

# GEOLOGÍA/ PALEONTOLOGÍA: UNA RELACIÓN MUY ENRIQUECEDORA

Ismael Ferrusquía-Villafranca<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, Tierra Sólida y Biósfera constituyen al Sistema Tierra; los procesos que ocurren en los dos primeros, son geocronológicamente instantáneos y dejan un registro efímero. En la Tierra Sólida los procesos tienen una larga duración (miles y millones de años), y dejan un registro permanente, cronológica y/o espacialmente indiferenciado. En la Biósfera ocurren tanto procesos instantáneos, que dejan registro efímero como de larga duración que dejan un registro permanente, cronológica y/o espacialmente diferenciado, integrado a la Tierra Sólida (particularmente a las secuencias sedimentarias).

Con base en esta coincidencia y en los complejos enlaces materiales y dinámicos que existen entre todos los subsistemas, se da la posibilidad de descifrar la historia del Planeta, y desde luego se establece la relación epistemológica entre la Geología y la Paleontología. Mediante dicha relación, la información o el conocimiento de una disciplina, contribuye a la resolución de problemas en la otra, ejemplos: 1, el descubrimiento de la magnitud del tiempo geológico, posibilitó la formulación y aceptación de la Teoría de la Evolución Orgánica; 2, la existencia de paleobiotas vicarias pudo explicarse por cambio paleogeográficos; 3, la reconstrucción ambiental de una paleocomunidad, se apoya en la información geológica local; 4, la construcción de la escala geocronológica, se fundamentó en la subdivisión del registro fósil; 5, las paradojas paleontológicas, condujeron a descartar la concepción geodinámica "fijista"; 6, el análisis del registro fósil permite reconocer el orden secuencial correcto en territorios estructuralmente complejos.

Palabras clave: Geología, Paleontología, Filosofía de la Ciencia, Epistemología.

## ABSTRACT

The Subsystems Atmosphere, Hydrosphere, Solid Earth and Biosphere make up the Earth System; processes occurring in the first two are geochronologically instantaneous, and leave an ephemeral record. The processes in the Solid Earth have a long duration (thousands to millions of years) and leave a permanent, chronologically/spatially undifferentiated record. In the Biosphere occur both instantaneous processes that leave an ephemeral record, and long-lasting processes that leave a permanent, chro-

<sup>1</sup> Instituto de Geología,  
Universidad Nacional Autónoma  
de México, Circuito de la  
Investigación s/n, Ciudad  
Universitaria Coyoacán, México,  
D.F., C.P. 45100

nologically/spatially differentiated record, integrated to the Solid Earth (particularly to the sedimentary sequences).

On the basis of this coincidence and on the complex material and dynamic link occurring among all subsystems, it is possible to unravel the Planet's history, and of course, to establish the epistemological relationship between Geology and Paleontology.

Through such relationship, information or knowledge of one discipline helps to solve problems in the other, examples: 1, the discovery of the enormity of geologic time made possible the elaboration and acceptance of the Theory of Organic Evolution; 2, the existence of vicarious paleobiotas could be explained by paleontogeographic changes; 3, the environmental reconstruction of a paleocommunity is based upon local geological information; 4, the making of the geochronologic scale stemmed from the subdivision of the fossil record; 5, the paleontological paradoxes led to discard the "fixistic" geodynamic conception; and 6, the analysis of the fossil record allows to recognize the right sequential order in structurally complex territories.

Key words: Geology, Paleontology, Philosophy of Science, Epistemology.

