de formación del petróleo, es decir, las facies de las formaciones petrolíferas y el de mecánica de los fluidos para sus condiciones de migración.

No sólo la industria del petróleo constituye hoy en día la organización industrial más poderosa del mundo, sino que es la actividad que emplea, con mucha diferencia, mayor cantidad de geólogos, muchos miles o decenas de miles en algunos países.

Toda esa industria, incluido el transporte y refino, gira alrededor de un punto crucial e insustituible, el suministro de petróleo crudo y, a su vez, el suministro de crudos depende de las investigaciones, que son pura técnica geológica.

Aunque esté ramificada en diversas especialidades y aunque emplee muchos especialistas, en realidad lo esencial de la investigación de petróleos es cartografía geológica pura y su interpretación desde un punto de vista paleogeológico. De modo que reúne en sí las dos acepciones más altas del trabajo geológico.

La producción de un campo petrolífero descubierto por los anteriores procedimientos está regida, como la de cualquier otra explotación minera, por un profundo conocimiento geológico y, además, por una serie de principios físicos y de dinámica de los fluidos.

Otra actividad o especialidad geológica muy importante, y lo será más cada día, es la de investigación hidrogeológica. Incluso los países que mejor

dotados están de recursos hidráulicos, de los que se pensaría que nunca iban a tener problemas de esta índole, están amenazados de grandes crisis producidas tanto por el fantástico progreso industrial como por el crecimiento desmesurado de las grandes aglomeraciones urbanas, y en parte también por la polución de las aguas que estos mismos fenómenos engendran. Por consiguiente, incluso los países mejor dotados sienten una gran preocupación por esta grave amenaza y desarrollan sus investigaciones de aguas subterráneas y caudales ocultos. No digamos cuál será la necesidad e importancia de estos estudios en los países esencialmente secos y áridos, francamente deficitarios de por sí o que, como el nuestro, poseen extensas regiones de estas características en sus territorios nacionales.

La hidrogeología se parece, en muchas de sus características, a la investigación del petróleo y utiliza técnicas parecidas, si bien por lo general sus estudios tienen carácter menos regional en la mayor parte de los casos. Igualmente se basa en la cartografía geológica y necesita un conocimiento profundo de las leyes de dinámica de los fluidos. Aun suponiendo que se avance mucho, y que se avance rápidamente en las técnicas de desalinización, la hidrogeología desempeñará siempre un papel preponderante en las actividades geológicas de cada país.

Y lo mismo puede decirse de otras aplicaciones de la geología como, por ejemplo, para las obras públicas. Es por desgracia frecuente el caso de enormes gastos sin fruto, o de fruto limitado, por un desconocimiento de las *circunstancias geológicas, que han inutilizado parcial o totalmente la obra*, perdiéndose la inversión. Grandes catástrofes con dolorosísimas pérdidas de vidas y bienes pudieran haberse evitado si hubiera precedido el indispensable estudio geológico.

La agricultura moderna exige un conocimiento de la índole de los suelos, que depende inmediatamente de su estructura y composición geológica, de modo que hay una especialidad, predominantemente petrológica y geoquímica, la edafología o pedología, que cubre estos fines.

Por eso los mineros, los industriales, los economistas y los ingenieros de obras civiles hacen y harán caso de las enseñanzas de la geología para resolver los tipos de problemas relacionados con ellas, y los estadistas deberán prever los medios y vías necesarios para dotar al país de servicios sanos de promoción y desarrollo de geólogos y de estudios geológicos.

No hay geología aplicada sin cartografía geológica. No hay geología industrial o minera sin un conocimiento previo de la geología del país. No

hay geología práctica sin geología teórica. La geología aplicada necesita a la geología pura, como el hijo lactante a la madre.

Algunas de las ramas clásicas de la geología han alcanzado tal grado de evolución y desarrollo que forzosamente han necesitado ramificar en diversas direcciones.

Así, por ejemplo, de la estratigrafía clásica, que consistía y sigue consistiendo en el estudio de un conjunto de fenómenos y actividades externas destructuras y constructoras de rocas, ordenados cronológicamente mediante criterios diversos, pero sobre todo paleontológicos (paleobiológicos), hasta formar un registro histórico de estas actividades desde la constitución de la corteza terrestre, han derivado diversas disciplinas.

Una de las más interesantes es la sedimentología, no ya tan joven, pero que en los últimos años ha conocido un desarrollo tremendo, haciendo uso de muchas técnicas originales y muy depuradas, basadas en criterios estadísticos, físicos, químicos, biológicos y de experimentación, tanto natural como de observación de fenómenos naturales, o sea de lo que denomina McKelvey (V. E. McKelvey, 1963) experimentos naturales. La incrementada capacidad de conocimientos de los fondos marinos suministrada por los batiscafos, sondas modernas, estaciones semipermanentes de observación submarina y la actividad desarrollada en el último decenio sobre todo, que tanto ha hecho adelantar el conocimiento de los fondos marinos, ha suministrado abundante material informativo para el impulso tan notable experimentado por esta interesantísima actividad.

Pero es el estudio mismo de los sedimentos, consolidados como rocas o en gestación todavía, lo que más ha hecho avanzar esta joven y pujante rama de la ciencia. Sus técnicas y modalidades son tan variadas que ni siquiera su reseña cabe aquí. Se inicia por el estudio estadístico de composición, características, procedencias y direcciones de procedencia de los materiales. Los computadores electrónicos han constituido una ayuda considerable para ahorrar tiempo y esfuerzo en la obtención de resultados preparatorios de las conclusiones.

La índole y velocidad de sedimentación en todos tipos de ambientes es ahora mucho mejor conocida merced al desarrollo de la sedimentología. Igualmente lo es la distribución de los sedimentos en los fondos marinos y las causas que rigen esta distribución. Se ha dedicado y se sigue dedicando mucha atención a aquellos fenómenos de deformación de sedimentos no consolidados y fractura y mezcla de otros ya consolidados o a medio petri-

ficar, por deslizamientos subacuáticos, que tanta confusión introdujeron hasta que se llegó a intuir su verdadera causa.

Ultimamente se ha desarrollado una verdadera y compleja técnica para la interpretación y estudio de la sedimentología de las rocas carbonatadas.

Y todos estos estudios no sólo enriquecen el caudal general de conocimientos geológicos, sino que además tienen aplicaciones inmediatas y muy importantes en las investigaciones industriales, sobre todo de petróleos, hidrogeológicas y de materiales sedimentarios en general.

No solamente constituyen una ayuda eficazísima para la determinación de la paleogeología, sino que permiten predecir o reconocer las rocas de mayor viabilidad para las circulaciones de fluidos, incluso orientar a la determinación de las rocas madre y rocas depósito.

Los estudios físicos de los sedimentos arcillosos y sus ciclos y ritmo de sedimentación se aplican con gran éxito para la identificación, incluso la localización de los lechos carbonosos o carboníferos. Para estos fines recibe importante ayuda de las propiedades radiactivas, pues predichos sedimentológicamente los lechos más ricos en detritus de rocas radiactivas es más fácil su localización mediante prospecciones geofísicas. Igualmente se aprovechan estas propiedades radiactivas para la localización de materiales carbonosos y fosfáticos.

También la geodinámica interna pugna constantemente por ensanchar sus límites, así como por profundizar sus cimientos. Su expansión es más difícil, pues al perder en gran medida la capacidad de observación directa de los fenómenos con el incremento de la profundidad tiene forzosamente que adquirir un carácter mucho más especulativo.

Por consiguiente es campo abonado para la creación de teorías. Pocas cosas tan apasionantes en geología como el estudio sistemático de las deformaciones de las rocas, el análisis de sus causas dinámicas y la especulación acerca del origen de las fuerzas. Pero sería imposible no ya hacer historia, sino tratar de reseñar la evolución de las ideas en tan extenso, complejo y movido campo. (E. W. Wegmann, 1951.)

Diremos solamente que la tendencia a considerar que la corteza se dilata, en vez de contraerse por enfriamiento, gana cada vez más adeptos. Esto arrastra consigo la reconsideración de los mecanismos deformativos que exigen una explicación por componentes verticales en lugar de horizontales; siguen en pie las teorías de los mantos de corrimiento, y aun esta tendencia moderna ayuda a remover algunos de los obstáculos que se oponían a la

explicación de los orígenes de las fuerzas causantes de los gradientes gravitativos.

Como causa motora profunda ganan terreno y se consolidan las ideas acerca de las corrientes de convección en diferentes versiones.

Permanece en pie lo básico de la idea de las derivas continentales, pero también en diferentes versiones.

El interés por el estudio del paleomagnetismo, actividad muy en incremento, arroja luz sobre este problema tectónico y otros problemas de paleogeología.

Se ha dedicado mucha atención al estudio mecánico de las deformaciones de las rocas y ha dado origen a una rama de la dinámica interna que es la geología estructural, o tectónica especial de la mecánica de las deformaciones, la cual intenta integrarse como una disciplina autónoma de la geología que sustituya con ventaja, según el enfoque, o complemente a la tectónica clásica.

Pero, en mi opinión al menos, la geología estructural se ofrece todavía como una disciplina extremadamente cruda en su estado actual, por falta de unidad de campo, de criterio, de pensamiento y de estructura. Por lo pronto aparece como una amalgama de dos campos muy distintos, aunque tengan puntos comunes, y difícilmente asociables en una unidad de concepto. Por un lado, los principios mecánicos que rigen la deformación de las rocas, en sus distintas escalas de magnitudes, hasta componer los diversos tipos deformativos de las mismas. Por otro, la descripción de los grandes estilos y unidades que integran actualmente la corteza terrestre. No tiene demasiado sentido fundamental ni práctico unir ambas disciplinas. La última encaja por completo en la geología general, en la tectónica clásica, y es sobre todo descriptiva. En la parte que no lo es va ligada, sobre todo, a los principios generales de geología y a la constitución misma de la corteza terrestre. Es cierto que requiere un conocimiento previo de la mecánica deformativa, pero no más allá de la medida general que otros conocimientos previos no especialistas. Sus conclusiones generales se enuncian en forma de teorías.

Por lo que se refiere a los principios mecánicos de la deformación de las rocas, es preciso señalar que se trata de materia muy compleja, pero si no somos sinceros con nosotros mismos y no reconocemos lo mal organizado que está y lo desordenado y confuso de las doctrinas tal como aparecen expresadas en los textos actualmente al uso, no se podrá avanzar mucho por

ese camino tan fundamental y tan importante. Su principal defecto, a mi juicio, es la mezcla desordenada de conceptos de muy diversos órdenes y categorías. Hay confusión en todo. Es confusa, ambigua y heterogénea la nomenclatura. Hay unos principios, llamados de la mecánica, que se emplean demasiado directamente, sin la elaboración que requieren, al aplicarse a otros tipos de materiales y de escalas de espacio y tiempo. Por lo que se refiere al sistema de exposición y elección de las materias y principios, se reúnen a modo de un cajón de sastre reglas y principios de orden muy diverso, tan pronto teóricos como prácticos, de observación y experimentales, estadísticos y prácticos, pero yuxtapuestos, sin la necesaria y lógica coordinación.

Por ahora es una disciplina desarticulada, completamente pragmática, pero no puede minimizarse su importancia e interés ni debe perderse de vista su gran utilidad práctica y teórica, que ha permitido y permitirá aún mayores avances en el conocimiento de los procesos de deformación, ni tampoco su gran dificultad, así como su apasionante interés.

Una especialidad tangente es la de la mecánica de las rocas, que trata de aplicar de manera inmediata los principios de la resistencia de los materiales a los de las deformaciones y trastornos de las rocas, según se deducen de la geología estructural. De modo que reúnen los principios de la mecánica y de la geología estructural para aplicarlos ingenierilmente al estudio de obras civiles. Su base es esencialmente matemática y realiza ahora grandes esfuerzos para organizarse como una disciplina seria y, al mismo tiempo, práctica.

Tanto la geofísica del globo como el conocimiento de la dinámica interna esperan mucho de los resultados de las investigaciones mediante sondeos profundos (Proyecto Mohole y contrapartidas rusas) que tratan de rebasar la discontinuidad de Mohorovicic allí donde las condiciones de la corteza parecen más propicias para que pueda ser alcanzada.

Finalmente, empieza a crearse una verdadera especialidad para un futuro, quizás un futuro más inmediato de lo que pensamos, la de la geología astral. Esto puede parecer un poco fantástico, pero proyectos que parecían aún más fantásticos se van llevando a cabo con gran regularidad. De tiempo atrás ha preocupado la composición geológica de otros astros, de por sí y para su comparación con la de nuestro globo, para tratar de deducir enseñanzas (A. A. Looms, 1965). Por el estudio de los meteoritos, por el análisis espectroscópico de otros astros mediante las fotografías obtenidas por los sa-

télites artificiales, y consideraciones y cálculos astronómico-gravitativos se ha tratado de deducir sus estados, composiciones, temperaturas, existencia de atmósfera, etc. Ahora, gracias a los medios actuales de información, se persigue ya un fin práctico. Se fotografía al detalle la Luna y se obtienen las primeras imágenes de Marte para tratar de elegir los puntos óptimos de descenso. Se intenta saber también si la superficie es pulverulenta y falsa o tiene la suficiente resistencia mecánica para soportar el peso de los vehículos espaciales y de los astronautas mismos. En una palabra, se está sobre acuas por ser los primeros en recoger y estudiar muestras de los materiales que constituyen otros astros y conocer su disposición, y no cabe duda de que entre los primeros especialistas que se puedan transportar a otros astros habrá geólogos, por lo que se está ya preparando un grupo de expertos y está creando una verdadera y apasionante especialidad, la de astrogeología.

