

MUSACCHIO, Eduardo Aldo. Procesos recurrentes y procesos irreversibles en geología histórica. In: MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C. P.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (eds.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*. Campinas: AFHIC, 2004. Pp. 144-152. (ISBN 85-904198-1-9)

PROCESOS RECURRENTE Y PROCESOS IRREVERSIBLES EN GEOLOGÍA HISTÓRICA

Eduardo A. Musacchio*

Resumen – La Escala del Tiempo Mundial fue construida tomando como referencia el cambio evolutivo de la vida marina conocida a través del registro fósil. Este criterio sigue vigente en las ciencias de la Tierra, teniendo primacía sobre otras posibles aplicaciones para “medir” el tiempo geológico. El presente trabajo analiza las relaciones entre las unidades crono-estratigráficas que propone el estratígrafo y los cambios evolutivos que reconoce el paleontólogo en el registro fósil. Esta interdependencia implica compatibilizar la naturaleza recurrente de los procesos geológicos, susceptible de explicar y legislar apropiadamente en términos fiscalistas, con el carácter irreversible de los cambios biológicos, estos últimos reglados en el marco de tendencias evolutivas no muy estrictas. La relación entre los dos procesos mencionados puede ser formalizada, entre otras aproximaciones, en el marco de la noción de superveniencia

1 INTRODUCCIÓN

Una revisión sobre las diversas escalas del tiempo geológico que aparecen en textos y trabajos especializados en Geología Histórica en las últimas dos décadas, muestran la presencia de concepciones y aplicaciones diferentes. Entre los principales criterios para referir el tiempo mundial deben ser citados aquellos basados en los datos de la paleontología, las dataciones radiométricas, los oscilogramas que reflejan los cambios del nivel del mar y la polaridad magnética, el reconocimiento de superficies globales de reflexión sísmica y las fluctuaciones en la composición relativa de algunos isótopos. Estas aplicaciones se relacionan con dos tipos de aproximaciones conceptuales frente a los mismos “materiales fácticos” contenidos en el registro estratigráfico (RE). Las mismas tienen que ver con dos tipos de procesos que son familiares, respectivamente, para estratígrafos y paleontólogos. Por un lado, están los procesos que condujeron la formación de las rocas y que responden a condiciones

* APGS; Ciudad Universitaria de la UNPSJB, Comodoro Rivadavia, Argentina; Geociências, Campus de la UNESP, Rio Claro, SP, Brasil. E-mail: emusacchio@yahoo.com, aldo@unpbib.edu.ar, eduardom@rc.unesp.br.

que reaparecen en el tiempo. Los segundos son responsables de la evolución biológica, cuyo testimonio son los remanentes de las poblaciones ancestrales-descendientes de organismos extinguidos. A diferencia de los cambios litológicos mencionados en primer término, los segundos no retornan a las condiciones previas; en otras palabras, las “especies” extinguidas no reaparecen.

En este trabajo se discuten algunos de los criterios seguidos en las Ciencias de la Tierra para “medir” el tiempo geológico. Se destaca la necesidad según la cual la escala del tiempo debería tener su referencia en procesos irreversibles, resultantes de la evolución biológica, en lugar de fundarla en procesos recurrentes ligados a cambios físicos o químicos que regulan la sedimentación y, en sentido amplio, la sucesión estratigráfica. El cambio geológico y el cambio bio-evolutivo muestran algún tipo de relación cuyo análisis constituye el tema central del trabajo. La escala del tiempo mundial y el debate histórico sobre su mejor construcción parecen un camino provechoso para esclarecer las posibles interdependencias entre teorías que crecieron en el campo de la Geología Histórica; área disciplinaria ésta última que se interesa, tanto por los cambios en la corteza terrestre, como por los cambios biológicos a través del tiempo