## **GEOLOGÍA/ PALEONTOLOGÍA: NATURALEZA DE ESTA RELACIÓN**

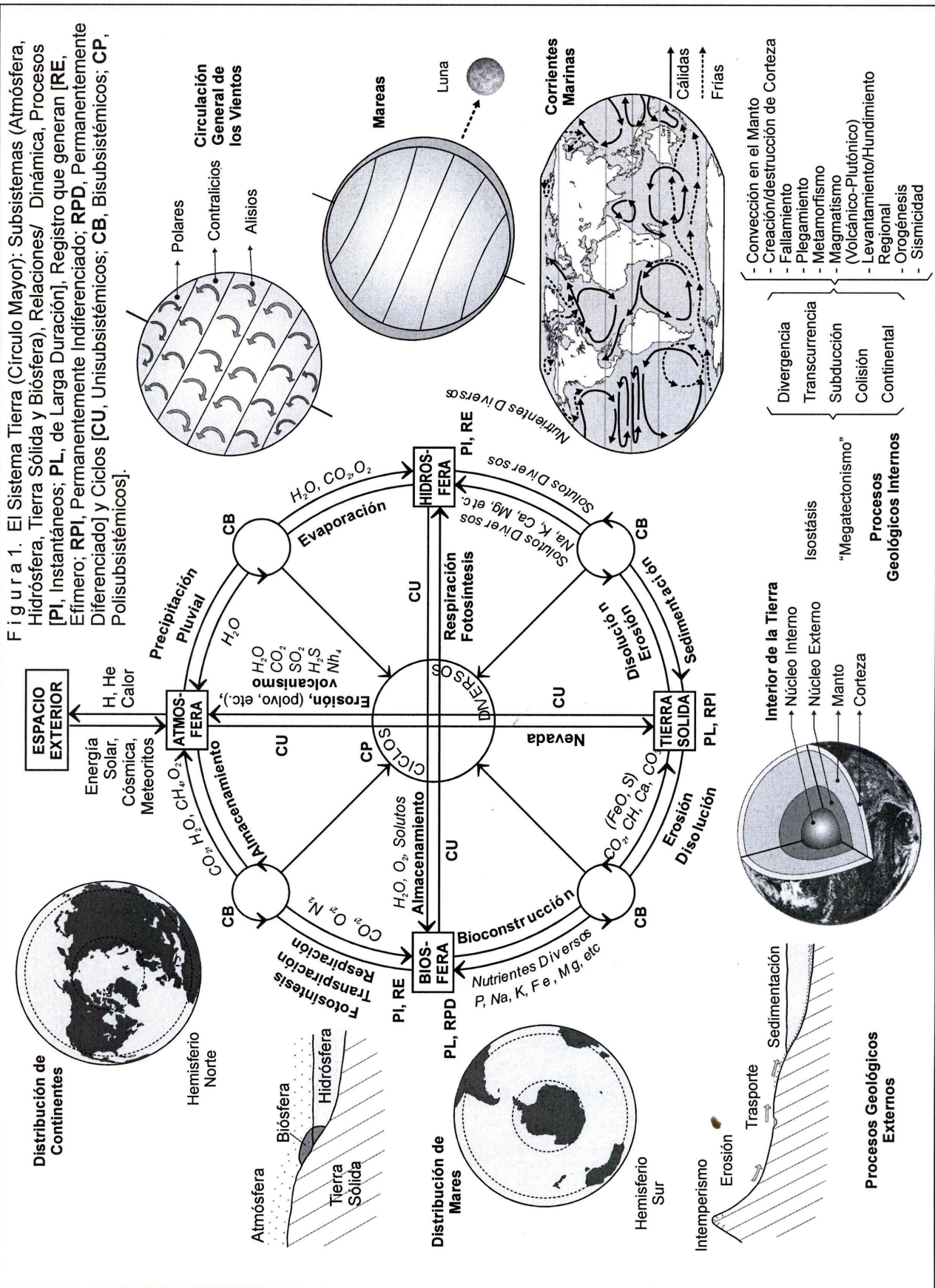
La Geología y la Paleontología son parte de las Ciencias de la Tierra, las cuales en conjunto describen y explican la constitución, estructura y funcionamiento del Sistema Tierra; en la figura 1 se muestra los componentes o subsistemas que lo integran, los procesos que ocurren en ellos, el tiempo de registro que dejan (efímero o permanente), y las relaciones que tiene entre sí los subsistemas.

