
Ciencia

Los principios fundamentales de la geología histórica

ANGEL V. BORRELLO

NACIO EN NECOCHEA (prov. de Buenos Aires) en 1918. En 1942 se graduó de doctor en ciencias naturales en la Universidad Nacional de La Plata, en cuya Facultad de Ciencias Naturales y Museo es profesor de Geología Histórica, ejerciendo, asimismo, la dirección de la División Geología. Realizó viajes de estudio e investigación por Estados Unidos, Canadá y países sudamericanos limitrofes a la Argentina. En 1958 obtuvo, discernido por la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, el premio "Holmberg" por el trabajo Recursos minerales de la República Argentina. Combustibles sólidos minerales. Actualmente es vocal "ad honorem" de la Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires. Ha publicado veintiséis trabajos científicos en el país y en el extranjero. Dentro y fuera de la Argentina ha dictado numerosas conferencias.

COMO rama de las ciencias geológicas puras la Geología Histórica contiene en su objeto esencial la recapitulación de los acontecimientos físicos y biológicos que permiten establecer el ordenamiento evolutivo de la corteza terrestre, desde su remota consolidación definitiva hasta la actualidad. Para ello, básicamente, cuenta con sus métodos estratigráficos, y tras la consideración de los fenómenos que se reconocen en las llamadas eras y períodos geológicos, alcanza con su plan científico moderno a la descripción del desarrollo de cada uno de los ambientes morfoestructurales comprendidos en una región determinada, por lo cual esta geología regional suma al examen de las geografías del pasado el estudio de la geología del presente. A lo largo de su desenvolvimiento como materia científica la Geología Histórica ha logrado extraer conclusiones que desde antiguo son fundamentos ineludibles, tanto para su método objetivo como en el curso de su tratamiento filosófico. Otras conclusiones provienen del análisis de resultados más recientes y son producto del

esfuerzo contemporáneo. Estos y los precedentes o clásicos, como debieran en realidad designarse, integran el cuadro de los denominados *principios* de la Geología Histórica por cuanto aparte de ser esenciales, representan razones o normas invariables al punto que no pocos de ellos cabrían sin hesitación en el rango de leyes naturales de la Geología.

Los aludidos principios fundamentales son ya, al presente, diez, y en un orden dado para su mejor comprensión y descripción, se mencionarán así: 1. Principio de la relación bidimensional; 2. Principio de superposición; 3. Principio de la sucesión biológica; 4. Principio del uniformitarismo; 5. Principio de continuidad; 6. Principio de universalidad; 7. Principio de la incompleta secuencia; 8. Principio de correlación estratigráfica; 9. Principio de evolución geológica; 10. Principio de las geografías sucesivas. Una sumaria exposición sobre el significado, definición e historia de cada uno de ellos desarrollaremos seguidamente.

1. PRINCIPIO DE LA RELACIÓN BIDIMENSIONAL

En Geología Histórica es evidente que los fenómenos geológicos, físicos y biológicos alcanzaron su desarrollo en función de dos dimensiones paralelas: espacio y tiempo. Ambas están reconocidas por los investigadores del ramo como doble conjunción circunstancial, a la vez que específica. Controlan la naturaleza de cada acontecimiento y rigen la modalidad íntima de su evolución. La dimensión espacio, restringida a las áreas continentales es obviamente tangible y finita. Los fenómenos que se emplazan dentro de sus lindes son comparativamente fáciles de circunscribir y medir planialtimétricamente. En cuanto a esto cabe decir que, en el orden del espacio que el principio considera se contempla un desarrollo formacional o estructural determinados en el sentido horizontal y vertical, o lo que es lo mismo: superficie y espesor que, respectivamente, equivalen a extensión y secuencia. La dimensión tiempo es en general infinita porque físicamente no tiene solución de continuidad. Empero, en su aplicación geológica adquiere circunstancialmente límites de valor cronológico convencional determinable hasta en número de años para mensurar formaciones o rocas, conforme con metodologías de la datación en boga en las diversas escuelas modernas de geocronometría.

Espacio y tiempo son independientes para la concepción del principio bidimensional. Sin embargo el tiempo viene a identificarse con el espacio cuando de éste tomamos el desarrollo vertical o potencia estrati-

CIENCIA

gráfica la cual, en general, requiere para un mayor desarrollo, más prolongado lapso de subsidencia que facilite la sedimentación. Así, Schuchert (1931), señaló que un metro de estratos producidos por la sedimentación durante el tiempo paleozoico ha insumido la duración de algo más de 8.000 años (mientras que para igual espesor de sedimentos formados en el Terciario fue suficiente el lapso de unos 4.000 años. En este caso, es de mínimo interés el conocimiento de los datos vinculados a la extensión de la cuenca sedimentaria o a la proyección geográfica en el espacio continental, u oceánico. Lo que importa en forma directa es el desarrollo que estratigráficamente adquiere la sedimentación en su hacinamiento vertical, el cual es una función que depende entre otros factores (subsidencia, aporte sedimentario, etc.) del curso del tiempo geológico.