2 MÉTODOS Y MATERIALES

Diferentes y fructíferos debates en la historia de la Ciencias de la Tierra se han librado entre teorías que pugnan entre sí usando datos procedentes de un registro estratigráfico y paleontológico compartido. En este apartado son considerados tres debates; dos históricos, uno reciente. En primer término, el supuesto enfrentamiento entre las nociones que defienden el carácter continuo (gradual) o bien el discreto (puntual) de los cambios evolutivos a través del tiempo geológico. Luego, el debate en torno a la posición geográficamente fija, o bien móvil, de la corteza terrestre. Esto incluye, además, el logro de consenso sobre la teoría que prevaleció, en un principio denominada *deriva de los continentes*, o su versión remozada vigente denominada *tectónica global*. Por último, un verdadero paradigma en ciencias de la Tierra a fines del siglo pasado: la *estratigrafía de secuencias* y el aporte de los cambios eustáticos globales en la generación de supuestas discontinuidades, también globales, usadas para referir el tiempo geológico.

Se pensó que esta aproximación metodológica, consistente en escoger tópicos en debate, ayudaría a valorar mejor la relevancia o la necesidad de las interdependencias existentes entre los dos campos disciplinarios tratados: el registro estratigráfico y el paleontológico.

2.a. Cambios evolutivos continuos o discretos?

El debate ligado a los opuestos: *cambios evolutivos continuos o discretos?* (= evolución gradual vs. evolución puntual, o en sentido amplio: uniformismo vs. catastrofismo), ha permitido advertir las dificultades al optar, en forma excluyente, por alguna de las dos posiciones extremas. Es que ambas pueden ser coherentemente argumentadas, en cada caso, por el registro fósil. Parece oportuno citar a Simpson, 1944, quien anticipa las limitaciones (o el agotamiento) de la controversia al exponer las diferencias en la tasa evolutiva que exhibe el registro fósil: evolución taquitética, horotética y braditética. (cf SIMPSON, 1944, capítulo III: Micro-evolution, macro-evolution and mega-evolution). De este modo se anticipa una solución a la discusión que tendrá lugar, sin embargo, hacia las décadas del 80-90 entre las denominadas “evolución discreta” y “evolución gradual”. En el prefacio de la versión 1984 de *Tempo and mode*, (SIMPSON, 1944, p. xxvi), al discutir las diferencias entre la noción neodarwinista y la del “punctualismo discreto” de Gould, este autor anota:

We thus have here an “either-or” proposition a Hegelian or Marxian dialectic. It is apt to point that apparent contradiction between thesis and antithesis leads logically not one to

the other but to synthesis. That is what the synthetic theory does.

No obstante, el aporte de Simpson, antes que una explicación “*ad hoc*” para dejar en pie la visión neodarwinista, parece conducir a una parte de la propuesta amenazada del “gradualismo” hacia a una zona inquietante; es la que sostiene un camino único en la formación de nuevas “especies”. Hoy se admite que los factores evolutivos son diversos y que operan con independencia y peso diferente en el proceso de cambio, tanto de los seres vivientes como de la corteza terrestre.

La pregunta significativa para el tema que ahora se discute debe dirigirse a las posibles correspondencias entre el registro litoestratigráfico y el bioestratigráfico, en particular a la tasa evolutiva (o velocidad del cambio en el tiempo) y su control estratigráfico. Las correspondencias no siempre son biunívocas, ya que pueden aparecer disparidades o heterocronías en cuanto al ritmo de cambio en los procesos respectivos. Veamos en detalle algunos tipos de correspondencias. Algunas son relaciones formales (ver ejemplo 1) y pueden consideradas como casos de *superveniencia* en el sentido amplio de Davidson (DAVIDSON, 1970; ver también KIM, 1984 y KIM, 2000). Otras, en cambio, tienen una relación de dependencia ontológica y podrían ser mejor caracterizadas como *interdependencias necesarias* (ejemplo 2). A continuación se presenta un ejemplo para cada tipo de relación:

Ejemplo 1: El cuadro 1 muestra la distribución de los taxa a,b,c (“especies sucesionales”), que representan intervalos de tiempo dentro de la columna estratigráfica (propiedades M). Estas propiedades supervienen las zonas bioestratigráficas (propiedades P) que están representadas por paquetes físicos de estratos w,x,y,z, tal que si se verifican cambios en la distribución temporal de las especies, entonces se modifican también las zonas correspondientes. El caso de este ejemplo parece corresponder, a lo que se ha denominado superveniencia fuerte (KIM, 1984). Debe advertirse el tipo de simetría que caracteriza al ejemplo: las entidades cronológicas supervienen de las entidades físicas o materiales. Claramente, ésta es solo una correspondencia de categorías previamente establecidas por el bioestratígrafo.

Sucesión litológica	Zonas bioestratigráficas	Distribución de los taxa	Tiempo
Miembro z	Zona P3	c	Mc
	c	----
Miembro y	Zona P2	b	Mb
Miembro x	b	----
		b	----
Miembro w	Zona P1	a	Ma
		a	----

Cuadro 1. La distribución de taxa (o “especies”) del registro fósil escogidos permite delimitar y establecer las zonas bioestratigráficas. Las unidades temporales supervienen de las zonas bioestratigráficas: paquetes de estratos delimitados por módulos, o segmentos, de linajes evolutivos.

Los cambios en la tasa evolutiva para diferentes grupos fósiles son mejor comprendidos dentro del marco de los eventos geológico-ambientales y aquí sí parece existir una relación de dependencia ontológica. La dependencia del nivel biológico respecto del sustrato litológico que representa el ambiente donde habitaron los organismos es fuerte, aunque no exclusiva. El término *no-exclusiva*

previene, en primer lugar, sobre la presencia de casos inversos; ésto es, casos donde la evolución de la biota produce condiciones geo-ambientales que se reflejan en la composición mineralógica de las rocas generadas. Entre éstos: la concentración creciente de oxígeno atmosférico por la respiración del fitoplancton en el Proterozoico y el rol de los organismos en la generación de rocas carbonáticas, carbonosas y oleosas, entre otros. Pero también aquel término advierte la existencia de cambios significativos en la tasa evolutiva (“especiación cuántica”) dentro del registro estratigráfico cuya relación con los eventos geológicos no está precisada. Éste es el caso de la irradiación vendiano-cámbrica, cuando aparecen los filums conocidos de invertebrados marinos.

Ejemplo 2. Las aclaraciones del párrafo anterior delimitan el alcance del presente ejemplo de interdependencia necesaria, tomado de la hipótesis de Hallam y Wignall (HALLAM & WIGNAL, 1999). Según esta hipótesis, las extinciones masivas del registro fósil tienen que ver con los cambios del nivel del mar. Si la misma hipótesis fuese admitida, entonces estaríamos ante una relación de dependencia ontológica necesaria:

Cambios del nivel del mar ⇒ extinciones faunísticas

La dirección inversa es inviable (las extinciones no producen cambios eustáticos)

No es objeto del presente estudio falsar o acreditar el factor causal invocado por Hallam y Wignall, 1999. Intenta solamente ejemplificar los criterios que emplean los paleobiólogos para dar cuenta del fenómeno de las extinciones masivas. Éstos criterios postulan la acción de factores causales internos y/o externos al planeta para producir la disrupción del ecosistema. En el caso del ejemplo, la dependencia sería parcial en el sentido que pueden existir otros factores involucrados (cf. STANLEY, 1987). No obstante, para las extinciones masivas deberá siempre recurrirse a una trama de factores físico-ambientales responsables de cada mortandad.

2.b. Una corteza terrestre fija o móvil?