Además de las diversas orientaciones, especialidades y tendencias que hemos señalado y de otras que existen, pero de carácter menos acusado, hay una serie de técnicas comunes a varias o muchas de estas especialidades, de origen más o menos moderno y que conviene recordar por los grandes servicios que han prestado y prestan a la geología y los muchos más que prometen prestarle.

No mencionaremos aportaciones hechas por la física y la química, a través de la petrología y petrogénesis, o más directamente, tales como estudio de estructuras minerales mediante rayos X, o difracción de electrones, o la aplicación del ultramicroscopio, sobre todo al campo de las arcillas, el empleo de la radiactividad a la determinación de edades absolutas, o a la prospección, o a la mecánica de los fluidos mediante el seguimiento de trazas radiactivas.

Hablaremos de aquellas técnicas de aplicación más universal y de carácter más estrictamente geológico.

Una de ellas es la micropaleontología, una rama de la paleontología dedicada al estudio de las formas de pequeño tamaño, en general difícilmente perceptibles o invisibles a ojo desnudo. Su gran ventaja con respecto a los macrofósiles reside en la gran dispersión y mucha mayor universalidad de difusión que tienen sus formas. No quiere esto decir, por otra parte, que sean omnipresentes. Unas están ligadas a determinadas facies y ambientes, pero, si se presentan, su difusión es por lo general mucho mayor que la de los macrofósiles y por ende mucho mayor la probabilidad de ser encontradas en la prospección. Su recogida y estudio requiere técnicas especiales y

es, desde luego, tarea de especialistas. Su desarrollo ha ido ligado últimamente a la industria del petróleo, por la razón de que era necesario reemplazar, en las columnas de testigos y muestras de sondeos, los macrofósiles por algún otro criterio. Puesto que el diámetro del sondeo es tan reducido, a la improbabilidad habitual que tiene el hallazgo de macrofósiles en cualquier formación, debido a la irregularidad de su distribución, se añade la de la casualidad de que la vertical del sondeo recaiga sobre estos nidos o acumulaciones de fósiles. En cambio por el tamaño muchísimo más pequeño de los microfósiles y, sobre todo, por su mucha mayor universalidad de distribución, la probabilidad de su encuentro es mucho mayor. De modo que muy pronto se puso el énfasis paleontológico de los sondeos en el grupo de los microforaminíferos, con magníficos resultados, y los macrofósiles quedaron relegados a un segundo plano, como comprobadores y correctores, si es que se tenía la suerte de encontrarlos.

De esto nació una estratigrafía fina, que permitió las correlaciones entre sondeos, y pronto saltó su empleo a la clásica estratigrafía de afloramientos superficiales con objeto de poder preparar la programación geológico-estratigráfica de los sondeos de exploración, y luego a la geología cartográfica general, no sin que se llegase a peligrosas exageraciones en la apreciación de su capacidad de empleo. (J. M. Ríos, 1962.)

Pronto se pasó del grupo de foraminíferos, limitado a formaciones mesozoicas y terciarias, a otros grupos, por ejemplo al de los conodontos, de gran utilidad sobre todo para las formaciones paleozoicas.

Y, por una parte, estimulados por la necesidad de aprovechar estas ventajas de los microfósiles en ambientes y facies de las que quedaban excluidos los grupos antes citados, por otra parte por una legítima ambición de los investigadores de hacerse un nombre en campos nuevos, se fue ampliando el área de estudios a los pólenes y las esporas y, actualmente, a los briozoarios. En todos los casos se trata de grupos difíciles, ricos en formas mal conocidas hasta ahora y con clasificaciones poco asentadas, y cuyas técnicas de trabajo son más complicadas que las de la paleontología clásica, pero sus aportaciones a la geología cartográfica y a la geología industrial son de grandísimo valor actual y muy prometedoras para el futuro.

De otro orden muy distinto, pero por lo menos tan trascendente para las aplicaciones cartográficas de la geología, es la fotogeología, o sea el estudio de las características geológicas del terreno sobre fotografías. El estudio se lleva a cabo en general sobre fotografías aéreas, en pares estereoscópicos,

a diferentes escalas, de orden parecido a las de los mapas topográficos que suelen utilizar los geólogos, cincuenta mil, veinte o veinticinco mil, diez mil, etc. La visión del relieve es de incomparable ayuda, de modo que el uso de pares estereoscópicos más que corriente es insustituible.

Con mosaicos aéreos no solamente se tiene una visión conjunta inalcanzable de otro modo, sino un punto de vista original e inédito de extremada utilidad. Pone de manifiesto no sólo la continuidad o discontinuidad de elementos y accidentes geológicos, sino que lo hace con unas disposiciones de proyección e iluminación y sombras que no son las normales. Algunos accidentes tectónicos de difícil percepción muchas veces en la observación directa del terreno, como fallas y diaclasas, la fotografía aérea los pone de manifiesto al primer golpe de vista, individualmente y por sistemas.

Permite observar lo existente por debajo y a través de recubrimientos neutros, tales como cuaternarios, capas de arena, terrenos de labor, lo que no podría hacer nunca el geólogo por observación directa, y esta propiedad es muy utilizada por los arqueólogos para localizar restos de antiguas civilizaciones.

La utilidad de la fotogeología es siempre grande, pero variable e incluso muy variable de acuerdo con las características de los terrenos. Hay regiones en que cualquier geólogo con un poco de práctica e instinto geológico puede interpretar la fotografía aérea, siempre que obre con precaución y conozca y sepa evitar sus múltiples engaños y limitaciones. En otras, para sacar algún provecho, se requiere la operación de un verdadero especialista, por ejemplo en las regiones cubiertas de selvas, bien sean boreales o tropicales. Y desde luego es siempre necesario un especialista cuando se haya de hacer un trabajo delicado con restituciones exactas y medidas de espesores y pendientes.

Su complemento más eficaz es el de la fotografía aérea estereoscópica en color, pero su precio es, por ahora al menos, muy elevado.

De todos modos no es más que una herramienta, un elemento auxiliar de la geología sobre el terreno, a la que no puede nunca reemplazar por sus muchas limitaciones y por lo engañoso de sus interpretaciones, así como por lo incompleto de la información que suministra. De todo ello me ocupé hace pocos años. (J. M. Ríos, 1962.)

En general se usa como preparación desbrozadora de los estudios de campo y, una vez realizados éstos, para perfeccionar las representaciones. Otras veces se cartografía el terreno mismo anotando directamente sobre la cartografía aérea, incluso aplicando allí mismo el examen estereoscópico.

Ha prestado enormes servicios en la investigación petrolífera de extensísimas regiones desérticas o despobladas, desconocidas geológicamente, porque determinadas sobre las fotografías aéreas las zonas estructuralmente interesantes, ha dirigido a ellas directamente a los geólogos, con ahorro de esfuerzos y de dinero.

Pero no debe nunca olvidarse que es un complemento, una herramienta más de la geología del terreno, nunca un sustituto.

El complejo de inferioridad tantas veces mencionado impulsa a muchos geólogos, que no llegan a comprender bien el verdadero espíritu y carácter de la nobilísima actividad a que se dedican, a tratar de buscar una formulación, una expresión matemática, una calificación, sobre todo, de los fenómenos geológicos.

Lejos de mi ánimo y de mi intención tratar de criticar esta tendencia, cuando se aplica a fenómenos cuantificables y cuando no se pierde de vista el verdadero carácter de la actividad geológica, pero sí cuando se exageran y cuando se trata de imponer una cuantificación a todo fenómeno geológico, negando validez a lo que no esté cuantificado.

En ese sentido coincido plenamente con Hoover Mackin (J. Hoover Mackin, 1963), que ha dedicado recientemente atención a esa tendencia y a cuyas consideraciones me voy a referir comentándolas.

Para este autor, el bandazo a lo cuantitativo ha sido exagerado, y exageradamente rápido, y el empleo superficial o la manipulación poco consciente de datos numéricos ha llevado a resultados intrascendentes, falsos y, en casos, hasta risibles. Sin embargo, la tendencia expresa una preocupación que compartimos muchos geólogos, sobre todo si consideramos que las ciencias físicas y químicas, tan adelantadas en la expresión cuantitativa de sus fenómenos, han hecho gracias a ella los espectacularísimos avances que todos conocemos.

Recuerda que Lord Kelvin decía que lo que no puede expresarse en números no es ciencia, pero aun sin considerar de que esto es una opinión particular, por muy distinguido que sea su origen, no deja de ser una cuestión muy discutible y muy discutida (G. Holton, 1952), y acerca de este concepto ya he expresado mi opinión y las de otros en páginas anteriores.

También dijo Lord Kelvin (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) que en el estudio progresivo del mundo externo el primer trabajo es el de observación y clasificación de los hechos, al que sigue la sistematización inductiva de

los mismos, cuyo objeto es la investigación de los hechos naturales, y consideraba la filosofía como la segunda de esas fases.

Hoover Mackin señala, sin embargo, que prevalece ahora la opinión entre muchos físicos de que la mera preocupación acerca de las relaciones causa-efecto introduce confusión respecto a los problemas reales de la ciencia. Los espectaculares avances logrados por las ciencias físicas y químicas son los que hacen que nos preguntemos si no estarán realmente pasados de moda nuestros métodos y caminos mentales y si no deberíamos cambiar radicalmente nuestros métodos de raciocinio.

Señala tendencias actuales, de índole muy diferente, pero profundamente interpretadas, que se están desarrollando simultáneamente y que se confunden en las mentes de los geólogos.

Una de ellas consiste en un incremento en el ritmo de infusión de nuevas ideas y técnicas procedentes de otras ciencias, así como de la ingeniería, con el correspondiente incremento en el grado de precisión conseguido (o pretendido al menos) en la valoración cuantitativa de las características geológicas y procesos de todas clases, así como en el empleo de métodos estadísticos y mecánicos para el análisis y elaboración de éstos.

Por mi parte he comentado ya en páginas anteriores estos hechos y tendencias. Añado ahora que es evidente el enorme paso adelante dado en algunos sectores en la precisión cuantitativa de la expresión de los hechos y fenómenos geológicos, pero siempre en fenómenos no cien por cien geológicos, sino en aspectos parciales de la geología dominados por fenómenos físicos y químicos.

Pero llega a plantearse en nuestro ánimo la duda: ¿Es suficiente lo logrado? ¿No habrá, en efecto, que cambiar por completo el método? ¿Tendrán, verdaderamente, expresión matemática hechos geológicos de los que no se ha pensado nunca que la tuvieron? ¿No estaremos defendiendo posturas falsas, o al menos anticuadas, por pereza mental?

La otra tendencia que señala Hoover Mackin consiste en la introducción o empleo de un método de enfrentamiento muy diferente del habitual con respecto a los problemas, y cuyo carácter es esencialmente empírico. En su forma más pura este método depende escasamente del raciocinio, del razonamiento y, cuando funciona como método exclusivo o independiente, sustituye el proceso de raciocinio por operaciones que son en alto grado mecánicas. Solemos desconfiar de él, porque en éste y en otros aspectos es extraño a los habituales métodos mentales de los geólogos.

Para que se comprenda mejor el carácter de la evolución traza Hoover Mackin un breve esbozo del método clásico o racional, según opinan tres clásicos americanos acerca del método científico (G. E. Gilbert, 1886; T. C. Chamberlin, 1897; D. Johnson, 1933). El así denominado método racional entraña un juego mutuo de observación y razonamiento, en el que las primeras observaciones sugieren una o más explicaciones, las hipótesis de trabajo, cuyo análisis conduce a una predicción de la observación o experimentación que, a su vez, permite el descarte de algunas de las hipótesis y el afino de otras. Como consecuencia se descartan datos que ahora resultan insignificantes para la materia que se trata de investigar y se llega a un agudizamiento del enfoque en busca de nuevos datos, menos aparentes, más difíciles de obtener; pero que son de especial valor diagnóstico, y así sucesivamente.

El método sigue en uso; pero, en general, no en esa forma u orden, sino que se cotejan razonamientos contra razonamientos, pruebas contra otra clase de pruebas, razonamientos contra pruebas y pruebas contra razonamientos. Es decir, se comprueban mutuamente, tanto las pruebas como los razonamientos a cada paso de la investigación. El objetivo del método denominado racional o científico es llegar a la comprensión del sistema investigado y conseguirlo de la manera más completa y perfecta posible.

Para la mayor parte de los geólogos esto significa la comprensión de relaciones de causas a efectos, dentro del sistema, y es frecuente que más pronto o más tarde queden implicados datos cuantificables y relaciones con expresión matemática, según la índole del problema. Pero cuanto más importante sea éste, es decir, cuantos más aspectos generales abarca, tanta más implicaciones colaterales supone, más difícil resulta lograr y coordinar las pruebas y se acentúa, por consiguiente, la necesidad esencial de que el sistema sea comprendido, previamente, en términos cualitativos. Sólo de esta manera es posible orientar correcta y adecuadamente la recolección y comprensión de los términos cuantitativos.

