

LA DANZA DE LOS CONTINENTES EN EL TIEMPO GEOLÓGICO

The dance of the continents in the geologic time

Pedro Wagner Gonçalves y Celso Dal Ré Carneiro (*)

RESUMEN

¿Cómo transponer los límites del sentido común sobre cambios climáticos? ¿Cómo describir la migración de los continentes en el Fanerozoico? ¿Cómo asociar las posiciones de los continentes con los cambios ambientales globales y regionales? Para tratar esas preguntas en una asignatura de Geología Introductoria destinada a alumnos de Geología y Geografía desarrollamos un conjunto de actividades apoyadas en distintas paleogeografías de los continentes, del Cámbrico al Pleistoceno. El ejercicio describe las posiciones latitudinales de un continente seleccionado, Australia, que describe una trayectoria con significativas implicaciones geológicas. En cada posición se hace énfasis en distintos aspectos geológicos importantes (vulcanismo, puntos calientes, distribución de cordilleras, subsidencias, cuencas sedimentarias cratónicas). La distribución de areniscas, pizarras, calizas, tillitas y diamictitas y las características de los depósitos, cuando están disponibles, pueden ser indicativas de determinados paleoambientes. Seleccionamos los continentes que formaron parte de Gondwana porque la variedad climática es significativa para las mismas posiciones de latitud.

ABSTRACT

How to overcome the common sense on climate change? How to describe and to understand the wandering of the continents during the Phanerozoic? How to relate the positions of continents to global and regional environmental changes? To treat such questions on a discipline of Introductory Geology to students of Biology, Geology and Geography we developed activities supported by different paleogeographic positions of continents from Cambrian to Pleistocene. The activity describes the changes of the latitudinal position of a selected continent, Australia. The trajectory of Australia at each geologic era has significant geologic implications. For each position some important geological aspects are emphasized (volcanism, hot spots, distribution of mountain ranges, subsidence, sedimentary basins). The distribution of sandstones, shales, limestones and diamictites as well as some characteristics of the deposits may yield paleoenvironmental evidence to be interpreted. We consider continents which were part of the Gondwana because the variety climate is significant on the same positions in latitude. Paleogeography is crossed with data on biological distribution and diversity.

Palabras Claves: Enseñanza de Geología, Tectónica de Placas, deriva continental, paleogeografía, cambio climático.

Keywords: Teaching of geology, plate tectonics, continental drifting, paleogeography, climate change.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es exponer un modelo pedagógico para enseñar deriva continental y las relaciones que pueden ser establecidas con la dinámica de las placas litosféricas que se desplazan — según velocidades de aproximadamente 2 a 3 cm por año que colisionan en algunos lugares o se alejan en otros (AAAS, 1990). Este trabajo es el resultado de nuestra investigación que busca introducir innovaciones curriculares en una asignatura de Geología Introductoria dirigida a alumnos de nivel universitario.

La estrategia educacional fue inicialmente desarrollada para alumnos de los cursos de Geología y Geografía de la Universidad Estatal de Campinas. Más tarde fue aplicada a los estudiantes de Biología

y, desde nuestro punto de vista, podría ser destinada a alumnos de diversos cursos (Física, Química, Ingeniería, Ecología, etc.) a partir de 16 años de edad. Consideramos que la aplicación de estas estrategias y actividades queda relativamente restringida a la enseñanza de la teoría de la Tectónica de Placas.

Los estudiantes tienen dificultad de relacionar las dinámicas de procesos terrestres, escala y duración del Tiempo Geológico (Pedrinaci y Berjillos, 1994). La estrategia aquí presentada pretende enfrentar ese reto recurriendo al cruce de ideas sugeridas a partir de la Historia de la Geología y de cierta perspectiva integrada de fenómenos tectónicos y climáticos.