En el marco del segundo debate arriba anotado “*una corteza terrestre fija o móvil?*”, parece de interés consignar que en el presente, la teoría denominada *Tectónica Global* (TG) es aceptada sin objeciones por la comunidad científica de las ciencias de la Tierra. Con relación a la teoría primigenia sobre *la deriva de los continentes* (DC), la TG ha incorporado un caudal informativo mayor, el que permite una amplia elucidación interdisciplinaria recíproca. Si bien comparte algunos rasgos importantes con las ideas primigenias sobre la DC, se ha despojado de elementos desestimados o falsados en su momento por erróneos. La formación de un supercontinente, su fragmentación y posterior dispersión, seguido de colisiones entre las partes que conducirán a la formación de un nuevo supercontinente, constituyen un proceso que parece repetirse recurrentemente en la historia geológica (cf. Ciclo de Wilson, en: MIALL, 1997 y bibliografía allí citada).

El proceso cíclico recién mencionado interesa para esta ponencia en el siguiente sentido: la repetición de un ciclo geológico no produce una repetición de los elencos faunísticos que secundan los cambios geográficos. Para explicar esto con mayor detalle es necesario admitir primero que la interdependencia necesaria entre evolución biológica y cambios geográficos está sólidamente asentada en las ciencias de la Tierra (SIMPSON, 1953). El modelo mostrado por Grande, 1989, que relaciona el fenómeno de la cladogénesis, o aparición de nuevos grupos fósiles, consecuentemente con la división de una entidad geográfica mayor (“supercontinente”) que se parcela, ha sido discutido previamente por el autor (MUSACCHIO, 2001). Este modelo constituye un ejemplo de interdependencias necesarias; el mismo es asimétrico, en el sentido que la división en clados que exhibe el registro fósil no tiene consecuencia alguna sobre la geografía, aunque sí la inversa. Los procesos geológicos que conducen la fragmentación del supercontinente son determinantes en el proceso de la cladogénesis de la biota. La ya mencionada noción de superveniencia podría aplicarse

aquí, aunque con limitaciones. En efecto, la evolución del registro fósil está determinada por una trama compleja en la que también participan factores endógenos, tal como los cambios genéticos que no resultan de los cambios geográficos.

2.c. Eustasia global y sus posibilidades para referir el tiempo geológico

Corresponde ahora analizar el debate sobre la “*eustasia global y sus posibilidades para referir el tiempo geológico*”. Para nuestro objetivo parece apropiado retomar, en primer término, la noción de ciclicidad aunque ahora en el marco de las nociones “rectoras” en geología. En segundo lugar, considerar las mudanzas o cambios conceptuales e instrumentales registrados durante las últimas décadas ligados a la repetición o recurrencia de procesos. Finalmente, abordar el significado de las discordancias que muestra el registro sísmico en la exploración de cuencas petrolíferas. El debate tiene interés para este trabajo pues se ha sostenido que diversos límites discordantes entre diferentes secuencias estratigráficas reflejen la existencia de eventos globales discretos (o puntuales) con significado en la correlación y la cronología. El lector podrá encontrar una actualización sobre la teoría denominada Estratigrafía de Secuencias (TES) (en MIAL, 1997; en MIAL & MIAL, 2001; y en POSAMENTIER & ALLEN, 1999). Esta teoría tuvo aceptación en la comunidad de geólogos y geofísicos dedicados a la exploración de cuencas petrolíferas en las dos últimas décadas del siglo pasado. De hecho, este nuevo “paradigma” en el análisis de cuencas sedimentarias, que irrumpió en la década del 80, tuvo alguna responsabilidad en un recambio de profesionales en la exploración petrolera en aquel momento.

La ciclicidad es el atributo de las secciones estratigráficas que muestra repeticiones semejantes en escalas muy diversas, desde milímetros que involucran cortos intervalos de tiempo (tal como los varves anuales de los depósitos glaciares), hasta intervalos que representan cientos de millones de años (ver arriba: Ciclo de Wilson); estos ciclos resultan de una recurrencia en las condiciones de sedimentación. La noción de ciclicidad en geología (cfr. SCHWARZACHER, 2000 y bibliografía allí anotada; MIAL, 1997) tiene una historia más reciente que la del uniformitarismo. No obstante, su relevancia como una idea rectora dentro de la teoría geológica cuenta con aceptación más amplia que el uniformitarismo.