Y—sigue Hoover Mackin—en cualquier problema que se plantee lo primero es definirlo, traerlo a foco, averiguar cuáles son los fenómenos que requieren explicación, lo que parece que debe llevarse a cabo mediante raciocinio. Colateralmente señala un hecho, que yo mismo he señalado en otras ocasiones y repetido en este mismo texto: el valor e importancia de las excepciones en el razonamiento geológico. Esta idea la trae a colación Hoover Mackin al hablar de la selección y sopesamiento cuidadoso del valor

y exactitud de los datos informativos que sirven de base al raciocinio. Los supone expresados, por ejemplo, por puntos en una información gráfica de concentración de alguna característica, digamos rumbos de estratos o cortes de fracturas. Dice que cuando un elemento de información (observación), tras cuidadoso estudio de su validez, haya sido admitido al gráfico, ya no puede ser desestimado o despreciado, y los datos que yacen fuera de las agrupaciones de puntos son, por lo menos, tan importantes y en general más interesantes que los que yacen en las agrupaciones. Es precisamente del estudio de las razones de esta dispersión, de esta anomalía, de por qué están donde aparentemente no deben estar, de donde parte el desarrollo de las nuevas iniciativas.

Los fines que se propone el método racional es llegar a respuestas completas, desde el principio, que constituyen las hipótesis de trabajo orientadoras después de la búsqueda y verificación de las pruebas. Pero nunca se lanza, antes del proceso de comprobación de datos, a una generalización que pueda llegar a considerarse como una conclusión. Y no es que haya nada éticamente malo en las generalizaciones rápidas, sino que la experiencia enseña que las teorías así creadas caen por falta de base.

Veamos ahora cómo analiza Hoover Mackin el método empírico, ingenieril o tecnológico. Este método, que atrae intensamente a las jóvenes generaciones por su, en parte, engañosa exactitud, maneja casi exclusivamente, desde el principio, datos cuantitativos, y procede directamente a una contestación cuantitativa que constituye el término de la investigación. El método reduce a un mínimo, o elimina totalmente, el juego de razonamiento, inductivo o deductivo, por medio del cual se elaboran los datos en el método científico. El sistema arrastra como consecuencia que no haya capacidad de crítica de los datos conforme se van recogiendo. Son analizados primariamente por métodos matemáticos, que no distinguen entre la causa y el efecto, ya que según los que practican el sistema la comprensión de relaciones de causa a efecto puede tener algún interés, pero no es esencial.

Las operaciones de raciocinio, que caracterizan el método racional, dependen de un fondo de conocimientos y de un enjuiciamiento basado en la experiencia. Por consiguiente, en igualdad de circunstancias, el experto (por viejo) se desenvolverá mejor, mucho mejor, que el novato.

Las operaciones del método ingenieril dependen en mucho menos grado del enjuiciamiento, es decir, si aplica este método un joven aún no experimentado puede funcionar mejor y, sobre todo, más rápidamente que el

experto. Por esta razón y por la calidad rápida, positiva y cuantitativa de las respuestas es por lo que el método ofrece un gran atractivo a la joven generación.

Hoover Hackin estudia varios ejemplos de aplicación del método empírico, todos ellos referentes a la función geológica llevada a cabo por los cursos fluviales, tales como erosión, transporte, etc. El material de partida está constituido en cada caso por información estadística, en general obtenida con otros fines distintos. Y aun cuando éste no sea el caso, encuentra que la aplicación del método omite las limitaciones o condiciones que imponen los principios geológicos.

Para Hoover Mackin la diferencia fundamental entre los métodos racionales y los empíricos reside en las relaciones causa-efecto, que algunos científicos, y gran parte de los filósofos, consideran como de gran ingenuidad. El motivo es que al ascender de efecto a causa encuentran que cada causa es a su vez efecto de otra causa, lo que obliga a remontar siempre a las causas finales. Pero el investigador ha de limitar forzosamente su atención a las causas más o menos mediatas, ya que las más remotas suelen recaer en otros campos o esferas de actividad.

Por lo que se refiere a la cuestión concreta de la cuantificación, Hoover Mackin llega a la conclusión de que en cada campo el paso a lo cuantitativo, y el grado de cuantificación, dependen en gran medida de la materia en cuestión: número y complejidad de las componentes interdependientes involucradas en los sistemas, facilidad o dificultad relativa en la obtención de datos básicos, susceptibilidad de éstos a la expresión numérica y medida en que el tiempo sea dimensión esencial.

Y, añadido yo, en conjunto y por aislado, estas condiciones son poco favorables para la cuantificación en geología, salvo para aquellos campos parciales en que quedan involucrados principios físicos, químicos y mecánicos en materia geológica, lo que en general ocurre cuando las escalas de tiempo implicadas son muy reducidas, es decir, cuando se elimina el factor histórico en geología. Porque, como ya expresé antes, la base de posibilidad de cuantificación reside en la posibilidad de la eliminación de gran cantidad de variables sin que cambie la validez de los resultados como consecuencia de la limitación del campo de acción. Es de esta manera, en el campo de lo físico y de lo técnico, reduciendo a dos, lo más a tres, incluso a cuatro, las variables, como se llega a conceptos manejables numérica y experimentalmente, mentalmente comprensibles y descriptibles gráficamente, sin desvirtuar en

nada la validez del experimento y sin otro efecto que la reducción del ámbito. Luego se puede ampliar éste combinando las variantes de otra manera. Pero en geología no se pueden eliminar variables sin afectar fundamentalmente a la validez y significado del razonamiento.

Señala Hoover Mackin que antes de que Bucher (W. H. Bucher, 1933) pudiera formular unas leyes generativas del proceso de deformación de la corteza tuvo que realizar una inmensa labor descriptiva, que sigue incrementando. Fue preciso conocer los efectos de los movimientos antes de que fuera posible anticipar sus causas. Pero el conocimiento de la geometría de una sola cadena de montañas requiere por lo menos lo mejor de las vidas de dos generaciones de geólogos de diferentes especialidades, activos en el campo y en los laboratorios. Y como no hay dos sistemas montañosos iguales hemos de conocerlos todos, incluso los que existieron y de los que sólo quedan restos. Pero, además, sus ritmos de crecimiento y las relaciones mutuas entre las cadenas antiguas y las actuales son conocimientos necesarios, tan importantes como el de su geometría. Por consiguiente, el que estudie la mecánica de las deformaciones de la corteza terrestre debe tener la mentalidad del físico y del historiador, tan diferentes y difíciles de compaginar.

Entran en juego limitaciones de muchos órdenes, y el apoyo de la experimentación es muy limitado. Lo mismo ocurre para cualquier tema geológico de altura (o sea intrínsecamente geológico), tales como lo son el emplazamiento de batolitos, los orígenes de fluidos mineralizantes, la morfología de los terrenos, etc. De aquí que los geólogos hayan sido particularistas más que generalistas, incluso cualitativamente. Y como consecuencia de que la mayor parte de la evidencia geológica no puede expresarse en números y de que la mayor parte de los sistemas geológicos sean tan complejos, los geólogos están muy poco predispuestos a la generalización cuantitativa.

Finaliza Hoover Mackin diciendo que no se trata tanto de oponer la geología clásica a la cuantificación, ya que la geología es en gran medida (en muchos de sus aspectos parciales) cuantitativa por propia índole, sino el método racional al empírico, ya que, si de lo que se trata no es tanto de la expresión, sino de la comprensión del fenómeno, y si el fenómeno es complejo, el método empírico tiende a ser menos eficiente que el racional.

El cerebro de los geólogos debe ponerse al servicio de las relaciones causa-efecto en los sistemas geológicos, si bien con todas las ayudas numéricas y mecánicas, etc., que puedan derivar de otros campos.

Ya mencioné antes la tendencia que se manifiesta, inevitable por otra

parte, a utilizar la inmensa ayuda que pueden prestar las memorias electrónicas y los modernos sistemas de cálculo, comparación y selección (W. C. Krumbein, 1962).

Hablábamos allí de su empleo en el registro y clasificación de observaciones de campo para operaciones de cartografía geológica; en geofísica, donde los analogizadores suministran imágenes gráficas directas; en geostatística y en valoración de criaderos, así como en la evaluación de mercados de minerales y cálculo de márgenes de beneficio.

No voy a negar las numerosas ventajas de esta moderna herramienta de trabajo puesta al servicio de la mente humana. No sólo hace posibles cálculos con muchas más variables que las que puede utilizar la mente humana y a fantástica velocidad; no solamente permite la resolución de problemas matemáticos complejos inasequibles a la mente humana, sino que su campo de aplicación parece ilimitado y se seguirán descubriendo infinitas aplicaciones. Pero tan peligroso como menospreciar sus evidentes ventajas sería olvidar sus manifiestas limitaciones.

Veamos primero el aspecto puramente científico de la materia. Hemos dicho que en geología el diagnóstico existe y es una función tan importante como la que desempeña en medicina. Dijimos que era la capacidad de recordar y comparar, instintiva y subconscientemente, experiencias pasadas y cotejarlas con el problema actual para señalar analogías y discrepancias y señalar soluciones. Pero ésta es precisamente una de las capacidades más acusadas de la cibernética, la de las memorias electrónicas, tan veloces y con una capacidad limitada solamente por la alimentación de información.

Se emplea el sistema en la recogida y sistematización de datos cartográficos e ignoro si se emplea ya en paleontología, pero parece que allí su utilidad debería ser grande, sobre todo en micropaleontología.

Su gama de empleo en sistematización de todas clases de información es casi infinita empezando por la sedimentología y acabando por los accidentes tectónicos mayores y menores.

El inconveniente es que desaparece todo matiz de apreciación fuera de las características programadas, y para los fines de la geología esto constituye un grave inconveniente. También prefieren estos sistemas los valores medios o estadísticos y es mucho más difícil seleccionar las excepciones lo que en geología, como hemos señalado en diversas ocasiones, tiene valor fundamental.

En fin, esta materia ha sido tratada al detalle por personas mucho mejor

informadas, y para todos los campos de la ciencia, de modo que no tiene objeto profundizar aquí en ella.

Pero sí quería insistir en el aspecto que podríamos llamar sociológico, y sobre el que atraje la atención hace poco tiempo (J. M. Ríos, 1962).

Esta tendencia a la mecanización, como la tendencia a la subdivisión de trabajo en grupo muy especializado y en general la aplicación de muchas técnicas modernas, trae como implicación forzosa la despersonalización de la geología. Es un proceso, absolutamente inevitable, como lo fue el desplazamiento de la fuerza muscular por la máquina de vapor, primero, y luego por el motor de combustión interna. Como lo es el crecimiento arrollador de la población humana, fenómeno de que todo esto es consecuencia en gran medida. Pero aquellos avances, aunque implicaban profundas evoluciones e incluso revoluciones sociales, no afectaban a la índole misma del saber, porque no llegaba a atacar a la esencia de su mecanismo.

La despersonalización de la geología resulta de muchas causas, todas ellas en relación con las técnicas modernas. La primera y más inmediata, y quizá la más acusada, resulta de que cada vez se distancian más las conclusiones de la observación. Las nuevas técnicas utilizan criterios que no son, como lo eran antes, de determinación inmediata.

Es preciso que intervengan especialistas que no han estado en contacto con el terreno. Por consiguiente, el geólogo de campo no es ya, como lo era antaño en mucha mayor medida, el autor y el interpretador total de sus observaciones, sino que ha de admitir o requerir colaboraciones intermedias de carácter impersonal. Pero el grado se acentúa en el caso de las organizaciones complejas, y muy complejas, que exige el desarrollo de las técnicas actuales. En ese caso los datos ya no vuelven a los observadores, sino que pasan a manos de múltiples especialistas y, finalmente, de interpretadores e integradores. Entonces la despersonalización es completa; el observador actúa de manera puramente mecánica y lo más probable es que nunca llegará a conocer el fruto de sus observaciones, ni participará en su interpretación y aprovechamiento. Los especialistas actúan igualmente de manera mecánica, pues son meros catalogadores y clasificadores de características, puesto que no conocen por sí mismos el terreno sobre cuyos datos trabajan; los integradores y resumidores viven a veces a miles de kilómetros del terreno que no han visto y no verán nunca. Y este sistema se irá completando, o sustituyendo, por una realización mecánica aún más fría e impersonal, verda-

deramente gélida. De esta manera se llega no ya a una despersonalización, sino a una deshumanización de la tarea geológica.

Es el final, por otra parte insoslayable, de un proceso llevado a su extremo, que resulta inevitable consecuencia de la aplicación de las modernas técnicas, con su cortejo de especialistas, y de la complicación que arrastra en las organizaciones que han de ejecutarlos, lo que, unido a factores económicos, lleva a la máxima mecanización y deshumanización.

El proceso me parece no sólo inevitable, sino legítimo y provechoso si se restringe a las materias cuantificables, pero no si se aplica a los procesos que forzosamente han de ser mentales e inductivos, como consecuencia del carácter histórico de la disciplina geológica, como repetidamente hemos tratado de justificar a lo largo de este texto.

CONTESTACION

DEL EXCELENTISIMO SEÑOR

D. JUAN GAVALA LABORDE

Excmos. Señores Académicos, señoras y señores.