Resumiendo, puede decirse que aunque el Sistema Tierra está aislado, recibe del espacio exterior energía (radiación solar, cósmica, etc.), materia (meteoritos metálicos y condríticos en su mayor parte), y responde a relaciones astronómicas diversas (atracción gravitacional lunar, solar y/o de conjunción planetaria, "cabeceo" del eje de rotación, etc.) A su vez, el Sistema Tierra emite al espacio gases muy ligeros (hidrógeno y helio) y calor (tanto interno, como reflejado del Sol). En los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, Biósfera y Tierra Sólida ocurren procesos que involucran materia y energía, tienen cierta duración y dejan un registro (efímero o permanente). La Atmósfera y la Hidrósfe-

ra son fluidos, cuyo movimiento (vientos, ríos y corrientes marinas —superficiales y profundas) depende de la energía solar que incide y se queda en el Sistema Tierra, por lo cual están directamente asociadas a la posición latitudinal que ocupan. También están influidos por: (a) el movimiento de rotación terrestre, reflejado por la dirección opuesta que tiene estos vientos y corrientes en los hemisferios Norte y Sur (Efecto Coriolis), (b) la posición variable de la Tierra respecto al Sol. Causada por la traslación de ésta (efecto de estacionalidad, más acentuado en latitudes medias y altas), (c) los cambios posicionales de la Luna (por traslación) y su alineación con el Sol causan las mareas, y (d) el relieve (particularmente en el ámbito terrestre). Los procesos que ocurren en estos subsistemas dejan un registro efímero en ellos, y tiene una duración geológicamente instantánea.

La Tierra Sólida es el subsistema mayor (radio de 6,375 km), presenta una diferenciación composicional/estructural en Corteza, Manto y Núcleo. En este Sistema ocurren procesos

Figura 1. El Sistema Tierra (Círculo Mayor): Subsistemas (Atmósfera, Hidrosfera, Tierra Sólida y Biósfera), Relaciones/ Dinámica, Procesos [PI, Instantáneos; PL, de Larga Duración], Registro que generan [RE, Efímero; RPI, Permanentemente Indiferenciado; RPD, Permanentemente Diferenciado] y Ciclos [CU, Unisubsistémicos; CB, Bisubsistémicos; CP, Polisubsistémicos].





geológicos internos y externos; los primeros están energizados desde el interior y generan o mantienen las diferencias de relieve (prominencias y depresiones), los segundos abaten las diferencias de relieve, ocurren mediante movimientos de la Atmósfera y/o la Hidrósfera, energizadas por el Sol. Salvo la sismicidad, los procesos geológicos tienen una duración media a larga (miles a millones de años) su extensión varía de local a regional (siendo con frecuencia continental o mundial) y dejan un registro material tangible, no diferenciado cronológica ni espacialmente, cuya magnitud disminuye a media que se retrocede en el tiempo, lo cual a su vez aumenta la dificultad de su detección e interpretación.

La Biósfera es el subsistema de menor tamaño, está constituido por todos los seres vivos que pueblan y han poblado la Tierra en el pasado geológico, y se ubican en la interfase Tierra Sólida/ Atmósfera/ Hidrósfera (ya que toma componentes de estos subsistemas); en ella ocurren procesos energizados por el Sol, cuya duración puede ser breve (instantes a pocos años: fotosíntesis, transpiración, transferencia de energía/ materia en la pirámide trófica, migración, extinción, etc.) o larga (miles a millones de años: permanencia de una especie, de una comunidad, especiación, evolución orgánica, diferenciación biótica, etc.). Los seres vivos dejan un registro material diferenciado cronológica y/o espacialmente, e integrado a la Tierra Sólida (los fósiles presentes en el registro litoestratigráfico sedimentario), cuya magnitud se reduce a medida que retrocedemos en el tiempo; ellos aumentan la dificultad de detectarlo e interpretarlo.

Como se muestra en la figura 1, **las relaciones entre los distintos subsistemas** son múltiples y complejas. En gran medida, la Atmósfera y la Hidrósfera proceden de la diferenciación temprana del Sistema Tierra, finalizada hace 4,000 Ma (evidenciada por las rocas más antiguas, Bowring, 1999; Kamber y Moorbath, 2001), la cual conlleva a la estructuración de éste en Corteza, Manto, Núcleo y “Protoenvoltura Gaseosa”. En ésta continuó el acúmulo de gases generados durante la actividad magmática de la Tierra Sólida (principalmente la volcánica), a los cuales tal vez se incorporaron materiales ligeros procedentes de cometas (Cloud, 1988; Owen y Bar-Num, 1995). Cuando las

condiciones termodinámicas lo permitieron, de la “Protoenvoltura” se desprendieron los vapores más densos (pasando al estado líquido), acumulándose en las depresiones existentes, se formó así la **Hidrósfera**; el remanente de la “Protoenvoltura” constituyó la **Atmósfera**.