Las discordancias, que son discontinuidades estratigráficas debidas a fenómenos tectónicos, sobre cuyas superficies faltan hiladas reducidas o cuantiosas de estratos, comprenden lapsos erosivos y de no depositación dentro de los cuales y pese a la ausencia del testimonio geológico visible, queda comprendido un período cierto de tiempo geológico. A veces este lapso ha sido muy prolongado para la historia de la Tierra, como acontece con la discordancia situada entre el basamento y el Cámbrico admitido como el más importante de los sucedidos. La magnitud del fenómeno geológico sin depositación sedimentaria puede establecerse mediante la identificación de los terrenos situados a ambos lados del plano de discontinuidad.

A través del tiempo geológico se han sucedido en el espacio continental modificaciones sensibles de carácter geotectónico. Los geosinclinales que parten de ambientes tectogénicos y ulteriormente culminan como estructuras orogénicas, son complejas unidades geotectónicas que han ocupado extensas fosas o surcos pericontinentales o intercontinentales, sometidas a la subsidencia (exhondación regular o continua). Su espacio, el desarrollo de su espesor y la magnitud del tiempo abarcada para su evolución, pueden ser determinados desde el punto de vista geológico. Con posterioridad al relleno sedimentario, los geosinclinales se comprimen en la fase de su plegamiento intenso y, hasta por el ajuste tectónico y fracturación, llegan a mutilarse frontalmente contra la masa rígida continental denominada antepaís. Es éste el caso de la reestructuración de los espacios geológicos que complementa el cuadro de los mismos en el tiempo pasado.

Algunas teorías tienden a explicar la génesis y evolución de la esfera terrestre a través de la dilatación más o menos continua del geoide. Esta circunstancia impone advertir modificaciones en las dimensiones del radio de la Tierra y con ello el incremento del volumen del planeta en que

vivimos. Si esto es tanto, no es improbable que la íntima relación del tiempo con el espacio terrestre antiguo haya sido distinta y que, en consecuencia, los valores seculares, anuales y estacionales tengan una función cronológica cambiante a través del tiempo geológico desde hace unos 4.500 millones de años en que se calcula la edad absoluta de la Tierra. Sin embargo no existe otra trascendencia final para el mismo tiempo geológico, como no sea la de identificarse con el imperecedero tiempo universal.

2. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

De todos los principios que se enuncian éste es reconocido como el más antiguo para la Geología Histórica como ciencia. Steno lo introdujo en 1669 (De Launay, 1913) después de realizar observaciones, más que científicas, empíricas, en parajes cercanos a Toscana, Italia, pese a lo cual son valiosas por su alcance y prioridad. Resulta sencillo definir el principio de la superposición después de lo anotado por Steno y en síntesis hoy se lo concreta en los términos que siguen: de dos capas de sedimentos la que en condiciones normales se encuentra en la posición inferior, o debajo, resulta ser la más antigua. Se requerirá entonces, invariablemente, dos láminas sedimentarias, por lo menos, para lograr la comparación del orden superpuesto, lo cual resulta ser la base del sistema seciente en todo el desarrollo estratigráfico de la cubierta terrestre.

Por las razones mencionadas, la superposición está acorde con el mecanismo de la continuidad geológica de la génesis de depósitos sedimentarios cuyo significado, según se verá, cabe ciertamente en los criterios de un principio de designación homónima, especialísimo para la materia. La superposición en términos más generales no deja de abarcar el proceso reiteradamente ininterrumpido (aunque ésta sea a veces fraccionada por discordancias) de la depositación de otras masas líticas, como las lavas, que, de origen efusivo, yacen sobre terrenos sedimentarios siguiendo el orden regular de acumulación sobrepuesta en la naturaleza. También es admisible el orden de superposición en las rocas del basamento transformadas las más de las veces por el metamorfismo hasta en complejos cristalinos, mientras denoten un indicio de su secuencia original que fuera controlada en las antiguas cuencas deposicionales por un régimen geológico idéntico al comprobado para los estratos de formación reciente y normal.

A mediados del siglo XVIII, Strachey, en Inglaterra preparó un corte geológico en la región carbonífera próxima a Somersetshire (Weller,

CIENCIA

1960) sin prescindir la consignación de anomalías tectónicas evidentes en su labor de observación. Su reconstrucción de la estructura local parece haber soslayado todo problema de interpretación por cuanto en el diagrama pertinente con toda claridad fueron anotados los pormenores de la sucesión superpuesta, relacionada por sus respectivos intervalos estratigráficos de caracteres constantes. De 1759 es la información de Arduino, de la Universidad de Padua y pionero italiano en la Geología Histórica, vinculada con el desarrollo sucesivo de máximos órdenes geológicos para sus clases de montaña (Weller, op. cit.) en el que reconociera a los grupos estratigráficos del Primario, Secundario y Terciario y uno posterior equiparable al Cuaternario de la nomenclatura moderna. El agrupamiento aludido significó así la primera clasificación estratigráfica general en Europa, fundamentada obviamente en la superposición de los depósitos de las grandes unidades (grupos) que en cada caso coinciden en lo cronológico con las divisiones no inferiores a Era.