En numerosos tratados dedicados a las ciencias geológicas hay acuerdo en presentar “la superposición estratigráfica” (o ley de Steno) y la “sucesión de facies” (o Ley de Walther) como nociones imprescindibles para abordar casi cualquier estudio del registro estratigráfico y sus fósiles (LARUE, 1992). Estas nociones están en correspondencia con un principio rector de la teoría geológica: aquel según el cual los procesos que han actuado en la corteza terrestre obran según leyes naturales. Para este trabajo entonces se acepta la noción amplia de uniformitarismo, la que no excluye la acción de procesos discretos o “catastróficos”.

Recientemente Posamentier y Allen (1999, tabla 1.1) han prestado atención a los diversos principios rectores (“*first principles*”) de la estratigrafía. La noción del “perfil de equilibrio” (enfaticada por los autores) involucra a los parámetros sedimentológicos para el transporte y la depositación de los detritos; éstos parámetros encuentran un marco adecuado de referencia en los términos erosión y sedimentación. Esos “principios” listados por Posamentier y Allen (salvo el anotado en tercer lugar como: *Walther’s Law*) están en correspondencia entonces con la visión de la mecánica clásica. Este es el vínculo conceptual que el uniformitarismo entraña para explicar los procesos corticales al nivel físico-químico. Este principio proclama que en el pasado actuaron procesos naturales como los que hoy reconocen tanto el geógrafo como el sedimentólogo. También entran aquí fenómenos discretos, tales como deslizamientos gravitatorios, impactos meteoríticos, hoy mejor conocidos que en la época de Lyell. No obstante, quien desarrolló más ampliamente la noción de uniformitarismo tenía una clara noción de la acción de fenómenos discretos, por ej, el vulcanismo explosivo en el Mediterráneo (LYELL, 1990). Lo que queda fuera del marco de la noción del

uniformitarismo es la necesidad de explicaciones no naturales que den cuenta de creaciones sucesivas para explicar los saltos del registro estratigráfico.

En el Cuadro 2, las denominadas “leyes” de Walter y Stenno son consecuentes con el fenómeno de la ciclicidad y, en sentido más amplio, con el principio del uniformitarismo. La tabla tiene, además, el propósito de mostrar diferencias entre diferentes principios de la Geología Histórica: por un lado aquellos que se relacionan con los procesos geológicos; abajo aquellos que tienen que ver, en cambio, con los procesos biológicos que muestra el registro fósil.

PRINCIPIOS	<i>Procesos geológicos</i>	<i>Procesos biológicos</i>
Uniformitarismo	+	
Tendencia al equilibrio (nivel de base)	+	
Ciclicidad	+	
“Ley” de Walther (parasecuencias)		
Regla de Stenno (o de la superposición estratigráfica)	+	
Sucesión de floras y faunas		+
Inercia / Direccionalidad		+
Complejidad creciente		+

Cuadro 2. Algunas nociones fundamentales, o principios, en las ciencias de la Tierra

En la versión original de la TES, las secuencias estratigráficas son el resultado de los cambios eustáticos cíclicos globales. Esto permitiría disponer horizontes isócronos de reflexión sísmica correspondientes a las discordancias, también globales, que segregan las secuencias entre sí (*key stratigraphic surfaces*). Hoy parece claro que estas superficies son, en cambio, diacrónicas. Asimismo, parece claro que existen diversos factores que controlan la generación del espacio sedimentario, además de los cambios globales del nivel del mar; estos últimos muy difíciles de deslindar, por otra parte, en el registro estratigráfico local. Queda fuera de las posibilidades de esta ponencia exponer las razones que han llevado a Posamentier & Allen 1999 (ver el Capítulo: Misceptions, confusion and pitfalls in the application of sequence of stratigraphy en POSAMENTIER & ALLEN, 1999) estas significativas debilidades en la TES. Lo que importa para este trabajo es que la posibilidad de una alternativa al cambio biológico como referencia principal para “medir” el tiempo geológico basada en la TES se ha debilitado substancialmente en los últimos años.