La Atmósfera temprana era muy diferente a la actual, carecía de Oxígeno y era reductora. Esta condición, así como otras propias del sistema Tierra en su evolución temprana (rotación más rápida, corteza menos extensa y más delgada, mayor temperatura externa (ambiental), mayor incidencia de radiación cósmica, etc.) asociadas a la intrincada dinámica de las relaciones entre los Subsistemas Atmósfera, Hidrósfera, y Tierra Sólida, propiciaron una compleja evolución química, que produjo sistemas poliméricos de nivel de organización creciente, y que eventualmente (hace unos 3, 500 Ma), permitió el surgimiento de los seres vivos; con ellos se formó el Subsistema **Biósfera**. La actualidad de ésta ha tenido un gran impacto en todo el Sistema Tierra, ejemplos : La acumulación de Oxígeno en la Atmósfera (originado por la fotosíntesis), la génesis de los mega-yacimientos de hierro (mediante quimiosíntesis) de las formaciones precámbricas ferro-bandeadas, la formación de los mega-yacimientos fanerozoicos de carbón y de hidrocarburos, y la acumulación de carbonatos en el ambiente marino (incluida la construcción arrecifal), inducida en gran parte por la microbiota superficial (vía este proceso, se retira de la atmósfera gran parte del CO<sub>2</sub>, emitido continuamente por la actividad volcánica, haciéndola respirable).

El Sistema Tierra tiene una dotación material limitada, por ello el “**reciclarlo**” es la característica operativa sobresaliente del mismo. Se ha reconocido un gran número de **ciclos (bio/geo /químicos; uni,bi-o polisistémicos)**, que describen detalladamente el camino particular que siguen algunos materiales en este complejo devenir, ejemplos: el ciclo del agua, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, los ciclos vitales de las especies, los ciclos ecológicos de las comunidades, el ciclo litoestratigráfico-sedimentario (depósito de material en una cuenca, formación de la secuencia litoestratigráfica resultante, tectonismo, orogénesis, desarrollo de cordilleras, y erosión subsiguiente), el ciclo geotectónico fundamental (creación/destrucción de corteza oceánica).

Los procesos y los ciclos que ocurren en los subsistemas, salvo algunos de la Biósfera, producen resultados similares, con cuasi-independencia del tiempo geológico y del lugar geográfico, ejemplos: La estructura de cordilleras formadas por plegamiento de calizas, es semejante, a pesar de que la edad geológica de los estragos que la formen sea diferente. Los depósitos de arenisca cuarcítica formados en latitudes media y alta son semejantes. En cambio, los procesos de larga duración que ocurren en la Biósfera producen resultados únicos e irrepetibles, debido a la diferenciación geográfica derivada de la estrecha adaptación que tiene la mayoría de los sistemas vivientes a condiciones ambientales particulares, y a la naturaleza **unidireccional** (es decir no repetitiva) que tiene la evolución orgánica. Dichos resultados constituyen el **registro fósil**, el cual puede organizarse en una **escala geocronológica relativa** (es decir, sin referencia directa a años, siglos, etc), que permite ubicar a procesos/registros en el tiempo, y en una **escala ambiental**, que posibilita reconstruir el entorno de la cuenca durante el depósito de la secuencia portadora (del registro fósil).

En suma, la compleja e interdependiente relación que tiene los subsistemas del Sistema Tierra y la coincidencia del registro fósil y del litoestratigáfico/ estructural en el Subsistema Tierra Sólida, **constituyen el fundamento de la relación epistemológica entre la Geología y la Paleontología**; así mismo permiten reconstruir la historia de tales relaciones (identificarlas, secuenciarlas, correlacionarlas y ubicarlas en el marco espacio-temporal correcto) y en última instancia, **descifrar la historia geológica del Sistema Tierra**. A continuación, se presentan algunos ejemplos en el este apoyo epistemológico, ha permitido resolver problemas científicos particulares de ambas disciplinas.