A fines de la XVIII centuria en la obra "Teoría de la Tierra" de Hutton, (Krumbein y Sloss, 1956) quedó definitivamente incorporado el proceso de la acumulación superpuesta y desde entonces es inexcusable la utilización del criterio de admitir la forma de la sedimentación de capas viejas, sucesivamente cubiertas por terrenos de data menor.

Como proceso geológico la superposición sedimentaria es en consecuencias por doquier hecho generalizado, para el que gravitan algunas excepciones, tales como: la superposición aparente debida a anomalías que nacen con el rebatimiento estructural; la superposición tectónica irregular del sobreescurrecimiento; la formación de depósitos en senos cavernosos debidos a disolución de rocas calcáreas preexistentes y, la naturaleza del paisaje aterrazado fluvial durante la elaboración del nivel de equilibrio, en el cual, las formaciones antiguas ocupan posiciones relativamente más altas por el progresivo recorte y relleno de los valles hacia el eje de desagüe, en cuyo lecho vivo prosigue la acumulación de los depósitos que forman las gradas de formación actual.

3. PRINCIPIO DE LA SUCESIÓN BIOLÓGICA

Este principio fue reiterado concretamente por Dunbar (1961) como hecho importante cual es la ley natural que revela al cuadro grandioso de faunas (conjunto de animales) y floras (conjunto de plantas) sucedidos en un orden definido y determinado, todo ello contenido en el

marco de la historia geológica de la corteza terrestre que ha llegado después de más de 500 millones de años desde el antiguo Eocámbrico al instante de la actualidad. Y para ello realizó el descubrimiento de Smith, precedente a la iniciación del siglo XVIII y que fuera basado en la identificación de los restos fósiles, indicadores, guantes que sirven para deslindar formaciones de estratos o simplemente bancos superpuestos aunque varíe la naturaleza litológica (litofacies) de los mismos.

Como lo advierten Dunbar y Rodgers (1958) el descubrimiento de la ley de sucesión faunística por Smith fue al mismo tiempo revelado en Francia por los famosos naturalistas Cuvier y Brogniart.

La sucesión es denominada complejivamente biológica y comprende por ende no sólo a las mayores agrupaciones de animales y vegetales sino también a otras subordinadas o menores denominadas, respectivamente, fáunulas y flóruas. Todas importan, a la vez para la correlación a lo largo de las épocas geológicas y por esta razón semejantes asociaciones son denominadas bioestratigráficas.

En la cronología terrestre aparecen en primer término las formas vegetales, conservadas como singulares restos carbonosos dentro de la estructura del basamento. Los más remotos fueron hallados en Canadá como distintivos de una formación, la manigotiana, cuya antigüedad ha sido calculada en 2.500 millones de años. Lechos carbonosos parecidos, aunque más jóvenes, procedentes de la acumulación de algas han sido citados en Finlandia y están contenidos en rocas del basamento que acusan la precedencia de unos 700 millones de años. Iniciado el tiempo paleozoico en el que aun perdura el ciclo de las algas, el geólogo dispone de las primeras asociaciones de trilobites y graptolites, tan característicos e importantes como lo son para el Mesozoico los ammonites y los mamíferos para el Terciario. A propósito de los vertebrados, Simpson (1961) ha expuesto la forma gradual en que aparecen: primero los peces sin mandíbula en el Ordovícico; después los placodermos en el Silúrico; seguidamente los peces cartilaginosos y los óseos en el Devónico; a continuación los reptiles en el Carbonífero y por último los mamíferos en el Eomesozoico. Este aserto coincide con una secuencia irreversible en el tiempo geológico, fundamentalmente presidida por la activa transmutación de los organismos en todo tiempo del pasado.

No es distinto el proceso paralelamente ordenado de la transformación de las formas vegetales. Moret (1949) al reseñar sucintamente las grandes etapas del desarrollo vegetal, siguiendo a Bertrand ofrece este orden: criptógamas vasculares → pteridospermas → gimnospermas → cicada-

CIENCIA

les antiguas → angiospermas, desde el Cámbrico al Terciario inclusive. Es innecesario insistir aquí sobre la irreversibilidad en el desenvolvimiento del reino de las plantas.

Una de las consecuencias más singulares del proceso biológico sería la condición adaptativa y divergente de formas diversas. Otra es seguramente el incremento notable del número de especies como que hasta 800.000 formas han sido anotadas para el final del Terciario para el grupo de los artrópodos en el trabajo de Simpson (1961, op. cit.).