3 HISTORICIDAD EN PALEOBIOLOGÍA Y EL CONTACTO ENTRE LAS DISCIPLINAS GEO-HISTÓRICAS

Historicidad en paleobiología. Se mencionan a continuación algunas de las tendencias evolutivas que han merecido mayor atención por estudiosos del registro fósil (RENSCH, 1959). La regla estadística del *aumento progresivo de la talla* (o regla de Cope y Osborn), que tiene casos representativos no solo entre los cordados. La regla de los *no-especializados*, que prescribe como las estructuras anatómico-funcionales “generalizadas” poseen futuro en la evolución frente a las “especializadas”, las que han reducido enormemente su posibilidades de adaptación a los cambios. La regla de la *irreversibilidad* (o regla de Dollo) que se cumple, sin excepciones en el registro fósil; si bien en teoría, no puede negarse la posibilidad de “retorno” de especies extinguidas. La regla de

Fechner-Rosa o de *angostamiento progresivo de la evolución*; que trata algunas peculiaridades del fenómeno de la macroevolución y la atenuación de las posibilidades evolutivas después del salto generador que trae consigo la aparición de tipos estructurales novedosos; esta última regla permite comprender la secuencia de categorías del sistema jerárquico, antes que la de entidades sistemáticas reales de la naturaleza. Finalmente, la regla de la *inercia evolutiva*, la que intenta abordar el atributo de la direccionalidad del cambio, es última exhibida por numerosos linajes del registro fósil.

La breve e incompleta incursión anterior sobre las reglas de la evolución se hace en el marco de un creciente pesimismo entre los biólogos para aceptar la existencia de leyes universales en biología (SOBER, 1993; ROSENBERG, 2000). Esto no alude solo al carácter “terráqueo” de los organismos conocidos por el hombre. En efecto, el atributo de universalidad puede ser asimismo retaceado para otras “leyes” propias de campos “duros” del conocimiento (LORENZANO, 1998). En biología, y en defensa del carácter amplio de las Leyes de Mendel (las más respetada en esta ciencia) podría también acudir al auxilio que presta la “Ley” de Hardy-Weinberg, la que permite predecir los atributos de la descendencia ante la ausencia de fenómenos de mutación y de presiones de selección. Esta “ley” sería entonces una condición que legisla los atributos de la herencia para cualquier intervalo límite en un linaje de poblaciones ancestrales-descendientes.

Con todo, debe reconocerse que las leyes / regularidades biológicas son de naturaleza diferente a las que legislan los procesos geológicos. Es fácil advertir, por ejemplo, que la Ley de Dollo (aceptando que la misma tuviese atributos universales) legisla sobre el fenómeno de cambio y no sobre la permanencia en las condiciones físicas. ¿Cuál es entonces el nexo entre procesos geológicos y procesos biológicos si se reconocen las dificultades para postular la reducción de un campo al otro? ¿Qué pertenencia y qué significado tienen las nociones de interdependencias necesarias y de superveniencias en las disciplinas geo-históricas?