## APOYO EPISTEMOLÓGICO DE LA GEOLOGÍA A LA PALEONTOLOGÍA

### 1. La Magnitud del tiempo geológico

La edad de la Tierra es una cuestión, cuyo significado, envergadura y dificultad de resolución pudo apreciarse hasta que se constituyó la Geología en una disciplina científica, dotada de herramientas metodológicas idóneas, que

permiten la generación de conocimientos derivados de la observación, integrables en un cuerpo cognoscitivo, apoyando en principio y/o supuestos verificables o evidentes.

El principio geológico básico es el **Actualismo**, cuya versión moderna señala que: Las leyes que describen el comportamiento de la materia y de la energía en el ámbito del Sistema Tierra, no hayan cambiado en el tiempo que ha existido éste; de haber ocurrido algún cambio, el proceso o procesos implicados habrán dejando un registro tangible y verificable; otro tanto se aplica a las leyes y/o principios subordinados derivados de tales leyes. Desde luego, que la versión temprana de este principio, atribuida a James Hutton, **El presente es la clave del pasado**, es menos explícita, y se formuló en un ambiente de controversia, en donde una tesis sostenía que la Tierra había alcanzado su condición actual mediante procesos catastróficos, mientras que la otra tesis, suscrita por Hutton, indicaba que los procesos geológicos que observamos en la actualidad (tales como la sedimentación en ríos y lagos, o la erosión de los litorales o de las montañas, y la actividad volcánica), **eran los mismos que habían actuado en el pasado geológico**, continuaban haciéndolo en el presente, y lo harían en el futuro, sin que parezca haber un término en ellos.

Prevalció esta tesis. La observación de tales procesos, mostró que la operación de éstos ocurre a tasas bajas, por lo tanto, para obtener los resultados observados (tales como espesores sedimentarios kilométricos, o la formación de profundos cañones debido a erosión fluvial), dichos procesos debieron haber operado continuamente durante **mucho tiempo** (millones de años). Surgió así la necesidad de extender la edad de la Tierra, de los pocos miles que a la sazón se le atribuía, a decenas y aún cientos de millones de años.

El fascinante descubrimiento de la magnitud del tiempo geológico, en consonancia con la enormidad del Universo, que empezaba ser puesta de manifiesto por los astrónomos contemporáneos, tuvo un impacto revolucionario en la Ciencia, y prohió una concepción del mundo y del universo, más acorde con la realidad. En las Ciencias Biológicas, hizo posible considerar la realidad del cambio filogenético, ocurrido en un marco cronológico de miles a

millones de años (desligándolo por fin de la observación cotidiana de individuos semejantes de generación en generación, atestiguada por la práctica agrícola, ganadera o avícola). Esto a su vez, le dio credibilidad a la **Teoría de la Evolución Orgánica**, propuesta por Darwin y Wallace, y promovida con un fervor cuasi-religioso por Huxley, Heckel y Virchow, cuya aceptación produjo una revolución científico/filosófica, y tuvo también una gran repercusión social (utilizándose como fundamento del Capitalismo).

## 2. Existencia de Paleobiotas Vicarias

Dos o más especies son vicarias, cuando están filogenéticamente emparentadas y ocupan áreas de distribución discontinuas (a veces separadas por miles de kilómetros). Se supone que en el pasado geológico, dichas especies ocupaban áreas continuas o contiguas, cuya interrupción o separación fue causada por procesos no biológicos. Cuando se observa esta condición en especies fósiles o conjuntos de ellas (paleofaunas, paleofloras o paleobiotas), se les puede considerar como **vicarios**, ejemplos: a) Las invertebradofaunas marinas paleozoicas tempranas de Norteamérica y Europa. b) La flora paleozoica tardía *Glossopteris* de Sudamérica, África, Australia, India y Madagascar. c) Las invertebradofaunas marinas cretácicas de África Septentrional, Europa Mediterránea, Asia Meridional (incluido el Cercano Oriente), las Antillas, Norteamérica Sureste y México Meridional (integradas en la Provincia o Región Pelobiogeográfica del Tethys).

Concediendo que la posición geográfica de los territorios mencionados fuese similar a la actual, la correspondencia biogeográfica de tales paleobiotas es decididamente anómala, e implicaría migraciones fortuitas, frecuentes y concurrentes, realizadas en escenarios geográficos inapropiados, cuya conjunción es cuasi-improbable.