Una variante de excepción parece introducirse en el caso expuesto de sucesión orgánica por medio de las llamadas *especies pancrónicas* (*Gingko*, entre las plantas; *Nautilus*, entre los cefalópodos, etc.) que a través de millones de años no acusan modificación evolutiva. Tal vez todo se limite a un estado estático relativo fundado en la gran lentitud del proceso transmutacionista que mayormente había de operarse en la estructura menos visible de las formas. Otra excepción la configura el fenómeno de recurrencia biológica que ha sido observado con la repetición bioestratigráfica de especies fósiles tenidas como guías (*Septosyringothyris keideli*, en el Carbonífero del Oeste Argentino).

El mundo biológico del presente se ofrece estático al ojo escrutante del observador. No obstante es seguro que no ha cesado aún el impulso dinámico para la sucesión de animales y plantas conforme a lo que inexcusablemente impone el complejo mecanismo evolutivo de la vida.

4. PRINCIPIO DEL UNIFORMITARISMO

Al sintetizar las ideas que facilitaron la comprensión del proceso del ordenamiento estratigráfico, Krumbein y Sloss (1956) expresaron que Hutton es el autor a quien se deben algunos de los principios básicos respectivos y, en este caso, especialmente, el de haber creado el concepto de *uniformitarismo*, en general equivalente de lo que pueda considerarse como *actualismo* en la ciencia moderna.

Hutton resumió su propio pensamiento en una única sentencia, simple y objetiva, expresada en los siguientes términos: *El presente es la clave del pasado*. Este autor aspiró a significar con ello que todos los hechos ocurridos en el transcurso de las épocas geológicas pasadas hállese representados en el presente y bajo la forma del mecanismo de un proceso idéntico que puede observarse en la escena de la actualidad. Por ello el fenómeno es susceptible de describir, comparar y juzgar en el aspecto

de sus pormenores reales, puesto que puede ser equiparado a un hecho paralelo del presente. Con todo, lo actual siempre será de índole analítica y hasta inconclusa, mientras que lo pretérito sobre todo cuanto más se aleja de lo reciente tenderá a absorberse en medio de sus evidentes elementos de síntesis.

Es obvio que en el principio aludido caben excepciones inevitables, v. gr. reformación de la o las cortezas terrestres primitivas; iniciación de ciclos biológicos (phylum); formación de cratones (nucleos continentales) y otros. Asimismo es menester expresar que el uniformitarismo fundamentalmente señala la presencia en el pasado de fenómenos geológicos de índole idéntica a los que ocurren en el presente y es por lo tanto más efectivo desde el punto de vista físico que el concepto llamado del actualismo, el cual denota en cierto modo restricción en el tiempo para el desarrollo de los procesos los que a todas luces son seculares o multiseculares en el sentido cronológico de la geología. Cuando decimos que el delta Catskill, del Devónico norteamericano, representa un antiguo fenómeno de sedimentación de descarga fluvial, "uniforme" en su mecanismo de génesis con respecto al del delta del Orinoco o el del Ganges de edad reciente, aludimos a la igualdad de circunstancias tectónicas con sus respectivas facies, más no implica equivalencia temporal o de duración alguna con los similares eventos contemporáneos aludidos. Es además harto probable que los viejos fenómenos geológicos, conforme con lo dicho en el principio de la relación bidimensional, hayan alcanzado una secuencia en el tiempo mucho más prolongada, la que debe ser en cualquier caso de duración muy distinta y más discrepante cuanto mayor sea el intervalo que medie entre los casos geológicos que se comparen.

En lo que concierne al uniformitarismo de cuadros biológicos este principio vale, seguramente, para explicar la reiteración de las relaciones ecológicas con las asociaciones de organismos, o biocenosis, en medios determinados de diversas épocas pretéritas de la historia terrestre, en función de cuanto se ha revelado por el estudio sistemático respectivo de la naturaleza en el tiempo actual.

5. PRINCIPIO DE CONTINUIDAD

La continuidad física y biológica en el registro del manto externo de la tierra, con sus lógicas modificaciones, es un hecho comprobado que, junto al precedente criterio uniformitarista, sostiene la regularidad de su

CIENCIA

desenvolvimiento geológico. Ha de definírsele como al principio de la Geología Histórica en el que puede comprenderse la prosecución ininterrumpida de los grandes procesos geológicos, físicos y biológicos, los que sobre la superficie terrestre han ocurrido desde su primera consolidación hasta el tiempo actual.

Stille (1949) se ha expresado con respecto a la evolución cortical de la tierra al aludir al quedo y normal desenvolvimiento de sus procesos pertinentes, ocasionalmente afectados por las fases diastróficas que originaron estructuras montañosas por orogénesis, en determinados momentos de la historia continental. Por este motivo las que pueden considerarse como interrupciones aparentes de carácter estratigráfico, tanto como las discontinuidades bioestratigráficas del tipo lagunas o hiatus paleontológicos, no cuentan en el caso por ser procesos relativos y a veces hasta localizados a zonas limitadas de las áreas continentales.

En cuanto al mismo diastrofismo, las numerosas orogénesis habidas desde la época de los Arcaides, o montañas arcaicas, hasta ahora, representan con su repetición un ejemplo inequívoco de lo que la continuidad es en Geología Histórica, sobre todo por el hecho de que en el decurso de más de 3.000 millones de años han ocurrido con una periodicidad casi cíclica y sin dejar de comprender a sus fenómenos intrínsecos característicos asociados al geomagnetismo.