La rapidez aterradora con que parecen transcurrir los años cuando se llega a cierta edad hace que acudan a nuestra mente imágenes y recuerdos de hechos acaecidos en fechas muy distantes como si correspondiesen a impresiones recibidas casi simultáneamente. Así no es extraño que me parezca que fue ayer cuando el Académico don Luis Ceballos leyó desde esa mesa presidencial, ante la imposibilidad de hacerlo su autor por la afección a la vista que entonces padecía, el discurso con que don Agustín Marín contestaba al que yo acababa de leer con ocasión de mi ingreso en la Academia. y cuando el eminente Ingeniero don Alfonso Peña, su Presidente entonces, me invitaba a ocupar un sillón en estos estrados. Pero la realidad es que han pasado seis años desde aquel día, memorable para mí, y me veo en estos momentos actuando de padrino del Académico que viene a ocupar precisamente el puesto vacante por la muerte del que fue padrino mío. Y he recibido el encargo, que me honra, de contestar el discurso del nuevo Académico don José María Ríos, no de quien presidió la sesión en que la Academia me recibió en su seno, sino del entonces Vicepresidente, preclaro sabio don Julio Palacios, y cuyo cargo, a su vez, ocupa justamente el Sr. Ceballos.

Hoy, como digo, se agrupan en mi mente todos esos recuerdos y los acercan hasta llegar a superponer dos fechas extremas: la de la lectura del discurso de don Agustín Marín y la de la lectura del discurso del Académico que va a sustituirle. Y entre ellas apenas pueden hacer acto de presencia, aun-

que se esfuerzan por salir de los rincones del cerebro, otros muchos recuerdos, tristes unos, los más, alegres otros, pero que arrojan en definitiva un saldo de preocupaciones que en nada ayudan a desempeñar cometidos como el que se me ha conferido. No os extrañe, por tanto, que con mi mejor voluntad no acierte a contestar como se merece el bien meditado discurso que acabamos de escuchar, en el que el Sr. Ríos ha abordado y desarrollado un tema que, aunque árido en el fondo, ha de ser bien recibido por todos los amantes de la Geología, entre los que figura en primera línea el nuevo Académico.

Pero me habréis de permitir que antes de entrar en materia dedique un emocionado recuerdo a la memoria del Excmo. Sr. don Agustín Marín y Bertrán de Lis, a quien todos los de esta Casa debemos tener hoy muy presente, ya que vamos a darle en este acto nuestro último adiós; y aunque el señor Ríos ha señalado los méritos más destacados del que fue durante muchos años su maestro y consejero, creo que debo contribuir, en nombre de la Academia, a enaltecer la figura de aquel hombre, todo bondad y desinterés, recogiendo algunos párrafos de la nota necrológica que escribí a los pocos días de su muerte para el "Boletín de Información de los Colegios de Ingenieros de Minas de España".

Pocas veces habrá despertado la falta de un ser un sentimiento de desconsuelo que haya trascendido a tantos medios sociales. Ingenieros de todas las especialidades, mineros, constructores, hombres de ciencia y de negocios, convienen en que con don Agustín Marín desapareció una personalidad que durante medio siglo figuró de manera destacada en el campo de esas actividades y fue, por tanto, en cierto modo, miembro de las comunidades respectivas. Su carácter franco, sin asomo de doblez, su sano optimismo, su hábito de ensalzar los méritos de cuantos compartían con él un trabajo, su afán de contribuir con su esfuerzo personal a cuanto pudiera redundar en beneficio de sus compañeros, y el entusiasmo y desinterés con que ponía a disposición de todos las luces de su inteligencia y el fruto de su larga experiencia, hicieron que se ensanchase de día en día el círculo de sus amigos y admiradores y que hayan constituido verdadera legión los que se asociaron al duelo por su muerte.

Sería ocioso e inoportuno relatar, a modo de impertinente inventario, lo que don Agustín Marín realizó en el campo de la ingeniería y de la geología a lo largo de su vida. Ocioso, porque es conocido de todos los que me escuchan; inoportuno, porque sería empequeñecer su personalidad aducir pruebas en favor de su indiscutida fama de ingeniero y de geólogo. Baste

decir que don Agustín Marín fue una inteligencia privilegiada y un trabajador incansable, y que así como el lema de Linneo, el inmortal maestro de naturalistas, fue “Nulla die sine linea”, podría decirse que el de nuestro desaparecido compañero fue “Ni un día sin clavar un jalón que marque un nuevo paso en la labor investigadora”.

Don Agustín Marín fue, ante todo, geólogo; pero sus actividades en el campo de la geología tuvieron siempre como objetivo inmediato la investigación minera y los problemas relacionados con la explotación de las minas. Puede decirse que no quedó un rincón de España que no fuese reconocido por él. Bastaba la menor noticia de haber aparecido un mineral raro o una roca poco común, o la de haberse observado algún fenómeno geológico que no le fuera familiar, para que se lanzase al campo y escudriñase los lugares más inaccesibles hasta localizar lo que buscaba y averiguar la relación que guardaba con la formación en que radicaba, y percatarse así de la importancia científica o minera del hallazgo. Llegó a adquirir por ello tal conocimiento de nuestro subsuelo, que podía decir sin vacilación de qué lugar de la Península procedía cualquier muestra de roca que se le sometiese a examen; por ello llegó a ser el asesor de la mayor parte de los negocios mineros que se plantearon en su tiempo, y aunque él, en su autobiografía, atribuyó a sus amistades y conocimientos personales las innumerables consultas que se le hacían, la realidad es que el afán por conocer su opinión estaba motivado por la confianza que inspiraba su saber y por la probidad que resplandecía en todos sus informes.

Los compañeros jóvenes que aspiraban a iniciarse en las complicadas técnicas de la minería se agrupaban a su alrededor conscientes de que nadie como él podría orientarlos, y sabedores de que ponía decidido empeño en que sus discípulos asimilaran sin esfuerzo cuanto él había aprendido tras ininterrumpido trabajo en el laboratorio y en el campo. Su carácter bondadoso, la afabilidad de su trato y el poco mérito que concedía a su ciencia, hacía nacer en sus discípulos un sentimiento de sincero afecto, que él, en su modestia, consideraba desproporcionado al interés que ponía en ilustrarlos.

Conviví con él en el Instituto Geológico cincuenta años, y apenas pasó día sin que cambiáramos algunas palabras sobre temas geológicos. Discutir con él era un deleite; nunca se enfrentaba de lleno con la opinión de sus interlocutores, pero los que le conocíamos nos dábamos pronto cuenta, a través de sus medias palabras, si la suya coincidía o no con la nuestra, y

en este último caso nos batíamos hábilmente en retirada, pues sabíamos por experiencia que en el noventa y nueve por ciento de los casos la razón estaba de su parte.

La obra científica de don Agustín Marín no será nunca apreciada en su justo valor; para ello sería preciso, cosa punto menos que imposible, hacer una cuidadosa recopilación del sinnúmero de informes y memorias que escribió sobre temas geológicos y mineros, inéditos en gran parte, y con los que se podría componer un historial del laboreo de los yacimientos minerales de nuestro país.

Durante más de medio siglo llevó el peso de las publicaciones del Instituto Geológico, y raro es el tomo del Boletín de este Centro que no contenga alguna muestra de su incansable actividad investigadora; sus escritos son reveladores de una vastísima cultura, más que por lo que abiertamente ponen de manifiesto, por lo que se adivina a través de sus exposiciones, caudal de conocimientos fácil de medir, como fácil es calcular el volumen de un témpano de hielo aunque sólo se vea el pequeño pináculo que sobresale de las aguas.

A don Agustín Marín puede considerársele como el puente o lazo de unión de dos generaciones de geólogos: la que podríamos llamar antigua, representada por Fernández de Castro, Macpherson, Cortazar y Mallada, y la moderna de Dupuy de Lôme, Novo, Ríos y Almela. Con toda propiedad podríamos llamarle el genuino sucesor de Mallada, el sabio ingeniero de Minas y destacado sociólogo que durante su larga permanencia en la Comisión del Mapa recorrió España entera en la ruda labor de desbrozar su constitución geológica, única empresa que podía intentarse en una época en que, sin contar todavía con la imprescindible base topográfica, apremiaba dar a la luz pública un mapa en que se señalara, aunque de manera aproximada, la superficie que ocupaban las distintas formaciones geológicas y en las que pudieran señalarse las zonas que por sus posibilidades mineras debían ser objeto de un estudio más detenido y escrupuloso. Marín completó muchos de los estudios comenzados por Mallada y señaló, como éste, áreas de la Península en donde debían realizarse con preferencia investigaciones mineras. Entre las publicaciones de Marín descuellan como obras maestras el estudio de la cuenca potásica de Cataluña y el de la zona del Protectorado Español de Marruecos. Bastantes años habrán de transcurrir antes de que se pueda añadir nada sustancial a lo consignado en estos documentados y completísimos trabajos.

La incansable actividad de Marín perduró hasta el día de su muerte. Cuando sus piernas apenas podían sostenerle y su vista se había debilitado hasta el punto de no poder reconocer sino por la voz a las personas con quienes departía, era un martirio para los que le rodeábamos ver cómo aquella inteligencia, que conservaba la lucidez y el vigor de los años juveniles, continuaba preocupándose de los asuntos de la “Empresa Nacional Adaro”, que presidía, dando consejos e informando los asuntos que habían de someterse a examen de los Consejeros. En pocos casos se habrá podido comprobar mejor la superioridad del espíritu sobre la materia, la victoria de lo inmortal sobre lo perecedero.

Al recordarle hoy una vez más con el cariño que siempre le profesé, me aflige pensar que lo que acabo de decir no acierta a dar ni una remota idea de la grandeza de la extraordinaria figura que nos abandonó para siempre.

\* \* \*

El Excmo. Sr. D. José María Ríos, nuestro nuevo camarada, que viene a sustituirle en esta Casa, nació en Zaragoza el año 1910 e ingresó en la Escuela de Minas en 1927.

Siendo aún alumno de la Escuela, y llevado de su decidida vocación geológica, escribió una Memoria sobre el Cretáceo y el Eoceno de la costa de Guipúzcoa, que, presentada a esta Academia, fue premiada con una beca “Conde de Cartagena”. La Memoria de fin de carrera, que versó sobre la mina “Mariana”, de Mieres, obtuvo el premio “Gullón”.

En 1934 trabajó, bajo la dirección del Excmo. Sr. D. Julio Palacios, en la sección de Rayos X del Instituto Nacional de Física y Química, prosiguiendo trabajos análogos en 1935 en el Laboratorio de la Universidad “Victoria”, de Manchester.

Estas actividades fueron interrumpidas por nuestra guerra de Liberación, durante la cual cumplió sus deberes militares en las filas del Ejército Nacional.

En el año 1940, tras renunciar al cargo de Secretario de la Comisión reguladora de metales no férreos, para que había sido nombrado, ingresó como Ingeniero auxiliar en el Instituto Geológico y Minero de España, en donde continuó prestando sus servicios hasta fecha muy reciente, y en 1942 ganó por concurso de méritos una plaza de Profesor auxiliar en la Escuela de Ingenieros de Minas.

Con el ingreso en el Instituto Geológico, en el año 1940, comenzó el señor Ríos una intensa actividad geológica de campo, que no ha interrumpido un solo momento durante los veinticinco últimos años.

Compartió su intensa actividad de geólogo de campo con una actividad paralela en la enseñanza, sobre todo desde 1953, en que se le nombró Profesor numerario de Geología en la Escuela de Minas al fallecer el anterior Profesor, y miembro de esta Academia, don Pedro de Novo.

Tiene publicados el Sr. Ríos más de 130 trabajos originales y más de 70 traducciones de estudios debidos a geólogos franceses, ingleses y alemanes. Aun cuando estos trabajos se extienden a todos los campos de la geología, se refieren preferentemente a la pura cartografía geológica, que constituye su tarea predilecta. Sin embargo, su trabajo sobre "Diapirismo", publicado en 1948, fue uno de los primeros tratados que aparecieron sobre esta materia, por lo que fue y sigue siendo muy divulgado en el extranjero.

Ha contribuido mucho el Sr. Ríos a fomentar la afición a los estudios geológicos con la fundación en 1955 de sus "Campamentos para Prácticas de Geología", en los que han participado más de 250 alumnos y graduados de Escuelas Técnicas y Universidades españolas y más de 60 profesores y graduados de Universidades y Escuelas Técnicas de quince países extranjeros.

Preside en la actualidad la Empresa Nacional Minera del Sahara, y bajo su mandato se ha localizado la zona verdaderamente rica de unos yacimientos de fosfato que habían sido investigados con anterioridad por la Empresa Nacional "Adaro".

Estas sucintas noticias os permitirán formar idea de la recia personalidad del nuevo Académico, que con verdadera e irresistible vocación de geólogo viene trabajando desde que comenzó su vida de estudiante por conocer a fondo la constitución geológica de la Península Ibérica y a interpretar correctamente cuantos fenómenos han contribuido a que los estratos sedimentarios y las rocas hipogénicas que la forman hayan llegado a ocupar la posición que hoy ocupan, que puede decirse que es el fin primordial de la geología.

Y permitidme que dedique ahora unos minutos a comentar el interesante discurso que acaba de pronunciar.

Cuantos hayan seguido atentamente lo expuesto por el Sr. Ríos acerca del tema “Los fundamentos lógicos de la Geología y su validez” se habrán dado cuenta de que a todo lo largo de su exposición sostiene, por decirlo así, una constante lucha entre el temor de que esos fundamentos no se crean suficientemente sólidos para edificar sobre ellos una verdadera ciencia y su convicción acendrada de que, a pesar de ello, la Geología es de un orden tan nobilísimo y de tan altísima categoría mental, que tiene perfecto derecho a que se le conceda la categoría de ciencia. Y tanto exagera, a mi juicio, ese temor, que llega a sospechar si será su ciego amor a este ramo del saber lo que le hace pedir que, si fuera necesario, se dispense a la Geología el no poder contar con principios y hechos de formulación exacta y expresión matemática. Y ante la posibilidad de que no se le exima de tal requisito se siente dominado, al compararla con otras ciencias hermanas, de un complejo de inferioridad.