Alternativamente si se supone que tales territorios tuviesen en el pasado geológico posiciones geográficas diferentes a las actuales, se puede postular que las paleobiotas actualmente vicarias, reflejen la interrupción de los territorios continuos o contiguos que ocupaban en el pasado. El advenimiento de la Teoría de Tectó-

nica de Placas, ocurrida en el último tercio del siglo xx, permitió aceptar esta alternativa, en apariencia tan descabellada, y con ello dar solución a este problema paleontológico.

## 3. Reconstrucción del escenario geográfico/geológico del Taxón o Grupo Fósil

El conocimiento del marco geológico de donde procede el registro fósil, en principio aporta la información básica sobre el entorno geográfico de la comunidad ecológica a la cual pertenecían los taxa fósiles, por ejemplo, la ubicación geográfica del territorio que ocupaba (que podría no coincidir con la actual), las condiciones climáticas del mismo, sus rasgos fisiográficos mayores, la presencia de ríos o lagos próximos, etc. En el caso del ámbito marino, la profundidad a que se encontraba el fondo, la probable distancia al litoral, la dirección y comportamiento de las corrientes, la temperatura, los gases disueltos, la composición química, etc. En ambas clases de dominios ambientales, a partir de datos como éstos, pueden hacerse inferencias razonables sobre otros factores o componentes del ambiente, lo cual permite afinar su caracterización.