Los ciclos sedimentarios, los ciclos diastróficos, los ciclos magmáticos, han sucedido sobre la tierra desde el mismo momento en que comenzó la formación estructural de los continentes, traducida en la propia secuencia o migración de las zonas geosinclinales.

El aludido autor germánico cree que, para el caso de los geosinclinales, la historia geológica habría llegado a su fin y que la continuidad ha culminado con la extinción de los clásicos orógenos. Tal vez debiera exceptuarse de esto la particular modalidad tectónica impresa en la región marítima del sudeste asiático, contiguamente a Indonesia, y en la fosa pacífica de Atacama a lo largo de la costa sudamericana donde hay indicios de algunos tipos geosinclinales en formación.

Bonté (1953), que ha definido el principio de la continuidad diciendo que puede encararse desde el punto de vista del espacio lo cual proporcionará la idea de las *facies*, o del que se refiere al tiempo que conducirá a la idea del *ciclo*, considera excepción para el mismo la existencia de las denominadas lagunas de sedimentación.

La continuidad queda expresada como tal en primer lugar, porque continentes y océanos son ámbitos comunes desde el comienzo de la his-

toria geológica y además, porque cualquiera de los fenómenos más salientes y característicos de las regiones continentales han alcanzado a subsistir hasta el presente. De no ser así carecería de significado el hecho que entre el Proterozoico superior y el Holoceno se cuentan diez grandes ciclos desérticos, y siete etapas glaciarias entre grandes y locales, por lo menos, cuyos sedimentos indicadores se intercalan en la extensa columna de la secuencia estratigráfica acompañados de otros eventos que confirma la vigencia de su desarrollo hasta la actualidad.

6. PRINCIPIO DE UNIVERSALIDAD

Por el hecho de que en conjunto los fenómenos geológicos, a lo largo de la historia de la tierra, ocurrieron indistintamente en todas las estructuras y por ellos éstas se caracterizan, sin denotar exclusividad geográfica alguna, el principio que se enuncia tiene su sentido indiscutible en la ocurrencia generalizada de los mismos lo cual permite aplicar el respectivo criterio a cualquiera de las áreas continentales conocidas. Este es, así, el principio que podría denominarse del *pangeísmo*, o sea el de la Tierra como un todo capaz de admitir sin restricciones al desarrollo de los procesos geológicos y biológicos que son representativos del cuadro complejo de su evolución. El vulcanismo final de la región antártica con sus densas masas basálticas no difiere del similar vulcanismo centroamericano o del que casi recientemente ha prosperado en Hawaii. El desarrollo de los *belts* (fajas) serpentinizados en estructuras paleozoicas están a la vista en Appalaches tanto como en los Andes y en las estructuras noreuropeas de los Montes Escandinavos. Por igual al glaciario gondwánico, de gran expansión en el hemisferio austral desde Australia a Sud América, alcanzó un singular dominio extensivo paleocontinental y caracteres iguales se comprobaron con el glaciario pleistocénico del cuadro alpino-asiático y fuegoandino entre las otras áreas de su distribución mundial. La propagación de los geosinclinales en uno y otro hemisferio después del tiempo assyntico y hasta en el Cenozoico confirma la difusión pangénica de estos elementos geotectónicos en ámbitos paleogeográficos opuestos. Ello prueba, acaso, el carácter de mayor alcance que pueda darse a la universalidad como principio de la Geología Histórica.

La generalización de todos los procesos geológicos cualquiera sea su índole y magnitud coincide a la vez independientemente con el sentido

CIENCIA

estricto del actualismo que fuera precedentemente considerado en esta exposición.

7. PRINCIPIO DE LA INCOMPLETA SECUENCIA

Del largo centenar de kilómetros de desarrollo que en ascendente orden estratigráfico comprende la columna compilada de formaciones sedimentarias correspondiente al ciclo neogeico, desde el Cámbrico al Holoceno, sólo es posible medir y a veces hasta con carácter parcial, fracciones sedimentarias correspondientes a fases terrestres o a ciclos más o menos completos de depositación geosinclinal, todo ello, siempre, sobre las áreas continentales expuestas a la observación. Así en la estructura de los Appalaches se ha comprobado el hacinamiento de unos 12.500 metros de capas paleozoicas mientras que en la Precordillera del Oeste argentino, extensa entre el Sudoeste de La Rioja y el Norte de Mendoza, la secuencia paleozoica se aproxima a los 15.000 metros de espesor. En el Mesozoico andino la máxima potencia registrada para las facies geosinclinales se ha estimado en unos 14.000 metros y los sedimentos del Terciario índico superan los 13.000 metros de espesor. Existen estructuras equivalentes de mayor potencia estratigráfica, pero lo cierto es que para alcanzar el total de la sumatoria es ineludible recurrir al registro combinado de los referidos valores parciales en cuanto a potencia se refiere, pues tomados individualmente cada uno de ellos sobre las áreas continentales sólo representan los caracteres de secciones autónomas en espacio y tiempo geológicos. Es obvio que no podría encontrarse un sólo lugar geológico que contenga a la máxima columna sedimentaria aludida, va que aun teóricamente considerado el caso, el mismo no resultaría real desde el punto de vista científico por cuanto no puede superarse estratigráficamente el valor de sección media máxima de la litósfera calculada entre 35 y 60 kilómetros de desarrollo o altura.