Planteada la cuestión en esos términos, creo que mi discurso debe ir encaminado a disipar esos temores que asaltan al nuevo Académico y a convencerle que los geólogos no tienen motivo para sentir ese complejo de inferioridad. Así lo haré aun cuando para ello me vea en la necesidad de mostrarme disconforme con alguna de sus aseveraciones; acaso esta actitud mía no sea todo lo delicada y condescendiente que corresponde a un acto como éste, mas espero que el Sr. Ríos sabrá disculparme, ya que lo hago con el buen deseo de quitarle un peso de encima, y en fin de cuentas resultaré ayudándole en su afán de demostrar que no hay serios motivos para creer que los fundamentos y métodos de la ciencia geológica carecen de solidez.

Según el diccionario de la Real Academia, ciencia es “un cuerpo de doctrina metódicamente formado y ordenado que constituye un ramo particular del humano saber”, y el que la Geología no cuente con principios y hechos de formulación exacta y expresión matemática no impide que sea un cuerpo de doctrinas metódicamente formado y ordenado.

Si, dejando a un lado conceptos abstractos, nos fijamos en el lugar que ocupa la Geología en el amplísimo campo de los conocimientos humanos, veremos que constituye una parte del saber imprescindible para el desarrollo y perfeccionamiento de otras disciplinas a las que nadie niega la categoría de ciencia. Es parte integrante de la Astronomía si a esta ciencia se le asigna la misión de relatar la historia del Universo, y si su misión se limita al estudio de nuestro sistema planetario, no puede desinteresarse de

la suerte que han corrido y corren los planetas cuando, apagada su luz propia, comienza para todos ellos una etapa de transformaciones de la que nada nos dice ni nos podrá decir la Astronomía si no se apoya en el conocimiento de las que está experimentando la Tierra desde que comenzó para ella el periodo de enfriamiento que condujo a la formación de su primitiva corteza.

En el estudio de esas transformaciones está empeñada la Geología, tratando de averiguar su origen, su desarrollo y sus consecuencias sin más ayuda que los mudos testimonios que le ofrecen las rocas con sus múltiples variaciones de composición, de textura y de color, la forma en que se hallan dispuestas las capas sedimentarias y los fósiles que contienen, y las agrupaciones de minerales que componen las rocas hipogénicas con sus distintas formas de yacimiento, bien en masas, diques o filones.

Que la Geología es una ciencia esencialmente histórica, ¿quién puede negarlo? Pero, ¿cómo podría el geólogo progresar en el conocimiento de los fenómenos que han contribuido a dar a la corteza terrestre su estructura actual sino estudiando con sumo detenimiento las huellas que han dejado impresas los que sucesivamente se han ido desarrollando?

Nada de lo que está ocurriendo ni ha ocurrido en nuestro Globo a partir del momento en que se apagó su luz tiene carácter periódico; nada puede preverse invocando leyes de periodicidad; las transformaciones habidas en las diversas épocas geológicas no son funciones dependientes sólo de la variable tiempo, sino que han sido muchas las variables y las circunstancias modificativas que han actuado a la vez. La vida de la Tierra, hablando en términos geológicos, está recorriendo sus últimas etapas, y sabido es que en el desarrollo de cualquier fenómeno las etapas iniciales y finales son las más inconstantes. Nuestro sistema planetario, que pasa ahora por una época de su vida infinitamente más distante que la de la Tierra de su nacimiento y de su muerte, efectúa movimientos de tal uniformidad que pueden ajustarse a fórmulas determinadas; pero ello no quiere decir que perduren eternamente las características de periodicidad como las que reflejan, por ejemplo, las leyes de Kepler, ya que todos los fenómenos periódicos o aparentemente periódicos no hacen sino enmascarar la marcha lenta pero constante hacia un fin incesantemente perseguido.

Que el geólogo tiene que juzgar el pasado por el desarrollo del presente es indudable, pero no creo que esto vaya en detrimento del "principio de uniformismo" o "ley del actualismo". Aunque no se pueda demostrar su

validez con razones irrefutables, ¿quién puede negar que las fuerzas que actúan hoy conjuntamente en la modificación de la faz de la Tierra son las mismas que vienen actuando desde que comenzó la primitiva corteza? Podrá admitirse que en el decurso de las épocas geológicas esas fuerzas hayan variado de intensidad, e incluso que las causas que actuaron de manera inmediata en la producción de ciertos fenómenos se hayan visto favorecidas u obstaculizadas en determinados momentos por las restantes causas actuantes, pero ni las limitaciones así originadas ni su interpretación pueden socavar los cimientos del “principio de uniformismo”.

Ahora bien, si el “principio de uniformismo” se pretende interpretar en el sentido de que los fenómenos que se produjeron en pasadas edades de la Tierra fueron debidos a las mismas causas que producen los fenómenos actuales y actuando con la *misma intensidad* y en un *ambiente idéntico*, es lógico que dicho principio no sea admitido por muchos geólogos, pero no creemos que sea esa la interpretación correcta del “principio de uniformismo”. Aparte de que las fuerzas que actuaron en la producción de muchos fenómenos de épocas pasadas no actúan de modo apreciable en nuestros días, aun cuando es muy posible que vuelvan a actuar en épocas venideras. No sabemos, por ejemplo, de ningún lugar de la Tierra en el que se hayan producido recientemente plegamientos de estratos, fallas ni cobijaduras a la escala en que con tanta frecuencia se produjeron en épocas geológicas anteriores a la nuestra; y, sin embargo, el proceso de su desarrollo está tan claro y manifiesto, y ha sido transmitido a la posteridad con caracteres tan indelebles, que nadie medianamente impuesto en la ciencia de la Tierra puede titubear respecto a su interpretación.

Cuando pretenden encontrar normas determinadas a las que se ajusten o deban ajustarse los cambios de composición y estructura de la corteza terrestre, parecen olvidar los geólogos que sienten la preocupación del señor Ríos que las causas que vienen motivando esos cambios sucesivos actuaron en su comienzo sobre una costra rocosa cuya composición y espesor variaba de unos puntos a otros, que esas variaciones se han ido acentuando más y más hasta nuestros días y que, por lo tanto, ni los cambios han podido tener carácter uniforme ni los resultados finales se nos pueden presentar ajustados matemáticamente a las causas productoras. Como también parecen olvidar que la misión principal del geólogo es llegar a formular teorías geogénicas que no estén en contraposición con las leyes que rigen a la mecánica, la física, la química y la fisiología, y que todas sus observaciones en el terreno

serán inútiles si no les sirven para descubrir las causas que han motivado las transformaciones sucesivas de la corteza terrestre. Es pues, a mi juicio, la identidad de *esencia* y en modo alguno la *modalidad* de los agentes físicos del pasado y del presente el principio fundamental en el que tiene que descansar la ciencia geológica.

La Geología cumpliría enteramente su misión si llegara a presentar un verídico relato de la historia de la Tierra desde que ésta se separó como astro independiente de la nebulosa solar hasta nuestros días, o por lo menos desde el momento en que comenzó a formarse, por la solidificación de la capa exterior de materias fundidas, la corteza primitiva. Después de este relato cabría hacer un estudio de las causas que motivaron el proceso de las sucesivas transformaciones de la corteza y de las que motivaron determinadas desviaciones del proceso general. Pero el estudio de estas causas nos llevaría al campo de la Astronomía, porque en la producción de los fenómenos geológicos intervinieron sin duda, a la vez que causas de origen exclusivamente terrestre, otras derivadas de la acción que sobre la Tierra ejercieron y ejercen ciertos cuerpos celestes, acciones que han debido variar a lo largo del tiempo, pues no se puede pretender que nuestro planeta haya tenido siempre ante sí los mismos cielos que hoy nos es dado contemplar.

Concretado así el objetivo fundamental de la Geología, se advierte en seguida la complejidad de los estudios necesarios para alcanzarlos. Citaremos como una de las cuestiones más difíciles de dilucidar, y más necesarias al mismo tiempo para el conocimiento de la historia de la Tierra, la correlación de fenómenos y situaciones observadas en áreas del planeta distantes entre sí, pues las faunas y las floras que han poblado los distintos mares y continentes no han sido exactamente las mismas en cada periodo de tiempo determinado, y es muy difícil, ante esa desigualdad de faunas y floras, determinar qué serie de estratos son de la misma edad cuando las observaciones se refieren a localidades muy distantes entre sí.

Si la categoría de una ciencia hubiera de medirse por las dificultades que presenta su desenvolvimiento, acaso habría que considerar a la Geología de rango superior a la Astronomía, pues los cambios que se producen en la superficie solar y en las posiciones relativas de los planetas respecto al astro central son de duración tan enorme que pueden ser considerados como fenómenos periódicos; en cambio, a las modificaciones que se producen en los astros apagados, precisamente por ser de evolución más rápida, no pueden aplicarse leyes de periodicidad, y su estudio es mucho más complicado.

La Geología ha podido a pesar de ello hacer descubrimientos sensacionales en un lapso de tiempo relativamente corto, descubrimientos que le permiten hoy seguir con paso firme el estudio minucioso de la historia de la Tierra, y no parece que esté lejano el día en que pueda hacer un relato verídico y ordenado de cuantos acontecimientos han conducido a que la corteza adquiriera la composición y estructura que hoy presenta, y cabe preguntar: ¿que más se puede pedir a una rama del saber humano para que se la considere como verdadera ciencia?

No debemos olvidar, por otra parte, que la Geología es tal vez la más joven de todas las ciencias, lo cual nada tiene de extraño, pues necesitando apoyarse en otras muchas ramas del saber para elaborar su síntesis no pudo tomar impulso hasta que esas ciencias hubieron alcanzado cierto grado de desarrollo. Y si se tiene en cuenta que la mineralogía data de fines del siglo XVIII, lo mismo que la química, y que apenas si les precedió unas décadas el conocimiento metódico del mundo orgánico, nadie podrá reprochar a la Geología el que no llegase a alcanzar el rango de ciencia hasta los comienzos del siglo XIX. Sin embargo, sus primeros balbuceos son tan antiguos como el principio de nuestra civilización.

Nuestros conocimientos son generalmente consecuencia inesperada del trabajo que el individuo se ve en la necesidad de realizar para cubrir las exigencias de la vida. El día en que, por avanzar la civilización, el hombre no pudo satisfacer sus necesidades con las industrias que se podían desarrollar en el seno de la familia, se impuso la división del trabajo y aparecieron los *oficios*; y cuando los procedimientos empleados alcanzaron cierta complicación y se hizo necesario aplicar un conjunto de reglas o de recetas que por tradición se transmitían de una generación a otra, sin intentar siquiera averiguar su razón de ser, el oficio se transformó en *arte*. Ahora bien; esas reglas o recetas empíricas son en realidad la expresión más o menos velada de la relación que existe entre fenómenos de una misma naturaleza, y cuando una inteligencia en cierto modo privilegiada logra comprender esas relaciones y darles una expresión filosófica al margen de las aplicaciones prácticas, puede decirse que quedan echados los cimientos de una nueva ciencia, y cada progreso en el camino de las abstracciones señala una etapa más de su desarrollo. Así, de progreso en progreso, puede quedar todo reducido a movimientos de partículas de masa definida efectuados bajo la acción de fuerzas cuya ley es conocida. Es entonces cuando la ciencia alcanza su apogeo: es ya una ciencia matemática que sólo maneja esos con-

ceptos abstractos que denominamos masa, tiempo y espacio, cuyas relaciones mutuas pueden expresarse con el lenguaje del álgebra y de la geometría.

La Geología no ha podido desentenderse ni quedar al margen de esas ideas generales. Desde el momento en que el hombre aprendió a hacer uso de los metales sintió la necesidad de descubrir reglas prácticas que le facilitaran su hallazgo, y esa necesidad engendró dos artes: el arte de distinguir los minerales útiles, de donde nacieron la Mineralogía y la Química, y el arte de las minas, del que nació la Geología.

Dondequiera que las minas o las canteras permitían examinar las entrañas de la tierra se observaban hechos nuevos, aprovechados, por unos, para deducir nuevas reglas prácticas para descubrir criaderos minerales y, por otros, los más instruidos, para discurrir acerca de las causas que originaron la formación de la corteza. Pero el carácter local de estas primeras observaciones impidió su recta interpretación, y no es de extrañar que teóricos como Thales de Mileto y Xenofano de Colophon, impresionados por la grandiosidad de las inundaciones del Nilo, considerasen el agua como el principal agente creador y defendiesen las teorías plutonianas; en tanto que Zenón, Empédocle y Heráclito, que habían podido contemplar de cerca las erupciones del archipiélago griego, atribuyesen al fuego el papel principal en la formación de nuestro Globo.

Una de las cosas que más debió de atraer la atención de los primeros observadores fue el hallazgo de conchas y huesos fósiles. Cuando se trataba de especies semejantes a las que hoy viven en nuestros mares, el hallazgo sugirió la idea de posibles cambios de nivel entre la tierra y el océano, pero cuando se trataba de restos de organismos muy diferentes de los de la época actual se abrieron paso las interpretaciones más extravagantes: así, el parecido a los Nummulites de Egipto con las lentejas hizo pensar en las provisiones amontonadas por los faraones para alimentar los esclavos que trabajaban en la construcción de las pirámides, que con el tiempo habían sido petrificadas, y los huesos de los grandes mamíferos se atribuyeron a razas extinguidas de gigantes. Patrocinado por Aristóteles, se admitió durante toda la Edad Media la extraña hipótesis de que los fósiles eran sólo "juegos de la naturaleza".