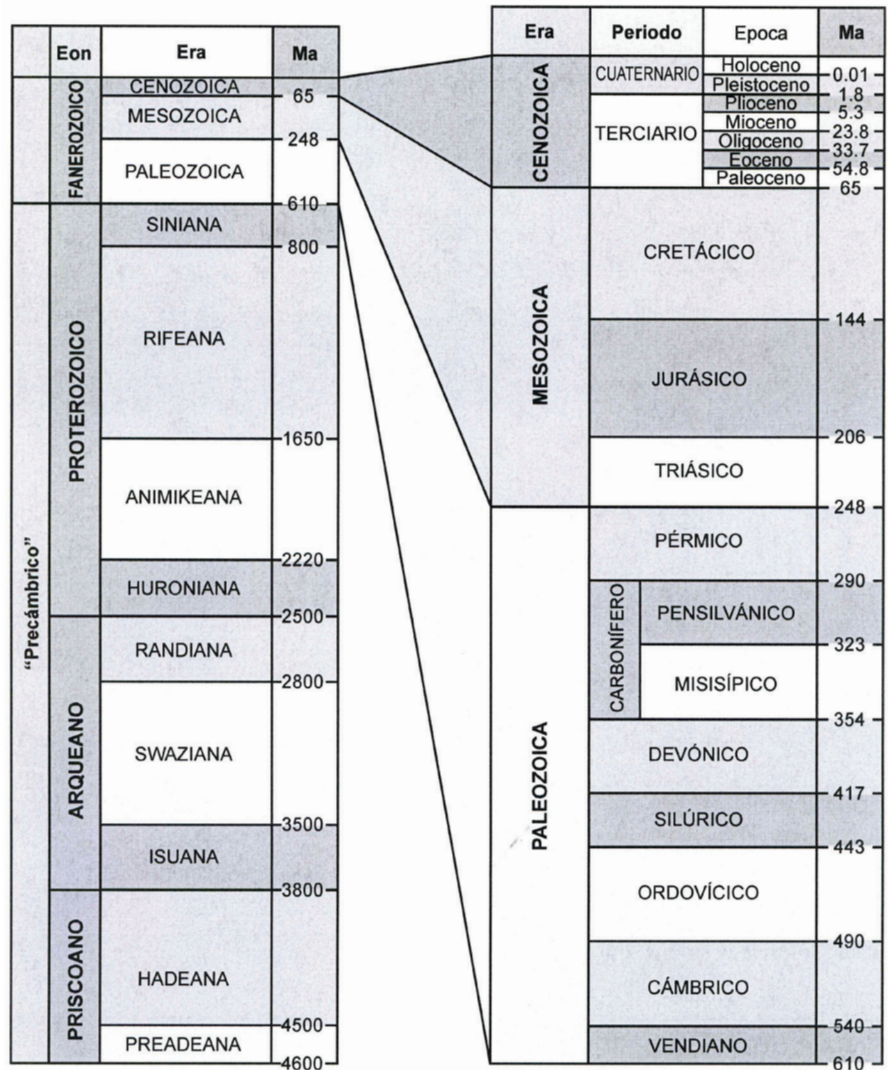
## APOYO EPITEMOLÓGICO DE LA PALEONTOLOGÍA A LA GEOLOGÍA

### 1. La Construcción de la escala Geocronológica

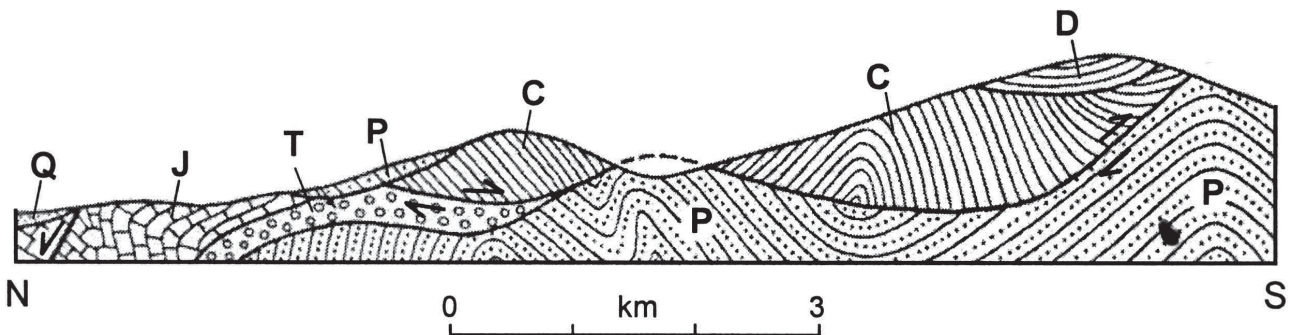
Esta escala es una referencia que permite ubicar en el tiempo a los procesos geológicos o al registro de ellos, establecer su duración y correlacionar su ocurrencia con la de otros, acaecidos en sitios diferentes, próximos o lejanos, o de una región, de un continente o de todo el Mundo; en otras palabras, esta escala posibilidad que se pueda conocer y tenga sentido la historia geológica de un lugar en particular o del Mundo entero.

Esto es posible, como se estableció en el primer apartado, porque los sistemas vivientes (= especies) están en su mayoría adaptados a condiciones particulares del ambiente, y a la unidireccionalidad de la evolución orgánica, originándose así especies diferentes a las anteriores, en un devenir continuo de cambio biótico gradual (cuasi-imperceptible), ocasio-





**Figura 2.** Escala Geocronológica. Los números indican millones de años (Ma), se obtuvieron mediante calibraciones radio-isotópicas diversas. "Precámbrico" es un término informal. Subdivisión gráfica aproximada.



**Figura 3.** Sección estructural compleja que muestra cabalgamiento de Norte a Sur de la Secuencia D-J sobre la Unidad P. Abreviaturas: C, Carbonífero; D, Devónico; J, Jurásico; P, Pérmico; Q, Cuaternario; T, Triásico. El fechamiento biogeocronológico permitió reconocer la secuencia e interpretar la geología estructural.

nalmente “puntuado” por el surgimiento o la extinción de numerosas especies en lapsos geocronológicos muy cortos.

Esto permitió subdividir el registro fósil en conjuntos característicos de lapsos particulares, esto es en “cronobiotas”, cuyo arreglo jerárquico y sucesión constituyen la **escala geocronología fundamental** de utilización mundial (Figura 2). Nótese que el componente **–zoico** del nombre de los **eones** y algunas eras, alude a su fundamento en los seres vivientes.

## 2. Interrogantes que condujeron al Planteamiento de la hipótesis de la Deriva de los continentes y eventualmente al de la Teoría de tectónica de Placas

Durante el siglo XIX y los dos primeros tercios del XX, la ortodoxia geológica preconizaba que la geodinámica del Sistema Tierra ocurría principalmente por medio de la actividad tectónica vertical, con movilidad tangencial (“horizontal”) muy limitada, por lo cual, la ocurrencia de grandes desplazamientos horizontales de bloques continentales, no tenía cabida en esta concepción geodinámica; se seguía también, que en el curso de la historia geológica, los continentes y océanos se habían mantenido geográficamente “fijos”.