El modelo usado es una representación visual de las posiciones de latitud ocupadas por Australia des-

(*) Departamento de Geociências Aplicadas ao Ensino, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. E-mail: pedrog@ige.unicamp.br

de el Cámbrico al Pleistoceno. Apoyadas en datos geológicos simplificados se plantean explicaciones sencillas para los distintos fenómenos registrados en las rocas (p.ej. depósitos sedimentos glaciares).

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

A pesar de la enorme cantidad y variedad de materiales didácticos para la enseñanza de la Tectónica de Placas (mapas, diagramas, rutas, programas de ordenador etc.) hay que llamar la atención acerca de que muchos de ellos tratan de aspectos particulares (magnetismo, distribución de sismos, vulcanismo etc.), son destinados a alumnos de niveles iniciales de enseñanza o adoptan punto de partida histórico, epistemológico y/o ambiental. Si hiciéramos un estudio de la *Revista de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* encontraríamos diversas e interesantes sugerencias de como enseñar Tectónica de Placas.

El trabajo aquí presentado es una contribución adicional dirigida a estudiantes de Geología Introductoria del nivel universitario. Se trata de un esfuerzo que busca mejorar el aprendizaje alrededor de dificultades y errores diagnosticados por nuestra experiencia de Enseñanza de las Geociencias.

Los estudiantes presentan dificultad para comprender las nociones de corteza terrestre y placa litosférica y establecer distinciones entre los conceptos relacionados, cuyo fundamento reposa en distintos patrones composicionales y reológicos. Gobert (2000) muestra ser difícil imaginar las capas concéntricas que forman la estructura interna de la Tierra. Modelos mentales de los estudiantes indican que el levantamiento de montañas en zonas de subducción es el resultado de una convexidad en las placas litosféricas provocada por esfuerzos compresivos (Dolphin, 2008).

Nuestra propia experiencia revela que el error más común de los alumnos tras las clases es suponer que hubo solamente un único periodo de fragmentación y dispersión de Pangea.

¿Qué es lo que genera ese conjunto de errores y concepciones incompletas de la Tectónica de Placas? La literatura sugiere algunas explicaciones muy aceptadas para errores comunes. Primero, las capas del interior de la Tierra y sus procesos no pueden ser directamente observados; segundo, es difícil comprender la escala de espacio; tercero, la escala de tiempo geológico es difícil de ser conceptualizada; cuarto, la Tectónica de Placas integra diferentes tipos de información, de carácter espacial, temporal, dinámica y causal (Gobert, 2000).

Ese conjunto de características que marcan la enseñanza de Tectónica de Placas revela la importancia y las características de tratar el asunto de la Tectónica de Placas utilizando la idea de modelo (Gobert, 2000). Las consideraciones de Gobert (2000) conducen a la necesidad de utilizar modelos de enseñanza que integren procesos y explicaciones. Dentro de tal perspectiva de enseñanza, partes esenciales de la Tectónica de Placas necesitan ser anali-

zadas y reordenadas. Causas, flujos, distribución espacial y secuencia temporal de los procesos necesitan ser combinados mediante representaciones que ayuden los alumnos a superar conocidas deficiencias relativas a aspectos del conocimiento geológico.

La danza de los continentes es un esfuerzo para enfrentar una parcela de esas dificultades de aprendizaje de los alumnos e introducir nuevas cuestiones en el debate relacionado a la interpretación de la historia de la Tierra.

Modelos y analogías para construir la idea de proceso

La comprensión de los procesos de ruptura continental que conducen a la formación de las cuencas oceánicas y las cordilleras de montañas es fundamental en las Ciencias de la Tierra. El estudio de los fenómenos asociados a los estadios de separación continental incluyen problemas relacionados a la tectónica extensional y los orógenos convergentes. Hay una dificultad para tratar dinámicas como aquellas relacionadas con los fenómenos explicados por la teoría de la Tectónica de Placas, o lo mismo en el caso de la Deriva Continental. Cuando consideramos las delimitaciones relativas al conocimiento científico, los conceptos necesitan ser complementados por dinámicas de fenómenos de larga duración temporal, cuya delimitación espacial es difícil debido a las escalas espaciales implicadas y, por lo tanto, no pueden volver a suceder regularmente mediante experimentos o objetos directamente observables. Eso conduce a procesos históricos y dinámicas de interpretación que son típicas del conocimiento geológico. La idea de modelo científico y su uso en la enseñanza de las Ciencias Naturales responde más directamente a los desafíos de la Enseñanza de la Geología.