En el basamento precámbrico secciones máximas como las del Arcaico y Proterozoico de la región de los grandes lagos en América del Norte totalizan por lo menos la potencia de 25 kilómetros integrada de rocas metamórficas, vulcaníticas y sedimentarias, las cuales no ofrecen su complejo fundamental expuesto a la observación. En Europa es el Macizo central de Francia el que denota en la sucesión de series semejantes el espesor de 20 kilómetros conteniendo una secuencia que comienza con sedimentos normales y termina en los campos de granitización con ultragneisses.

Tanto las estructuras de basamento mencionadas como los geosinclinales de Appalaches y Precordillera argentina contienen cubiertas de rocas jóvenes de relativo espesor. Es vasto el intervalo entre dichas secuencias y por lo tanto discontinuo el desarrollo de las mismas. Incluso es discontinua la columna de las sucesiones appalachianas y la de otras estructuras en las que entre fracciones individualizadas como sistemas o series se advierten intervalos y discontinuidades menores que confirman, en general y en particular, el alcance que tiene el principio de la secuencia incompleta en la interpretación de los límites en ciclos sedimentarios de mayor significación geológica.

En síntesis puede enunciarse a dicho principio diciendo que el carácter fragmentario que la columna estratigráfica muestra en la corteza terrestre no tiene excepciones y procede de la índole de la evolución geológica de las áreas continentales a partir de los ciclos geosinclinales. La migración extérride de las fosas geosinclinales en el sentido frontal y tras-cratónico pueden teóricamente anticipar la repetición de nuevos ciclos sedimentarios y la mayor completación ulterior de la columna estratigráfica aludida, siempre que no haya cesado como se dijera el régimen geotectónico de formación de estas fosas sedimentarias en los ámbitos oceánicos de la actualidad.

Las áreas de secuencia incompleta más evidente son las que han correspondido a los núcleos continentales o cratones donde ha sido comparativamente débil la acumulación de depósitos sedimentarios bajo la forma de cubierta deposicional.

8. PRINCIPIO DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

En Geología Histórica la correlación es un método de investigación sistemática a través del cual es posible establecer el carácter de la equivalencia o de homologación de los depósitos sedimentarios, dentro de las áreas determinadas. El objeto de esta labor consiste en lograr la equiparación o determinar la coetaneidad dentro de un sector local o de mayor espacio regional y puede abarcar interpretaciones de magnitud continental o hemisférica. El principio respectivo expresa que toda formación sedimentaria que presente una estructura definida puede ser identificada, comparada y situada en el ordenamiento regido por el cuadro estratigráfico general y hasta datada para concretar su posición cronológica relativa o absoluta. Con frecuencia la correlación encuentra su mejor adecuación en

CIENCIA

los terrenos de ambiente marino, donde permite la distinción de los cambios laterales o facies de la sedimentación. En ambientes continentales la secuencia y homologación, en cambio, comprendidas en las fases sedimentarias que pueden ser hasta monotemáticas (monogénicas) está exenta de los pormenores y toma en comparación magnitudes de correlación por lo tanto menos analíticas.

El principio puede ser aplicado a rocas distintas de las sedimentarias, como las volcánicas (lavas) intercaladas en las mismas. Series metamórficas diversas se comprenden en el aserto precedente y el reconocimiento zoneográfico que los petrólogos franceses utilizan en los campos del metamorfismo no es sino la extensión del mismo criterio para la clasificación del basamento.

El principio de correlación comenzó a desarrollarse con las primeras investigaciones estratigráficas efectuadas por William Smith en Inglaterra hacia el comienzo de la pasada centuria (Weller, 1960) y su fundamento, de efectividad inicial, fue obtenido merced al práctico recurso de la determinación de fósiles guías o indicadores. Entre el aludido recurso y el fechado absoluto que técnicamente se realiza por medio de la radiactividad se enlistan los más diversos procedimientos científicos y aplicados de correlación, los cuales en todos los casos avalan una notoria y difundida especialidad geológica. Así se cuenta con procedimientos de correlación por los bancos guías, la identidad de secuencia y posición de secuencia, los intervalos estratigráficos, diversos minerales pesados, también los caracteres geoléctricos y a través de las diversas asociaciones biológicas. Entre éstas, en bioestratigrafía, se prefiere a los invertebrados fósiles para una homologación más estricta en lo geológico, a la vez que de mayor amplitud en el sentido geográfico o paleogeográfico. Los caracteres tectónicos y, entre otros, las máximas discordancias primitivas sirven para la individualización de grandes entidades geocronológicas, como lo son las eras y períodos geológicos. El metamorfismo progresivo se empleó en la distinción de unidades de rocas viejas (arcaico-proterozoicas) aunque ahora está relativamente comprobado que esta vía de acceso a la correlación es de valor por demás discutible en vista del verdadero efecto que produce el fenómeno llamado de la granitización, o de alteración y fusión de las rocas, en el zócalo de los continentes, tanto como en niveles más altos de la corteza terrestre.