El contacto entre ambas disciplinas. En el apartado anterior (2) se han adelantado algunas respuestas a las preguntas recién formuladas. Se admite una relación de dependencia necesaria de los seres vivientes al sustrato físico representado por las condiciones geológico-ambientales (adaptación / selección natural). La relación inversa es débil y ocasional. La dependencia necesaria del proceso de cladogénesis al fenómeno de partición continental que se da en algunos casos de deriva continental no implica una reducción del proceso evolutivo al geográfico; solo muestra condiciones formales de conectabilidad (superveniencia fuerte) y una limitada predecibilidad (MUSACCHIO, 2001). El tipo de relaciones existentes entre ambos campos, tanto al nivel fáctico como en de la organización de los conocimientos respectivos, es importante para definir el criterio de “tiempo geológico” que debe ser adoptado y como debe procederse para su “medición”. Estas relaciones deben buscarse entonces en los testimonios del registro estratigráfico, los que representan los hechos ocurridos en el pasado (componente fáctico), y deben analizarse en el marco de la relaciones interdisciplinarias que vinculan a esos hechos entre sí (componente formal).

Cabe preguntar ahora si ¿será conveniente acudir a una escala del tiempo geológico basada en fenómenos recurrentes / reversibles (edades radiométricas, reversiones de la polaridad magnética)? O bien, si ¿el tiempo geológico debe ser referido a una patrón bioestratigráfico que tenga en cuenta los procesos irreversibles, representados por la sucesión de faunas y floras?

La primera alternativa propuesta (la “medición” del tiempo basada en fenómenos recurrentes) puede ser instrumentada sobre la base del año sidéreo tomado como unidad. Al menos en teoría, la misma puede estar cuantificada en años sidéreos por las dataciones radiométricas que se basan en el conocimiento de la desintegración isotópica de minerales en cuya composición entran elementos radioactivos (aviértase que, si bien la desintegración radioactiva es un proceso irreversible, está expresada en términos de un proceso recurrente). Otro parámetro es el de las reversiones de la polaridad magnética. Finalmente, otro parámetro podría ser la ciclicidad de los cambios del nivel del

mar representado por la denominada “curva de Haq-Vail”. El valor de este parámetro ha sido falsado con argumentos de peso (MIALL, 1992; MIALL, 2001). Escapa, sin embargo, a los objetivos del presente trabajo analizar la confiabilidad de estos tres métodos/alternativas. Por lo demás, en este apartado corresponde tratar solo la naturaleza de la relación entre los fenómenos recurrentes y los direccionales. En tal sentido parece interesante aclarar que la formación de discordancias globales, cuyo significado para referir el tiempo mundial ha sido enfatizado por la TSE en el marco de la hipótesis de la eustasia global, responde a los mecanismos de la ciclicidad. Por tal razón, y aún cuando esta última hipótesis no da cuenta de los factores causales generadores de los cambios del nivel del mar, parece adecuado incorporarla entre los fenómenos recurrentes.

La segunda alternativa propuesta (la “medición” del tiempo basada en fenómenos irreversibles) acude, en cambio, a puntos relevantes (*golden points*) del registro fósil. Con estos puntos (biohorizontes) se delimitan módulos bio-estratigráficos de referencia para definir las entidades cronológicas del tiempo mundial. La escala así lograda, responde al tipo de superveniencia mostrado en 2.a. Este es el criterio adoptado por la Unión Geológica Internacional (MURPHY Y SALVADOR, 1999) que consiste en escoger secciones tipo (o módulos patrones) dentro de la columna estratigráfica delimitados por la aparición o desaparición de taxa fósiles marcadores. Adicionalmente, procesos físicos recurrentes, son usados para calibrar las entidades cronológicas, las que han sido, en cambio, establecidas en el marco de procesos históricos o direccionales.

4 RESULTADOS

En la presente contribución el autor defiende los siguientes puntos de vista:

1.a. Los procesos geológicos son recurrentes y susceptibles de ser explicados y legislados apropiadamente en términos fisicalistas, aún cuando en algunos casos reciban influencia de lo que ocurre en la biosfera.

1.b. El uniformitarismo y la ciclicidad pueden considerarse los “principios puente” que facilitan las explicaciones básicas.