Para encontrar algunas ideas dignas de mención, por lo que se refiere al intento de formular teorías geogenéticas, tenemos que llegar al siglo XVI, en que Leonardo de Vinci que, a la vista de las trincheras que como inge-

niero ordenó que se hicieran en capas sedimentarias del Plioceno de Italia, reconoció la verdadera naturaleza de los fósiles e interpretó correctamente el modo de formarse los depósitos detríticos, y cuando Bernard Palissy, un simple alfarero que explotaba en gran escala para su industria unas arcillas fosilíferas, defendía, contra el parecer de los doctores de la Sorbona, que los fósiles eran restos de organismos que vivieron en el mismo lugar en que él los encontraba, cuando las rocas no eran sino una mezcla de barro y agua y que fueron petrificados al eliminarse el líquido. Es también la época en que Agrícola expone en su obra *De Re Metallica* lo que sus trabajos en las minas de Sajonia le han enseñado, y entre advertencias de tipo práctico consigna algunas observaciones interesantes sobre la relación que guardan los filones metalíferos con ciertas manifestaciones volcánicas.

Sin embargo, fue preciso que transcurriera aún otro siglo para que ciertas ideas sugeridas por persona de mayor cultura llegasen a formar un cuerpo de doctrina. Fue el danés Nicolás Sténon el primero que en 1669 publicó un trabajo en que se determina el carácter detrítico del suelo de Toscana y la deposición de sus elementos de acuerdo con las leyes de la gravedad al actuar en el seno de una masa líquida; reconoce que esos depósitos corresponden a varias etapas distintas y establece la diferencia de edad entre los terrenos de la llanura subapenina y los que forman el núcleo de la mole montañosa. Descartes, el gran filósofo francés, gran amigo de Sténon, publicó en Amsterdam en 1644 sus "Principios de la Filosofía", en los que por una intuición genial considera la Tierra como un astro apagado, pero que conserva aún su fuego central, causa de las emanaciones metalíferas y de las dislocaciones de la corteza terrestre. Mas los naturalistas no hicieron caso de las publicaciones de Sténon y de Descartes, y perdieron un siglo más inventando teorías geogenéticas en que la imaginación tenía parte preponderante.

La Geología no hizo luego ningún progreso importante hasta el día en que Werner, reuniendo los hechos observados en los filones de Sajonia, convirtió el arte de las minas en una verdadera ciencia y fundó la Escuela de Freiberg (1774-91). Dotado de un extraordinario espíritu de observación y maestro incomparable en el arte de describir y clasificar, Werner fue el padre de la nomenclatura geológica; pero del edificio neptuniano que había levantado nada quedó en pie, y es que en Geología no basta estudiar minuciosamente un área pequeña; ha de hacerse además su comparación con las circundantes, y sin pretender aplicar las conclusiones que puedan deducirse

de ese estudio y esa comparación al mundo entero. Werner no estudió nunca a fondo los fenómenos volcánicos, que consideró de segunda categoría y atribuía a la inflamación espontánea de yacimientos de combustibles. Este error no se pudo desterrar de la mente de sus más preclaros discípulos, hasta que en época muy posterior, y tras largos viajes realizados por todo el mundo, se pudo poner de manifiesto, sin género de dudas, el importante papel desempeñado por los volcanes en las más diversas regiones del Globo.

Cuando la mejora de los medios de comunicación permitieron a los amantes de la naturaleza explorar amplios territorios, el horizonte tan limitado de los primeros geólogos se ensanchó enormemente, y se vio que teorías en apariencia opuestas podían tener un fondo de verdad. Así, cuando en el año 1771 el geólogo Desmarests recorrió la Auvernia, la gran experiencia que había adquirido al estudiar los volcanes de Italia le hizo comprender sin dificultad la verdadera naturaleza de la cordillera de los Puys, tan mal interpretada por los habitantes del país, que sostenían obstinadamente que aquellas rocas no eran sino montones de escorias producidas por los metalúrgicos de la antigüedad. Por otra parte, como por profundas que fuesen las excavaciones de las canteras y las minas, su examen no permitía reconocer sino una zona muy limitada, cuya relación con las rocas circundantes era siempre difícil de apreciar, y en los países montañosos, en donde tales relaciones eran más manifiestas por la falta de vegetación, ofrecían por lo complicado de su tectónica dificultades insuperables para una ciencia que se hallaba en sus comienzos, hubo que esperar a que las grandes obras públicas facilitaran la tarea de las investigaciones, y el impulso que recibieron estos trabajos a fines del siglo XVIII y principios del XIX fue para la Geología de una importancia decisiva.

Inglaterra, en donde las condiciones del suelo eran más favorables para la observación, y cuya riqueza en materias minerales le llevó a ser la cuna de la industria moderna, tuvo la suerte de contar, entre los ingenieros encargados de construir la red de comunicaciones necesaria para su desarrollo, con un hombre de la talla de William Smith, que al catalogar las series de estratos que se cortaban en las trincheras y los túneles se dio cuenta de que cada una contenía determinados fósiles, y desde ese día pudo contar la Geología con uno de sus mejores medios de información. Estas *petrificaciones*, tan mal interpretadas antes, hasta el punto de que Agrícola las atribuía a la fermentación de una misteriosa sustancia grasa, y que un con-

quiólogo tan eminente como Martin Lister consideraba en su magna obra "Historia o Sinopsis Metódica de las Conchas", escrita entre los años 1685 y 1692, como "juegos de la naturaleza", estaban destinadas a ser el instrumento por excelencia para la distinción de los periodos, y gracias a Smith la Geología pudo caminar con paso de gigante por la vía de los descubrimientos.

Los conseguidos por Leopoldo de Buch y Alejandro Humboldt, dos discípulos de Werner, por Cuvier, por Elie de Beaumont y por Lyell en el primer tercio del siglo XIX, periodo que sucedió a la que podríamos llamar época heroica de la Geología, están tan en la mente de todos que no he de hacer perder tiempo a mis pacientes oyentes relatándoles lo que cada uno de esos sabios puso de su parte para el desarrollo de esta ciencia, que alcanza hoy proporciones gigantescas por la agilidad desplegada por una legión de geólogos, pertenecientes, bien a empresas dedicadas a la investigación y explotación de criaderos de muy diversas sustancias minerales y muy especialmente de yacimientos de combustibles líquidos, bien a entidades oficiales, como Institutos, Universidades, Sociedades y Laboratorios, que publican memorias e informes y un sinnúmero de revistas y boletines de la especialidad. ¿Quién podrá negar categoría de ciencia a una disciplina del humano saber que ha llegado a encuadrar en sus filas miles y miles de científicos de todos los países del mundo y que logró en menos de dos siglos y en los comienzos de su vida avances tan espectaculares en el conocimiento de la corteza terrestre como los que a la ligera he reseñado en los párrafos anteriores?

Si hubiéramos de medir la categoría de la ciencia geológica por comparación con lo conseguido con otras ciencias en periodos de tiempos semejantes, seguramente resultaría muy favorecida la nuestra, a pesar de que en los comienzos del siglo XIX sus lucubraciones hacían reír a los espíritus fuertes que decían que para cada hecho observado tenía dos explicaciones totalmente contrarias.

Recordemos a este respecto que una ciencia cuya alta categoría nadie puede poner en duda, la Astronomía, hubo de recorrer en sus comienzos etapas parecidas a las que ha recorrido la Geología, modificando sus puntos de vista y sus conclusiones en cuestiones de verdadera importancia, a algunas de las cuales creo oportuno aludir, y es que el avance de una rama del saber humano trae aparejado siempre el avance de otras.

La teoría de Laplace, que explica la formación del sistema solar por la

condenación de una nebulosa animada de movimientos de rotación, de la que sucesivamente se irían segregando los planetas con sus satélites y los cometas, si bien con las modificaciones propuestas por Faye y otros sabios para hacer frente a ciertas objeciones surgidas del estudio de los planetas exteriores, es generalmente admitida, pero recuérdese cuánto se discutió antes de Laplace sobre el origen de los astros de nuestro sistema planetario, sobre su posición y sobre sus movimientos relativos. Demostrado que la densidad de los planetas es tanto mayor cuanto más cerca se hallan del astro central, hecho que coincide con la hipótesis que los hace derivar de zonas cada vez más profundas de la misma nebulosa, no parece que pueda ponerse en duda la identidad de composición de dichos astros ni su procedencia de una misma nebulosa, así que todos han debido recorrer etapas análogas a partir del momento en que se individualizaron. Y si el Sol ha conservado un estado calorífico que le permite emitir luz propia, diferenciándose así de los planetas, es porque reuniendo las novecientas noventa y nueve milésimas partes de la nebulosa primitiva su concentración ha sido más lenta y ha estado a la vez más preservado por su tamaño de las causas disipadoras de energía.

Cuánto influye el avance de una ciencia en el de las demás, se pone de manifiesto en lo que exponemos a continuación. Hasta hace poco se venía considerando el movimiento centrípeto de las partículas solares como causa única a que debía atribuirse la conservación de su calor, que a falta de renovación por alguna otra causa mecánica o física, habría acabado bien pronto por extinguirse; pero en el año 1925 el eminente astrónomo inglés sir Arthur Eddington dio otra explicación del hecho, que hoy se considera correcta. Según él, es energía atómica o nuclear la que mantiene ardiendo las estrellas, y calcula que en las profundidades de la esfera solar 564 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en cada segundo en 560 millones de toneladas de helio, transformándose los 4 millones de toneladas restantes en energía, que es irradiada al espacio exterior en forma de calor y de luz. Sin conocerse el proceso de las reacciones nucleares no habría podido Eddington sentar su hipótesis, y se seguiría pensando en el movimiento centrípeto de las partículas solares como único mantenedor de su calor.

Ha sido en otras ocasiones un hecho fortuito lo que ha abierto el camino a los grandes descubrimientos. En el año 1814, Joseph von Fraunhofer, un joven bávaro diseñador de lentes, quedó sorprendido al observar un fenómeno raro por demás. Intentando aislar colores puros en un rayo de luz

solar para medir la refracción con sus lentes de telescopio, observó que en la banda de colores del arco iris muchas líneas oscuras finas interrumpían la suave gradación del rojo al violeta. Al principio las achacó a impurezas del vidrio de sus lentes, pero pronto quedó convencido de que las líneas en cuestión eran algo inherentes a la luz solar, algo así como huellas dactilares de los elementos contenidos en el Sol, pues cada uno mostraba su propia combinación de líneas.

Por medio de las líneas de Fraunhofer unos 70 elementos de los 92 que contiene la Tierra se han podido identificar en el Sol.

Tales descubrimientos han servido de punto de partida a los astrónomos para avanzar enormemente en el conocimiento de los cuerpos celestes, especialmente del Sol, cuya fotosfera, cromosfera y corona han sido en estos últimos años objeto de precisiones interesantísimas. Como sabéis, tras de determinar la masa y el diámetro del Sol, los astrofísicos han podido calcular la temperatura, la densidad y la presión que reinan en un punto situado a cualquier distancia del centro o de la superficie, a pesar de que no se puede ver directamente lo que ocurre a una profundidad de más de 300 kilómetros por debajo de la luminosa fotosfera.

Arthur Eddington llama a este proceso deductivo "sondeo intelectual", y como resultado de este sondeo hay motivos fundados para suponer que en el centro del Sol la presión debe alcanzar 100.000 millones de atmósferas, y como para que se produzca esta presión es preciso que la temperatura del gas alcance la cifra de 16 millones de grados centígrados, ésta debe ser la temperatura que reina en el centro del astro rey. ¿Cómo podríamos formarnos una idea de esta temperatura? Sir James Jeans ha calculado que un trozo de materia del tamaño de una cabeza de alfiler emitiría a esta temperatura calor suficiente para matar a un hombre a 160 kilómetros de distancia.

No hemos de caminar más por el interesante camino de las comparaciones, pero lo dicho creo que basta para demostrar que no pueden deducirse consecuencias de gran alcance en cuanto a la verdadera categoría de una disciplina científica del hecho de que una haya podido enterarse de las leyes que rigen los fenómenos que estudia y otra no. Aparte de que las comparaciones no tienen valor alguno si se hacen en una misma fecha, pues no todas las ciencias prosperan al mismo ritmo, y ya hemos dicho que los avances de unas pueden influir de manera harto sensible en los de las demás.

Sintámonos satisfechos los geólogos de que nuestra ciencia, que puede decirse que sólo cuenta con siglo y medio de existencia, haya conseguido in-

terpretar de forma irrefutable muchos de los fenómenos que actualmente se desarrollan en la corteza terrestre y, por extensión, otros muchos que se desarrollaron en épocas geológicas pasadas, y confiemos en que la nube de científicos que hoy dedican de lleno su tiempo al estudio del subsuelo irá aumentando día a día el caudal de nuestros conocimientos y llegará el momento en que se pueda escribir, sin titubeos y con conciencia plena de lo que se dice, el último capítulo de la historia de la Tierra.