Van Driel y Verloop (2002) apoyan a los autores que identifican características comunes de los modelos científicos: un modelo siempre se cree relacionado a un objetivo, objeto o blanco que es representado por el modelo (sistema, objeto, fenómeno o proceso); de las analogías entre el modelo y el blanco los investigadores extraen las hipótesis que pueden ser comprobadas para estudiar el blanco; el modelo se mantiene de forma deliberada tan simple como es posible, esto excluye ciertas características del blanco; el desarrollo de un modelo mediante procesos interactivo es guiado por cuestiones de investigación y los datos empíricos sobre el blanco pueden conducir a la revisión del propio modelo.

La idea de modelo puede contribuir a conocer lo que los alumnos comprenden de la Tectónica de Placas y puede facilitar el proceso de aislamiento de las partes constantes de la explicación para la elaboración de actividades.

Por su parte, en la enseñanza necesitamos intentar permanecer limitados a modelos excesivamente sencillos, que exploran solamente parcelas muy restringidas del proceso y que permiten construir sólo analogías con aspectos del sentido común. Modelos demasiado parciales y/o simplificados refuerzan el sentido común y crean dificultades adicionales para

que los alumnos comprendan explicaciones y conceptos científicos.

La danza de los continentes corresponde a un modelo analógico que enfatiza el uso del lenguaje visual y revela movimientos que extrapolan el sentido común. Los movimientos inesperados de Australia, gobernados por el movimiento de las placas litosféricas que podrían ser inicialmente atribuidos a la “deriva continental”, forman parte de una secuencia de etapas educativas para construir el modelo mental de la Tectónica de Placas.

Abordaje histórico de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Un examen cuidadoso del capítulo de Tectónica Global del libro *Decifrando a Terra* (Teixeira et al., 2000) – el libro de texto de Geología Introductoria más vendido en la última década en Brasil – revela el predominio de la descripción física de movimientos relativos a la teoría y cierto énfasis en la terminología de límites de placas. Esas explicaciones son precedidas por la Historia de la Geología (Deriva Continental); al final del capítulo, hay un ítem denominado *A dança dos continentes* en el cual se indica la distribución paleogeográfica de todos los continentes en los últimos 2000 millones de años dibujados en varios planisferios.

En las 14 páginas de texto y esquemas explicatorios predomina el tratamiento mecánico que puede ser reducido a la idea de movimientos sobre la superficie de una esfera. Señalamos la falta del abordaje temporal e histórico, la ausencia de fenómenos correlacionados (p.ej., ciclo de las rocas, riesgos geológicos etc.) en ese capítulo dedicado a la Tectónica de Placas. Sin embargo, es necesario recordar que el tema Tectónica de Placas está presente como asunto subordinado en muchos capítulos del mismo libro y, de tal manera, la obra entera acaba sufriendo la deficiencia indicada.

Ante el desafío, buscamos enfrentar simultáneamente algunos problemas y dificultades de los estudiantes para comprender los movimientos físicos de las placas y, a la vez, contribuir a formar una narrativa temporal e histórica asociada a la Tectónica de Placas. Tomamos como puntos centrales de las actividades aquí propuestas un abordaje histórico que, a nuestro entender, conduce a la alfabetización en Ciencias de la Tierra. Además, pretendemos que los alumnos adquieran una idea realista y humanizada de la Historia de las Ciencias. En otros términos, contribuye a que los alumnos comprendan la dinámica de las placas, así como sus diversas implicaciones ambientales (interacción geológica con atmósfera, hidrosfera e implicaciones económicas y sociales), la historicidad y contexto del conocimiento geológico y la comprensión de relaciones de ciencia y sociedad. Ese camino conceptual tiene raíces en la propia Historia de la Geología.