Sin embargo, la investigación geológica y paleontológica había detectado ya la ocurrencia de numerosos fósiles, cuya ubicación geográfica no corresponde con la esperada en función de la distribución de sus análogos modernos, ejemplos: a) La presencia de grandes reptiles paleozoicos tardíos en las Islas Spitzbergen ( $-80^{\circ}$  Lat N) y en la Antártida contrasta con la distribución tropical (entre los  $30^{\circ}$  Lat. N y S) que tienen los grandes reptiles actuales (cocodrilos, el dragón de Komodo, grandes serpientes, etc.) b) La presencia entre  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$  Lat. N de grandes yacimientos de carbón paleozoicos tardíos formados en ecosistemas aparentemente tropicales. c) La presencia de arrecifes paleozoicos tardíos, encontrados en latitudes extra-tropicales o francamente boreales.

La solución a estas y otras paradojas paleontológicas y geológicas, implicaba estas alternativas: a) desentenderse del principio Actualista, echando con ello por la borda el valor científico de la Geología y la Paleontología, o

b) contravenir la ortodoxia geodinámica fijista de entonces, y proponer que la posición geográfica de los continentes en el pasado geológico era diferente de la actual, y que en realidad, éstos sí han experimentado grandes desplazamientos tangenciales (8 = horizontales). Así surgió la Hipótesis de los Continentes a la Deriva (Alfred Wegner, 1912, que tuvo muy poca aceptación, por la falta de un mecanismo satisfactorio que explique tales desplazamientos, la escasa información geográfica y geológica del fondo oceánico, y la limitada base geofísica disponible entonces.

Casi 60 años después se propuso la Teoría de Tectónica de Placas, apoyada ampliamente en el tipo de información mencionado, que permitió evidenciar la realidad de tales movimientos, así como la génesis y concomitante destrucción de corteza oceánica en gran escala, y en suma, describir la geodinámica del Sistema Tierra; se resolvieron así las paradojas paleontológicas y geológicas, sin tener que violentar el Principio del Actualismo.

## 3. Interpretación estratigráfica correcta de Territorios estructuralmente complejos

El conocimiento de la constitución, historia y evolución geológica de un territorio cualquiera, depende de la descripción e interpretación de la secuencia estratigráfica que lo integra, lo cual implica la identificación correcta del orden en que fueron originados los distintos cuerpos o unidades que forman dicha secuencia. Esto se logra aplicando la llamada **Ley de la Superposición** (y principios derivados de ella), que indica que en una secuencia no perturbada, los estratos inferiores se originaron antes que los posteriores. Sin embargo, en territorios donde ha ocurrido intensa deformación estructural, el plegamiento y fallamiento han distorsionado esta relación espacial, dificultando o aun imposibilitando su reconocimiento. Es en estas condiciones donde los fósiles y la información paleontológica que contienen, permite detectar el orden o sucesión estratigráfica correcta, ya que ni la edad ni la posición de éstos en los estratos, fueron modificadas por la deformación estructural (Figura 3).



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Comité Organizador de la Semana Nacional de Paleontología del Centro INAH Coahuila, y de otras instituciones académicas del Estado, la invitación para presentar esta ponencia. Extiendo también un reconocimiento especial a la maestra Karla I. Ferrusquía Muños, su colaboración en la preparación del manuscrito, y al Lic. José Ruiz, la elaboración de las ilustraciones.

## LITERATURA CITADA

- Bowring, S.A., 1999. Priscoan (4.00-4.03 Ga) orthogneisses from northwestern Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134:3-16.
- Cloud, P. 1988. *Oasis in Space: Earth History from the beginning*. W. W. Norton, New York, 413 pp.
- Kamber, BS y Moorbath, S., 2001. The oldest rocks on Earth; time constraints and geological controversies. *Geol. Soc. London Spec. publ.* 190, p.177-230.
- Owen, T. y Bar-Num. A., 1995. Comet, impacts and atmospheres, *Icarus*, 116:115-116.