Los astrónomos han visto hasta hace poco obstaculizados sus estudios sobre los cuerpos celestes por la atmósfera terrestre, que a modo de espesavelo los impedía ver con diafanidad el verdadero aspecto del mundo exterior. Por eso decía sin duda Norris Russell, humorísticamente, que “todos los buenos astrónomos deben ir a la Luna cuando se mueran para poder observar el Universo sin la interferencia de nuestra turbia atmósfera”. A los geólogos no nos estorban las impurezas de la atmósfera, pero en cambio una capa de agua de varios miles de metros de espesor oculta a nuestra vista las cuatro quintas partes de la superficie del planeta, en donde seguramente se encontraría la clave de muchos fenómenos hasta ahora inexplicados.

Pero los amantes de la naturaleza, que consideran que la mejor prueba que pueden ofrecerle de su verdadero cariño es mostrar afán por descubrir sus secretos, no se avienen a frenar su labor investigadora por semejantes dificultades.

Si los estudios de los astrónomos se vieron obstaculizados por la capa de aire de nuestra atmósfera, que desvía los rayos de luz y detiene los rayos X procedentes de la atmósfera solar, idearon hace ya veinte años cohetes capaces de transportar pequeños telescopios y espectrógrafos hasta las capas superiores de la atmósfera terrestre y que durante unos minutos permiten estudiar las emisiones solares de rayos X y de rayos ultravioletas, y más tarde, por medio de globos, que llegaron a alcanzar alturas en donde queda por debajo el 99 por 100 de la masa del aire, consiguieron enviar telescopios más pesados y cámaras fotográficas a regiones donde apenas es apreciable la distorsión de la luz visible. Ahora, por medio de satélites artificiales, pueden hacer llegar a esas regiones plataformas estables con aparatos que pesan cerca de 40 kilos, y que apuntando constantemente al disco solar transmiten cada día docenas de fotografías de los rayos X y de los rayos ultravioletas.

Por su parte, los geólogos de varios países no cesan de organizar expediciones de estudios de los fondos marinos con barcos que disponen de los

más modernos aparatos para medir las profundidades oceánicas, estudiar minuciosamente el relieve de las cordilleras sumergidas y obtener fotografías de la superficie del fondo en las que pueden apreciarse tanto los seres que viven allí sedentariamente como los rastros de los que caminan de un lado para otro en busca de alimento. Sondas especiales obtienen testigos de las rocas y de los sedimentos que se encuentran o se forman en las mayores profundidades conocidas. La reciente expedición atlántica a bordo de las naves "Meteor" y "Almirante Saldaña", en la que han participado 42 científicos de 13 Institutos de investigación alemanes, ha conseguido datos interesantísimos de la complicada estructura de la cordillera central del Atlántico a la altura del Ecuador, en donde no había sido todavía investigada, y ha descubierto allí fosas de 6 a 7.000 metros, de las que no se tenía la menor noticia.

Pero no se puede pretender que los descubrimientos se sucedan a un ritmo tal que en un corto espacio de tiempo se calmen nuestras ansias por conocer lo mucho que aún ignoramos; pues, como dije antes, el progreso de una ciencia depende muchas veces del progreso de otra, y en ocasiones son los descubrimientos fortuitos y casuales los que sirven para inaugurar una nueva era de su historia.

Siento no disponer de tiempo para comentar cumplidamente, como sería mi deseo, la parte del discurso que dedica el señor Ríos a estudiar lo que considera "fuente fundamental de los conocimientos del geólogo", que no es otra que la observación de los fenómenos actuales seguida de un proceso inductivo de reconstitución de la historia del pasado basado en los principios del actualismo; a poner de relieve todo aquello que puede limitar nuestra capacidad de observación, a meditar sobre el obstáculo que para la formulación de los procesos geológicos supone el factor tiempo y el factor de proporcionalidad entre la escala técnica y experimental, por un lado, y la natural por otro, y a analizar los métodos que siguen los geólogos para llegar a conclusiones fidedignas y útiles a pesar de esas limitaciones. Del estudio de estas cuestiones preliminares trata de deducir el grado de confianza que pueden merecer las conclusiones a que llegan los geólogos.

A propósito de este tema, como se habrán dado cuenta mis oyentes preocupación constantemente manifestada por el señor Ríos a lo largo de su discurso, sostiene que los que meditan sobre estas cuestiones se dan cuenta de la "flojedad de los principios generales" de la Geología; no así los geó-

logos que practican geología de campo y geología aplicada a la minería, que según él no se dan cuenta de dicha flojedad porque los libros de texto no insisten sobre la importancia que el asunto tiene, y muchos ni llegan a mencionarlo. Y existe—añade el señor Ríos—“el grandísimo peligro de la complacencia cuando se ignoran las limitaciones básicas a que están sujetos nuestros principios”.

No niego que en determinados casos exista ese peligro, pero por regla general los geólogos que se dedican a la geología de campo, como los que hacen geología minera, se limitan a deducir consecuencias referentes siempre a fenómenos parciales, útiles para ellos, aunque si bien se mira son más útiles aún si cabe para quienes emplean su tiempo en discutir los principios generales, ya que en nada podrían apoyar sus lucubraciones si les faltase esa primera materia. Y son ellos los que al estudiar y correlacionar los datos que se les brindan, producto de la observación directa, siempre válida, los que han de preocuparse de si pueden o deben fundar en ellos principios generales.

En el corto relato que hicimos antes del proceso de desarrollo de los conocimientos geológicos en el transcurso de los dos últimos siglos, quedó bien manifiesto el gran partido que de observaciones en minas y canteras, en trincheras y túneles, supieron sacar inteligencias privilegiadas para contribuir a la formación de las grandes síntesis. No se puede pedir que cuantos se dedican a esas lucubraciones tengan una mente genial, por ello no deben coartar la libertad del geólogo para seguir procesos inductivos, para hacer “sondeos intelectuales”, como dice Eddington, previniéndole por sistema del peligro o riesgo que con ello corre.

El método inductivo es el único aplicable en Geología como, según el señor Ríos, reconoce Bradley, y el geólogo al aplicarlo se verá siempre forzado a comparar situaciones y circunstancias análogas, a ejercitar para ello su memoria y, hasta llegado el caso, tener en cuenta datos estadísticos, aun cuando la Geología sea una ciencia decididamente antiestadística en el sentido de que las excepciones pueden tener tanto o más valor que las situaciones medias. Ahora bien, al estudiar las excepciones es cuando yo creo que el geólogo de campo debe tener gran cuidado, pues con facilidad pueden aparecer a sus ojos como extraordinarias, realidades que debidamente interpretadas entran en el marco de lo normal y corriente. Cuántas veces el brusco plegamiento de unos estratos, una falla, metamorfizaciones debidas a la inmediata proximidad de una masa hipogénica llegan a parecer fenóme-

nos extraños, pero que no son sino lógica consecuencia de procesos ajustados a las reglas generales. Y cuántas veces hechos acaecidos sin intervención de las causas naturales habrán inquietado la mentalidad del geólogo y lanzado su imaginación por derroteros inverosímiles. Ya vimos cómo las lavas de la Auvernia habían hecho pensar a los habitantes de la comarca en las escorias de antiguas fundiciones, y casos como éste se han repetido una y otra vez, y seguirán repitiéndose en el futuro.

En los comienzos de mi vida de geólogo fue para mí una gran sorpresa que las poblaciones que bordean la bahía gaditana: Puerto de Santa María, Puerto Real, San Fernando y el mismo Cádiz, y hasta otras algo distantes de sus orillas, como Jerez de la Frontera y Chiclana, tuvieran sus calles empedradas con grandes cantos rodados de rocas hipogénicas, siendo así que en muchos kilómetros a la redonda no se registran en la provincia de Cádiz afloramientos de tales rocas, ni los ríos de la región arrastran en cantidad otros cantos rodados que los de calizas y areniscas procedentes de los derrumbios que cubren las laderas de las sierras secundarias y terciarias del interior. Varias muestras traídas por mí a Madrid fueron estudiadas al microscopio por el entonces profesor de Mineralogía de la Escuela de Minas y miembro que fue de esta Academia, don Pedro Palacios, y todas ellas resultaron corresponder a tipos peculiares de Escocia y de Islandia, países en los que suelen abundar. ¿Cabía en lo posible que tan enorme tonelaje de piedras de ínfimo valor hubiese sido transportado desde allí hasta Cádiz sin más objeto que el de proporcionar material para el empedrado de calles? Pues no sólo fue posible, sino que resultó ser un hecho cierto. Todas aquellas piedras habían llegado a Cádiz como lastre de los veleros que a fines del siglo XVIII venían a Cádiz a cargar sal de sus renombradas salinas, sal que era consumida por las flotas pesqueras de Inglaterra, de Islandia y de Noruega. El lastre de los primeros barcos fue arrojado al agua dentro de la bahía, pero obligados luego sus capitanes a descargarlo en tierra ante el justificado temor de las autoridades de Marina de que se formaran montículos en la canal navegable que obstaculizarían el tráfico, se amontonaron cantidades ingentes de esos cantos rodados en las playas del Trocadero y de Puntales, que los Ayuntamientos de los pueblos cercanos se apresuraron a retirar para pavimentar sus calles, y algunas de ellas conservan aún este primitivo adoquinado, de duración ilimitada por la dureza del material, pero incómodo para circulación de vehículos y peatones por la forma redonda de sus cantos.

El Río Guadalete, desde su paso por La Cartuja de Jerez hasta su de-

desembocadura en El Puerto de Santa María, ha excavado su cauce en las marismas de La Tapa, relleno cuaternario de su antiguo estuario. Como el espesor de este relleno de material arcilloso es superior a 10 metros, y el cauce del río sólo ha profundizado cuatro, no es posible que en el fondo del cauce afloren capas de otra formación geológica. Pero es el caso que a unos tres kilómetros aguas arriba de la desembocadura, en el paraje llamado "Las Doradas", el fondo del cauce está constituido en un trayecto de 70 a 80 metros por la caliza tosca del Tortoniense que forma la cercana Sierra de San Cristóbal. El hecho no tiene explicación lógica posible, pues aun en el caso de que el estuario del río hubiese quedado a modo de isla algún retazo de otra roca más antigua, éste habría tenido que ser del conglomerado conchífero del Plioceno, llamado en la localidad "piedra ostionera", que desde la falda de la Sierra de San Cristóbal hasta el mar cubre con espesor de más de 100 metros la caliza tosca tortoniense. ¿Se trataba de un brusco pliegue del Mioceno en una región donde desde el punto de vista geológico no está tranquilo y las capas horizontales? En modo alguno; el Mioceno de "Las Doradas" son restos de un vado artificial construido por los franceses con piedra de la Sierra de San Cristóbal, única que podían utilizar para tal fin, para transportar los cañones con que pusieron sitio a Cádiz en el mes de febrero de 1810.

Bien se comprende que los dos casos que quedan referidos los cito sólo como anécdotas que nos liberen por unos momentos del ambiente de seriedad en que estamos tratando de cuestiones trascendentales, y sólo pueden hacer mella en la mente de un geólogo novel o, si se quiere, de un aprendiz de geólogo; pero hay otros muchos en que por falta de un reconocimiento exhaustivo del terreno escapan a la observación circunstancias capaces de explicar la aparente anormalidad de un fenómeno geológico. Citaré un caso.

En la parte occidental de la provincia de Málaga, entre los pueblos de Ardales y Yunquera, se extiende una alta sierra formada de calizas triásicas, cuyas capas se hallan bien manifiestas en el estrecho o garganta por donde pasa el camino de herradura que va del Burgo a Casarabonela. Se trata de calizas de color gris oscuro o negro, con profusión de fucoides, facies típica del Trías medio de la Serranía de Ronda.

Las capas están verticales, y se da el caso curioso de que siguiéndolas por la crestería de la sierra en dirección sur, cambian poco a poco de aspecto: la pasta se hace más cristalina, los fósiles van escaseando y cuando se

llega frente al pueblo de Yunquera, los mismos bancos de caliza negra se han convertido en mármol blanco sacaroides.

Tanto en la falda oriental como en la occidental de la sierra, las calizas en cuestión, que forman un sinclinal de eje Norte-Sur, descansan sobre pizarras ampelíticas del Cambriano y gneises del Estrato cristalino, pero en el extremo sur de la vertiente este están en contacto directo con peridotitas, y a la acción metamórfica ejercida por estas rocas hipogénicas se debe el cambio de facies de las calizas triásicas en el lugar indicado. Si en el reconocimiento geológico de dicha sierra se hubiera prescindido del área próxima a Yunquera, el cambio de facies de las calizas triásicas no hubiese tenido explicación satisfactoria y habría constituido un fenómeno de difícil comprensión. En cambio, después del estudio de la sierra en su totalidad se pueden sentar dos conclusiones: que los mármoles blancos sacaroides que en varios lugares de la Serranía de Ronda descansan sobre las grandes masas de peridotitas, son como los de Yunquera, de edad triásica, y que el acercamiento a la superficie del gran batolito peridótico tuvo lugar en época posterior al Trías medio. ¿Hay en todo esto algo de imaginación? Es posible, pero al no poder contemplar una imagen completa de lo acaecido, el geólogo tiene que suplir con la imaginación lo que falta. Ahora bien, no puede decirse que sean sólo los geólogos los que recurren a suplir con la imaginación lo que no se puede lograr mediante la observación directa, y muchos e importantes descubrimientos científicos se han debido precisamente a haber imaginado de antemano el principio o ley a que debía ajustarse un fenómeno determinado. Es evidente que a la fuerza creadora de la imaginación no se le debe conceder libertad absoluta cuando se trata de temas científicos, que consta que no pueden rebasar en su desarrollo límites impuestos por hechos comprobados; pero rechazar sin otro fundamento las hipótesis que el hombre de ciencia pueda formular apoyándose en lo que su imaginación le sugiere, sería cortar de raíz uno de los árboles que más fruto han dado y pueden dar aún en el campo de la investigación. Las opiniones que con respecto a este punto cita el nuevo Académico de Bradley y de Cueto deberían tranquilizarle, y no empeñarse en ver por todas partes imperfecciones, debilidades, falta de solidez en los principios y ataques o alusiones despreciativas a la ciencia por la que siente el Sr. Ríos tan decidida vocación.