James Hutton, naturalista británico del siglo XVIII, en su *Teoría de la Tierra* (en la versión de 1788) busca explicar la dinámica cíclica de erosión y levantamiento de continentes. Hutton (1788) explica

el ciclo como una revolución física repetitiva en la cual la gran analogía de su pensamiento se encontraba en el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. A pesar de ese énfasis mecánico, nuestro naturalista indagaba sobre el tiempo necesario para que ocurra el intemperismo, la formación de suelos y la erosión.

En aquella época muchos creían que la edad de la Tierra era de algunos miles de años, en ese ambiente la pregunta de Hutton hace una consolidación de las escalas de tiempo envueltas, y las expande, para acomodar su teoría explicativa del origen de las rocas y de la Tierra.

La idea de que la edad de la Tierra podía alcanzar más de 80.000 años era compartida por Hutton y otros naturalistas de aquella época, pero fuera de ese ambiente muy limitado, la edad de la Tierra era demasiado pequeña. Hasta la década de 1820, creció el número de adeptos al tiempo de larga duración. En este contexto científico, Charles Lyell preparó su libro *Principios de Geología* (cuyo primer volumen fue publicado en 1830) y construyó de modo más claro la combinación de la dinámica y la temporalidad.

Rudwick (2005) muestra que Lyell usó dos modelos en el montaje de su argumentación. El primero fue la teoría huttoniana de la Tierra y el segundo es la aceptación de que la Tierra es el resultado de la historia (una acumulación temporal), por tanto la naturaleza tiene una historia de fenómenos sucesivos y ciclos de larga duración.

Eso indica que para conformar unas adecuadas explicaciones geológicas sería deseable reunir aspectos físicos e históricos para examinar cómo funciona la Tierra. Esa forma integrada y global de tratar lo que aconteció en la Tierra está presente en el pensamiento geológico desde los textos clásicos mencionados arriba.

Dolphin (2008) explica cuáles son los puntos cruciales para dar un tratamiento histórico y situacional a la enseñanza de la Tectónica de Placas. Para él, ciertos temas trascienden los límites de las asignaturas y ayudan a montar las explicaciones geológicas. Las ideas esenciales incluyen: primero, comprender el tiempo profundo y la escala de espacio mediante mapas. Segundo, tomar el Sistema Tierra como resultado de evolución y uniformidad. Por último, entender cómo los flujos de energía dirigen los ciclos de la materia.

Las actividades presentadas por Dolphin (2008) sugieren convergencia con la idea de estudio de la Tierra expuesta por los *Principios de la Geología* de Lyell. Esa idea se volvió un reto que buscamos responder por medio de la actividad *La danza de los continentes*: tratar de principios fundamentales necesarios para comprender la Tectónica de Placas como una teoría física e histórica.

¿Qué podemos concluir en términos de fundamentos aceptados que soportan nuestra actividad (*La danza de los continentes*)?

Primero, un examen de la Teoría de la Tierra de Hutton, versión de 1788, revela un modelo de ciencia geológica fuertemente apoyado en una amplia base

empírica. Además, hay una temporalidad: la acumulación del tiempo y de los fenómenos físicos conduciendo al refuerzo de otro punto crucial del raciocinio geológico: la idea de que la Tierra que observamos en el presente y su configuración son el resultado de revoluciones. Hutton (1788) adoptó la idea de acumulación del tiempo presente en varias culturas. Eso fue implícitamente asociado a cierta idea de continuidad de procesos por largos períodos de tiempo, parte de movimiento dirigido al progreso de la Tierra, es decir, una tendencia del proceso geológico.