2.a Los procesos en la biosfera son, en cambio direccionales, irreversibles y legislables -aunque en forma poco rigurosa- en el marco de las tendencias evolutivas.

3. Los procesos biológicos muestran interdependencias necesarias con los procesos geológicos. La relación inversa es débil aunque posible en algunos casos.

4.a. La confección de la escala del tiempo geológico sobre la base de los procesos irreversibles parece conceptualmente necesaria ya que lo que se pretende describir es una sucesión histórica única antes que una secuencia de ciclos.

4.b. La relación entre entidades cronológicas formales y su anclaje en el cambio biológico como referencia de la evolución de la corteza terrestre, puede ser formalizada en el marco de la noción de superveniencia.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado mientras el autor se desempeñaba como “pesquisador visitante” de la Agencia Nacional del Petróleo del Brasil (ANP) en el Departamento de Geología Aplicada de la UNESP, Rio Claro (SP).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAVIDSON, D. Mental events. *In: FOSTER, L.; SWANSON, J. (eds.). Experience and theory.* Humanities Press. Reeditado en: DAVIDSON, D. *Essays on actions and events.* Oxford: Oxford University Press, 1980.
- GRANDE, A. Vicariance biogeography. *In: Briggs, D. E. G.; CROWTHER, P. R. (eds.). Palaeobiology (a synthesis).* London: Blackwell, 1980.
- HALLAM, A.; WIGNALL, P. B. Mass-extinctions and sea-level changes. *Earth-Science Reviews* **48**: 217-250, 1999.
- KIM, J. *Concepts of supervenience.* *Philosophy and Phenomenological Research* **45**: 153-176, 1984.
- . *Mind in a physical world.* Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- KUHN, T. *The structure of scientific revolutions.* 3. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996.
- LARUE, D. K. Sedimentology, Walter's law of facies. *Encyclopedia of Earth Sciences* **4**: 117-125, 1992.
- LORENZANO, P. Sobre las leyes en biología. *Episteme* **3**: 89-117, 1992.
- LYELL, Charles. *Principles of Geology* [1830-3]. Chicago: University of Chicago Press, 1990.
- MIALL, A. D. The Exxon cycle chart: an event for every occasion? *Geology* **20**: 787-790, 1992.
- . *The geology of stratigraphic sequences.* Berlin: Springer, 1997.
- MIALL, A. D.; MIALL, Ch. E. Sequence stratigraphy as a scientific enterprise: the evolution and persistence of conflicting paradigms. *Earth Science Review* **54**: 321-348, 2001.
- MURPHY, M. A; SALVADOR A. (eds.). International stratigraphic guide: an abridged version. *Episodes*, **22** (4): 255-271, 1999.¹
- MUSACCHIO, E. A. Procesos evolutivos comparados en disciplinas fácticas: ¿isomorfismos o interdependencias necesarias? *Episteme* **12**: 47-59, 2001.
- POSAMENTIER, H. W.; ALLEN, G. P. *Siliciclastic sequence stratigraphy. Concepts and applications.* Oklahoma: SEPM, 1999.
- RENSCH, B. *Evolution above the species level.* London: Methuen, 1959.
- ROSENBERG, A. Reductionism in a historical science. *Philosophy of Science* **68**: 135-164, 2001.
- SCHWARZACHER, W. Repetition and cycles in stratigraphy. *Earth Science Reviews* **50**: 51-75, 2000.
- SIMPSON, G. G. *The major features of evolution.* New York: Columbia Univ. Press, 1953.
- . *Tempo and mode in evolution* [1944]. New York: Columbia Univ. Press, 1984.
- SOBER, E. *The philosophy of biology.* Boulder, CO: Westview Press, 1993.
- STANLEY, S. S. *Extinction.* New York: Scientific American Library, 1987.

¹ International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS. International Commission on Stratigraphy. Ver <http://www.micropess.org/stratigraphy/abguid.htm>