El que los mecanismos físicos y mentales que rigen el pensamiento del geólogo tengan categoría de leyes, de meros principios rectores o simple-

mente de generalizaciones, no creo que pueda influir en el enorme desarrollo que la ciencia geológica está alcanzando en nuestros días, y el lisonjero porvenir que se vislumbra compensa sobradamente cualquier malestar que pudiera sentir el geólogo por el hecho de que alguien quiera discutir la categoría de su ciencia.

En uno de los párrafos de su discurso nos dijo el Dr. Ríos que veía con verdadero sentimiento cómo la enseñanza de la historia de la ciencia geológica, de la evolución de las ideas y teorías, iba desapareciendo rápidamente de los textos. Yo tomé nota de este párrafo, y por ello presenté un ligero esquema de esa historia y de esa evolución que de manera tan manifiesto muestra el proceso seguido en su desarrollo por la Geología, y cómo el camino que han seguido sus investigadores ha ido conduciendo casi en línea recta a las grandes generalizaciones, principios o leyes (llámeselas como se quiera) que hoy constituyen su esencia.

En otro párrafo nos dijo que sentía un complejo de inferioridad cuando al ahondar en la literatura existente encontraba publicaciones encabezadas con títulos como el de “¿La Geología es ciencia?” u otros parecidos, y aun trabajos que sin anunciar desde el título esa preocupación, constituía ésta un motivo temático a lo largo del texto. Desconozco la fecha en que esos trabajos se publicaron, pero yo me atrevo a asegurar que antes de que acabe por desaparecer de los libros de texto la enseñanza de la historia de la ciencia geológica habrán dejado de publicarse trabajos en los que sus autores se pregunten si la Geología es ciencia o no.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBRITTON JR., C. C.: "The Fabric of Geology".—Prefacio. 75 Aniversario Geol. Soc. of America. Washington, 1963.
- ARAGONÉS PUIG, A.: "El humanismo clásico y el científico en la formación del Ingeniero".—E. E. de Ing. Ind. Madrid, 1952.
- BARNHART, C. L.: "The American College Dictionary".—Harper Ed. N. Y. y Londres, 1948. 1.432 p.
- BARRELL, J.: "Rythmus and the measurement of Geologic Time".—G. S. of America Bull. Vol. 28. Pt. 3. 1917. 159 p.
- BERINGER C., C.: "Geschichte der Geologie und des Geologischen Weltbildes".—F. Enke Ed. Stuttgart, 1954.
- BILLINGS, M. P.: "Cronología de las orogénesis y naturaleza de la Escala de los Tiempos Geológicos".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 45. Madrid, 1957, 92 p., y Bull. of the Am. Assoc. of Petr. Geol. n.º 8. Vol. 40. 1956.
- BRADLEY, W. H.: "Geological Laws", en The Fabric of Geology, Geol. Sc. of America. 75 Aniversario. 1963, 11 p.
- BRUNN, J. H.: "La methode historique et la geologie".—Rev. de Geogr. Phys. et de Geol. Dyn. (2). Vol. V, fasc. 3. París, 1963, 5 p.
- BUCHER, W. H.: *The deformation of the earth's crust; an inductive approach to the problems of diastrophism*.—Princeton University Press. 1933, 518 p.
- "The nature of geological inquiry and the training required for it".—Inst. Min. and Met. Eng. Tech. Publ. 1.377. 1941.
- "Role of gravity in orogenesis".—Geol. Soc. of America Bulletin. Vol. 67. Baltimore. 1956. 23 p.

- BUSH, V.: "The limitations of Science".—Citado en *Time*, 7 de mayo 1965.
- CAILLEUX, A.: *Histoire de la Geologie*.—Presses Universitaires de France. París, 1961.
- CAREY, S. W.: "The Rheid Concept in Geotectonics".—*Journ. Geol. Soc. Australia*. Vol. 1, núm. 1, p. 67-117. Adelaide, 1953, 50 p.
- "Escala de los fenómenos geotectónicos".—N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, núm. 72. Madrid, 1963, 11 p.
- "Plegamiento".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 74. Madrid, 1964, 67 p.
- CARNAP, R.: "The methodological character of theoretical concepts".—Minnesota Press. Minneapolis, 1956, 38 p.
- CAYEUX, L.: "Causes anciennes et causes actuelles en Geologie".—Masson et Cie., Ed. 1941. París, 80 p.
- CLOUD, P. E.: "Is geology a Science?".—*Geotime*. Vol. 1, núm. 6. Dic. 1956. Washington. Trad. esp. J. M. Ríos.—N. y C. del I. G. y M. de España, núm. 46. 1957, 4 p.
- CORBEL, J.: "Vitesse de l'erosion".—*Zeit. Geomorphologie N. F. T.* 3, H. 1. 1959, 28 p.
- CORNELIUS, H. P.: "Fundamentos de Geología General".—Ed. Alhambra, 1954. Madrid, 403 p.
- CUETO Y RUI-DÍAZ, E.: "Fundamentos lógicos de la Geología".—*Bol. I. G. y M. de España*. Tomo LX, 1948. Madrid, 68 p.
- CHAMBERLIN, T. C.: "Method of Multiple Working Hypothesis".—*Journ. Geology*. Vol. 5, 1897.
- "The Appalachian folds of Central Pennsylvania".—*Journ. Geology*. Vol. 18, 1910, 23 p.
- DAWSON ADAMS, F.: "The birth and development of the geological sciences".—Ed. Dover. New York.
- DEMAY, A.: "Observation, interpretation et theorie en geologie".—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París, 1951.
- DOLE, R. B., y STABLER, H.: "Denudation".—U. S. Geol. Survey Water Suply Paper 234. Washington, 1909.
- EDDINGTON, A.: "The Nature of the Physical World".—Cambrigde University. Press. 1928.
- EGYED, L.: "La theorie dynamique de la Terre".—*Rev. Geographie Physique et de Geologie Dynamique*. Vol. V, fasc. 3. Masson et Cie., Ed. París, 1963.
- FALLOT, P.: "Las últimas teorías orogénicas".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 17. Madrid, 1947, 47 p.

- GILBERT, G. K.: "Inculcation of the Scientific Method by example".—Am. Journ. Science. Vol. 31, 1886.
- GILLISPIE, C. C.: "Genesis and geology; a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain. 1790-1850".—Harvard University Press, 1951. Cambridge. Mass.
- GILLULY, J.: "Atlantic Sediments, Erosion rates, and the Evolution of the Continental Shelf. Some speculations".—G. S. of America Bulletin. Vol. 75, número 6, junio 1964. New York, 9 p.
- "Distribution of mountain building in geologic time".—Bull. Geol. Soc. Am., n.º 69, 1949.
- GLANGEAUD, L.: "L'expérience et la recherche operationelle dans les Sciences de la Terre et de la Nature".—Revue de Synthèse n.º 29-31. A. Michel, Ed. París, 1963.
- GOGUEL, J.: "La Geologie, Science Naturelle ou Science Physique?".—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París, 1951, 4 p.
- GOULD, S. J.: "Is uniformitarianism necessary?".—Am. Journ. of Sc. Vol. 263. Marzo 1965.
- HAARMANN, E.: "Um das Geologische Weltbild. Malleo et Mente".—Ferdinand Enke, Ed. Stuttgart, 1935, 98 p.
- HEDBERG, H. D.: "El Panorama Estratigráfico".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 64. Madrid, 1961, 36 p., y Geol. Soc. of America Bulletin. Vol. 72. Baltimore, 1961.
- HEIM, A.: "Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung".—Neues Jahrb. G. Min. Geol. und Pal., 1908.
- HEMPEL, G. G.: "The Theoretician's dilemma; a study in the logic of theory construction".—Studies in the Philosophy of Science. Vol. 2. Univer. Minnesota Press, 1958, 61 p.
- HOLTON, G.: "Introduction to concepts and theories in physical science".—Addison Welley, Ed. Reading Mass., 1952.
- HOOVER MACKIN, J.: "Rational and empirical methods of investigation in geology". The Fabric of Geology. Geol. of America, 75 Aniversario. 1963, 29 p.
- HOYKASS, R.: "Natural law and divine miracle; a historical critic study of the principle of uniformity in geology, biology and theology".—E. J. Brill., Ed., 1959. Leyden.
- JOHNSON, D.: "Role of analysis in Scientific Investigation".—Geol. Soc. of America. Bull. Vol. 44, 1933.
- JORDÁN, J.: "La expansión de la Tierra".—Rev. de Occidente. año III, 3.ª ép., n.º 22. Madrid. enero 1965.

- KITTS, D. B.: "The theory of geology".—The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario, 1963, 20 p.
- "Historical explanation in geology".—Jour. Geol. Vol. 71, 1963, 16 p.
- KNOFF, A.: "La teoría del geosinclinal".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, número 27. Madrid, 1952, 45 p., y Geol. Soc. of America. Bulletin vol. 59, 1948.
- KRUMBEIN, W. C.: "The computer in geology. Quantification and the advent of the computer open new vistas in a science traditionally qualitative".—Liverpool and Manchester. Geol. Journ. Vol. 2, 1962, 27 p.
- KUENEN, P. M.: "Marine Geology".—John Wiley and Sons, Ed. 1950, 568 p.
- "Rate and mass of deep sea sedimentation".—Am. Journ. Sc. Vol. 244, 1946, 9 p.
- LEET, L. D., y JUDSON, S.: "Physical Geology".—Prentice Hall, Ed. New York, 1954, 466 p.
- LEGAZ LACAMBRA, L.: "El espíritu científico y las humanidades".—Las Ciencias. Tomo XXIX, núm. 5. Madrid, 1964.
- LONGWELL, C. R., y FLINT, R. F.: "Introduction to physical geology".—John Wiley, Ed. New York, 1955.
- LOOMS, A. A.: "Some geologic problems of Mars".—Geol. Soc. of America Bull. Vol. 76, núm. 10, 1965, 29 p.
- MARITAIN, J.: "El orden de los conceptos".—Biblioteca Argentina de Filosofía. Buenos Aires, 1962.
- MCKELVEY, V. E.: "Geology as the study of Complex Natural Experiments".—The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario, 1963, 8 p.
- MILTON, CH.: "Authigenic minerals of the Green River formation of the Uinta Basin, Utah".—Intermountain Assoc. Petr. Geol. 8th Ann. Field. Conf. 1957.
- NAGEL, E.: "The structure of science".—Harcourt Brace and World, Ed. New York y Burlingame, 618 p.
- O'DRISCOLL, E. S.: "Esquemas experimentales en plegamientos similares superimpuestos".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 73. Madrid, 1964.
- PALACIOS, L. E.: "Filosofía del saber".—Editorial Gredos. Madrid, 1962.
- PRUVOST, P.: "Les refuges de l'hypothèse en geologie".—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París, 1951.
- RÍOS, J. M.: "Esto es la Geología".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, número 19. Madrid, 1949, 119 p.
- Introducción del traductor a "Fundamentos de Geología General", de H. P. Cornelius.—Ed. Alhambra. Madrid, 1955, 401 p.
- "Indole y criterios de la Ciencia Geológica".—N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, núm. 58, 119 p.

- “Limitaciones y perfectibilidad permanente en la cartografía geológica. Problemas que plantean las técnicas modernas”.—N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, núm. 65. Madrid, 1962, 11 p.
- SCRIVEN, M.: “Truism as the grounds for historical explanations”.—Theories of history. The Free Press. Glencoe. Illinois, 1959.
- SIMPSON, C. G.: “Historical Science”.—The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario. 1963, 25 p.
- SPIEKER, E. M.: “Cronología de las orogénesis y naturaleza de la escala de los tiempos geológicos”.—Trad. esp. por J. M. Ríos. N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, 1957. Madrid, 92 p.
- STILLE, H.: “Mudanzas en el magmatismo de nuestro Globo”.—Estudios Geológicos. Inst. Lucas Mallada de Geol., núm. 4. Madrid, 16 p., 1946. Publ. original en 1940.
- “Grundfragen der vergleichenden Tektonik”.—Ed. Gebr. Borntraeger, 1924. Beren, 399 p.
- “Werden und Vergehen der Kontinente und Meere”.—Die Erde. Zeitsch der Ges. für Erdkunde, 1944. Berlín.
- “Das Leimotiv der Geotektonischen Entwicklung”.—Deut. Akad. der Wiss. 1949. Berlín.
- STRUKTUR UND ZEIT: Geologische Rundschau.—Vol. 38, 1950.
- SULLIVAN, J. W. N.: “The limitations of Science”.—Vicking Press, Ed. New York, 1933.
- VILA CREUS, P.: “Nociones de Filosofía”.—Ed. Lumen. Barcelona, 1954.
- WEGENER, A.: “The origin of Continents and Oceans”.—Methuen and Co., 1924. London, 206 p.
- WEGMANN, E.: “L'Analyse structural en geologie”.—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París. 1951.