Segundo, los *Principios de Geología* de Lyell (1830-1833) refuerzan ese modelo de ciencia. En el contexto científico de la década de 1820, una sólida base de Física y Química (teoría de transmisión del calor y del enfriamiento de los materiales) condujo a los naturalistas a creer que las dinámicas progresivas actúan en el dominio mineral y orgánico. Y ese modelo de cambio fue asociado a la historicidad de la Tierra.

Tercero, la idea de acumulación histórica parece especialmente estratégica para tratar la naturaleza. Sea desde el punto de vista de la acumulación de los procesos naturales (como detalla Potapova, 1968) o de las formas de raciocinio y exposición del conocimiento geológico (lo que había sido señalado por Frodeman, 1995) la dimensión temporal es crucial para percibir cómo el ambiente terrestre global, o regional, es el resultado de la historia de la naturaleza. Hacer que el estudiante sea capaz de razonar usando pensamiento hipotético, narrativo y hermenéutico es el desafío de la enseñanza de Ciencias de la Tierra y, en los límites de este trabajo, del tratamiento de la Tectónica de Placas.

CONTEXTO DEL TEMA EN LA ASIGNATURA CIENCIA DEL SISTEMA TIERRA

La danza de los continentes forma parte del eje temático Arquitectura de la Geosfera: Tectónica de Placas. El asunto se encuentra insertado en los estudios de la Geosfera que incluyen el entendimiento de la dinámica de la Tierra sólida (corteza terrestre, manto y núcleo), bien como sus interrelaciones con las esferas fluidas del planeta (formación y variaciones climáticas). La unidad forma parte de la asignatura Ciencia del Sistema Tierra (120 h distribuidas en 8 meses de clase intercalados con un mes de vacaciones de invierno) a la que asisten alumnos que cursan las carreras de Geología y Geografía.

Arquitectura de la Geosfera es precedida por principios metodológicos de la Ciencia del Sistema Tierra: universalidad de la transformación, flujos de energía y materia, principios de estratigrafía (actualismo, superposición e intersección de estructuras), nociones de tiempo absoluto y relativo en geología, ciclos de la naturaleza y de las rocas, evidencias indirectas y modelo de la estructura interna de la Tierra (corteza terrestre, litosfera, manto y núcleo). Los asuntos son parcialmente desarrollados en el campo y se creen vinculados al desarrollo de habilidades: uso de brújula, lectura de mapas topográficos, construcción de perfiles e interpretación de diagramas representativos de edades relativas de fisonomías geológicas. Los temas tratados en esa etapa previa son:

mapas, Tiempo Geológico, materiales terrestres (minerales y rocas), estructura interna de la Tierra y conceptos físicos (calor, trabajo, campos, olas).

Arquitectura de la Geosfera ocupa un lugar estratégico dentro de la asignatura: utiliza 40 h mediante estrategias didácticas diversificadas. Incluye manipulación de mapas y de evidencias de movimientos en la corteza (sismicidad, vulcanismo, distribución de cordilleras y áreas cratónicas), lecturas sobre aspectos de Historia de la Geología, trabajos con muestras de rocas y minerales en diferentes escalas (desde muestras de mano a láminas petrográficas), debate sobre riesgos sísmicos, uso de programa de ordenador para simular movimiento de placas, además de exposiciones y lecturas sobre el asunto.

Durante el desarrollo de la unidad, hay una excursión de un día para visitar depósitos y evidencias de la glaciación pérmica de la Cuenca Vulcano-Sedimentaria del Paraná. El debate de la excursión remite a la deriva continental y las posiciones polares ocupadas por Gondwana durante el Carbonífero y Pérmico.

La actividad que denominamos *La danza de los continentes* se ubica en la finalización de la actividad, cuando los alumnos ya poseen cierta familiaridad con trazos importantes de la Tectónica de Placas.