Una consecuencia científica concreta de la correlación estratigráfica consiste en la reconstrucción de los antiguos ámbitos sedimentarios, lo cual ha facilitado en las últimas décadas el rápido crecimiento de la Paleo-

geografía, la ciencia que tiene a su cargo el estudio de la distribución geográfica de los espacios de mar y tierra en el transcurso de los tiempos geológicos pasados.

En la moderna obra de Weller (1960) el principio expuesto como de correlación va unido al criterio de la identificación paleontológica y zonación. Se apoya en la similaridad fosilífera instituida por Smith en 1790 y al implicar la discriminación de la *zona* confirma la validez de la técnica de correlación analítica por medio de los restos característicos.

9. PRINCIPIO DE EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

Conforme con el desenvolvimiento geotectónico cortical y acaso igualmente de los ámbitos oceánicos, caracterizado por cierta periodicidad secunente, el principio de referencia se funda en el proceso de expansión de las áreas continentales a través del desarrollo y anexión de regiones geosinclinales en torno a sus núcleos primitivos o cratones. Se trata de soldaduras o yuxtaposiciones sucesivas, las más antiguas de las cuales, en consecuencia, yacen contiguamente al referido núcleo primitivo (estructuras caledónicas) y las demás se adosan a sus respectivas anteriores, (estructuras hercínicas y alpinas) en el sentido comparado de espacio y tiempo geológicos. En todos los casos, entre una y otra época de expansión continental median intervalos que son más largos en el tiempo a medida que retrocedemos hacia las eras más antiguas o precámbricas. Ha de recordarse aquí que, conforme a lo apuntado en el principio de continuidad, los procesos diastróficos (con que culminan los ciclos de las orogénesis geosinclinales) representan episodios esporádicos, aunque generales, que habrían afectado la corteza terrestre alterando su escena de equilibrio o quietud geológica.

En suma: entiéndese el principio de la evolución geológica como el aplicable en Geología Histórica a los diversos procesos geotectónicos que caracterizan la integración continental a través del desarrollo de los geosinclinales. Estos se reúnen en dos grandes grupos: el de paleogeosinclinales o arquigeosinclinales de edad precámbrica y los neogeosinclinales que integran cadenas de montañas paleozoicas y mesozoico-terciarias. De los primeros, en gran parte destruidos por el ascenso isostático que acentuó el rebaje erosivo, se conservan sus raíces metamórficas y hasta granitizadas, como ocurren en los llamados escudos: canadiense y brasileño, entre otros, masivos, rígidos y en relación poco elevados sobre el nivel del mar. Los

CIENCIA

otros están patentes en las grandes cadenas de montañas, v. gr.: Appalaches (Paleozoico) y Alpes (Mesozoico-terciario) preferentemente, de cumbres con filos agudos y en bloques que en el caso de cordilleras como Andes sudamericanos e Himalayas superan las costas de 7.000 y 8.000 metros, respectivamente, sobre el nivel del mar.

La evolución geológica implica un desarrollo geotectónico y geomagnético propio para cada geosinclinal, cuya sucesión coincide con su propia historia estructural. Cuando su fosa comienza a rellenarse con sedimentos en la parte más profunda (eugeosinclinal) junto a la sedimentación marina se depositan vulcanitas basálticas e intruyen las rocas básicas del llamado magnetismo inicial. A éste sigue el estadio del plutonismo sinorogénico, del tipo granítico hasta granodiorítico, que prosigue con el vulcanismo ácido secuente para culminar la secuencia geomagnética con la extrusión de las lavas basálticas del vulcanismo final, en el cierre del ciclo respectivo. Los geosinclinales, expresó Stille (1949) adquieren una condición casicratónica al término de su orogénesis y son totalmente cratónicos antes de su vulcanismo final. Los paleogeosinclinales pasaron por la misma forma de rigidez estructural hasta alcanzar la consolidación definitiva conocida bajo la denominación de estado enterocratónico, el que en algunas regiones de la Tierra ha restituido un nuevo ciclo geosinclinal como consecuencia de la regeneración de su movilidad tectónica.

Si pudiera admitirse que, una nueva era de geosinclinales pudiera desarrollarse allende de los continentes del presente, lo cual es descartado por Stille, entonces volvería la evolución geológica mencionada en la faz del geoide reiterando sus caracteres de las épocas pretéritas. Mientras tanto el principio respectivo comprendería, por lo menos, a una vigencia extensiva hasta el tiempo de la actualidad, desde la Era Assyntica.

10. PRINCIPIO DE LAS GEOGRAFÍAS SUCESIVAS

Enúnciase este principio consignando que, en cada época pasada, las condiciones geológicas y biológicas han determinado cuadros completos y característicos en las áreas continentales y en el medio océano. Estos cuadros geográficos son unidades ambientales completas y han contado con sus múltiples elementos geoclimáticos, geomorfológicos y geobiogeográficos bajo una regular permanencia, por supuesto que ajustada a la época en que se desarrollaron. Estos escenarios ambientales, con todo, han tenido una persistencia limitada por las condiciones geológicas cambian-

tes, traducidas en las mismas modificaciones paleogeográficas y paleoclimáticas. No obstante se han caracterizado por una duración multiseccular con ininterrumpidas modificaciones íntimas cuya acentuación habría sido el origen de los cambios principales y hasta el de las modificaciones definitivas o cíclicas.

Todo cuadro geográfico ha representado un estado geológico definido, distinto al precedente y ha sido sustituido por uno posterior, siendo éste el proceso con el que repetidamente se ha integrado la respectiva historia del desarrollo terrestre.

La reiteración de las geografías sucesivas fue sin duda un hecho incesante en el transcurso del tiempo pasado. Comenzó ya en los tiempos precámbricos con caracteres relativamente sencillos y por supuesto con un predominio manifiesto de lo físico y geológico sobre lo biológico, dado que esto último estuvo circunscripto a los límites muy estrechos de las plantas y los animales inferiores. Con posterioridad al período eocámbrico, la sucesión geográfica contó con una progresiva modificación de sus componentes biológicos los que han ido en aumento incuestionablemente hasta alcanzarse el tiempo actual. Después de iniciado el Cámbrico el régimen de la vida orgánica implicó el desarrollo de conjuntos biogeográficos por excelencia organizados, al extremo de que, acorde con investigaciones, que cuentan con el apoyo de disciplinas como la paleoecología y paleoetología, la investigación científica ha logrado formular la distinción de las provincias y distritos biológicos que caracterizan, con su magnitud, los aspectos de incidencia de la vida en las geografías sucesivas y neogeicas.

Termier y Termier (1952) al presentar su reciente obra vinculada con la historia geológica de la biosfera, han sugerido que, en síntesis, tan importante materia se concreta con los caracteres de la vida y los sedimentos en las geografías sucesivas. Es aquí cuando podríamos aludir a la geología como al campo conjunto de las geografías del pasado en contraposición a los que otros investigadores han señalado para la geografía propiamente dicha, llamada la geología del presente. También las geografías sucesivas se comprenden en el sentido espacial y cronológico por todo cuanto se desprende de los juicios paleogeográficos vertidos tras tantos años de investigación, y de la continua y cambiante relación distributiva entre la superficie de continentes y océanos asoma la rítmica oscilación del dominio geocrático (continental) frente al talasocrático (marino) que configura acaso el mejor ejemplo de sucesión geográfica ocurrida en el transcurso de la evolución de la corteza terrestre.

CIENCIA

Los diferentes principios que han sido objeto de consideración en este escrito constituyen en conjunto la síntesis subjetiva de mayor especulación teórica lograda en la Geología Histórica moderna. Por sobre tales normas, es sin duda principio de principios el mismo fundamento histórico asignable como tal al proceso de la Tierra. A despecho del reglado ordenamiento seguido para el estudio de los fenómenos secuentes, su ontogénesis geológica es decididamente historia, compleja y seductora, de edades remotas y recientes siempre en trance de reiniciación, siempre al borde de un finalismo inesperado.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BONTÉ, A.: (1953) *Introduction a la lecture des cartes géologiques*. Masson. París.
- DE LAUNAY, L.: (1913) *La science géologique*. A. Colin. París.
- DUNBAR, C. O.: (1961) *Geología Histórica* (trad.) Ed. Continental. México.
- DUNBAR, C. O. y RODGERS, J.: (1958) *Principles of Stratigraphy*. Wiley. N. York.
- KRUMBEIN, W. C. y SLOSS, Ll.: (1956) *Stratigraphy and Sedimentation*. Freeman. San Francisco.
- MORET, L.: (1949) *Paléontologie végétal*. Masson. París.
- SCHUCHERT, C.: (1931) *Geochronology, or the age of the Earth on the basis of sediments and life*. Nat. Res. Counc. Bull. 80, IV, Washington.
- SIMPSON, G. G.: (1961) *El sentido de la evolución* (trad.) Eudeba. Bs. Aires.
- STILLE, H.: (1949) *Das Leitmotiv der Geotektonischen Erdentwicklung*. Deutsch. Akad. Wissensch. z. Berlín, Votr. u. Schrift. Heft. 32.
- TERMIER, H. y TERMIER, G.: (1952) *Histoire géologique de la Biosphère*. Masson. París.
- WELLER, J. M.: (1960) *Stratigraphic principles and practice*. Harper. N. York.