ACTIVIDAD LA DANZA DE LOS CONTINENTES

Descripción de la actividad

La actividad pretende relacionar las posiciones ocupadas por un continente y las variaciones climáticas observadas en el Tiempo Geológico durante el Fanerozoico. Se trata de buscar un nexo entre las posiciones del continente y los cambios ambientales que traen implicaciones para la distribución y características de los seres vivos. Esos conocimientos conducen a comprender cuáles son los factores que produjeron las variaciones climáticas cuaternarias y en qué son distintas de aquellas ocurridas durante el Carbonífero y Pérmico.

La actividad implica la manipulación de mapas paleogeográficos de Australia entre el Cámbrico y Pleistoceno, construidos a partir de amplio proyecto de investigación emprendido por la entidad gubernamental de investigación geológica (*Australian Geological Survey Organisation*, AGSO) de aquel país, en colaboración con empresas y universidades. El conjunto de 19 mapas sitúa la posición latitudinal del continente en cada periodo. Esos datos son complementados con informes de la distribución de calizas, profundidad del mar respecto al continente, cordilleras, vulcanismo toleítico, vulcanismo alcalino y depósitos sedimentarios glaciares.

La duración total de la actividad es de 4 h, para un grupo de 40 a 50 estudiantes, orientados por dos profesores más un auxiliar.

Los mapas utilizados son extraídos de los libros de divulgación científica *The greening of Gondwana* (White, 1998) y *Reading the rocks* (White, 1999).

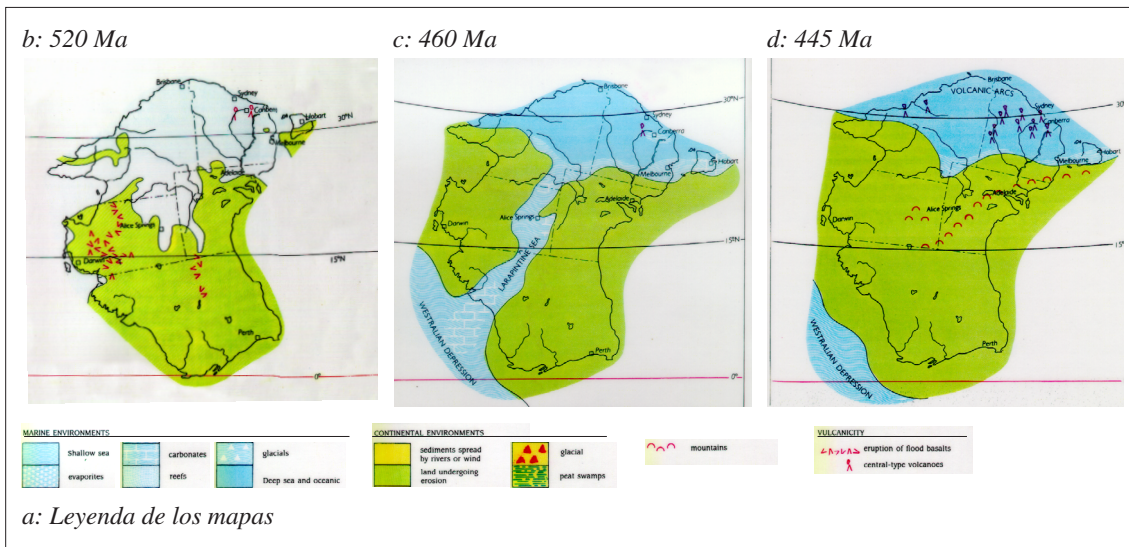


Fig. 1. Mapas paleogeográficos de Australia para la actividad La danza de los continentes – Parte 1, Cámbrico-Ordovícico: (a) Leyenda de los mapas; (b) Paleogeografía del Neocámbrico (520 Ma); (c) Paleogeografía del Meso-Ordovícico (460 Ma); (d) Paleogeografía del Neo-Ordovícico (445 Ma) (modificado de White, 1999).

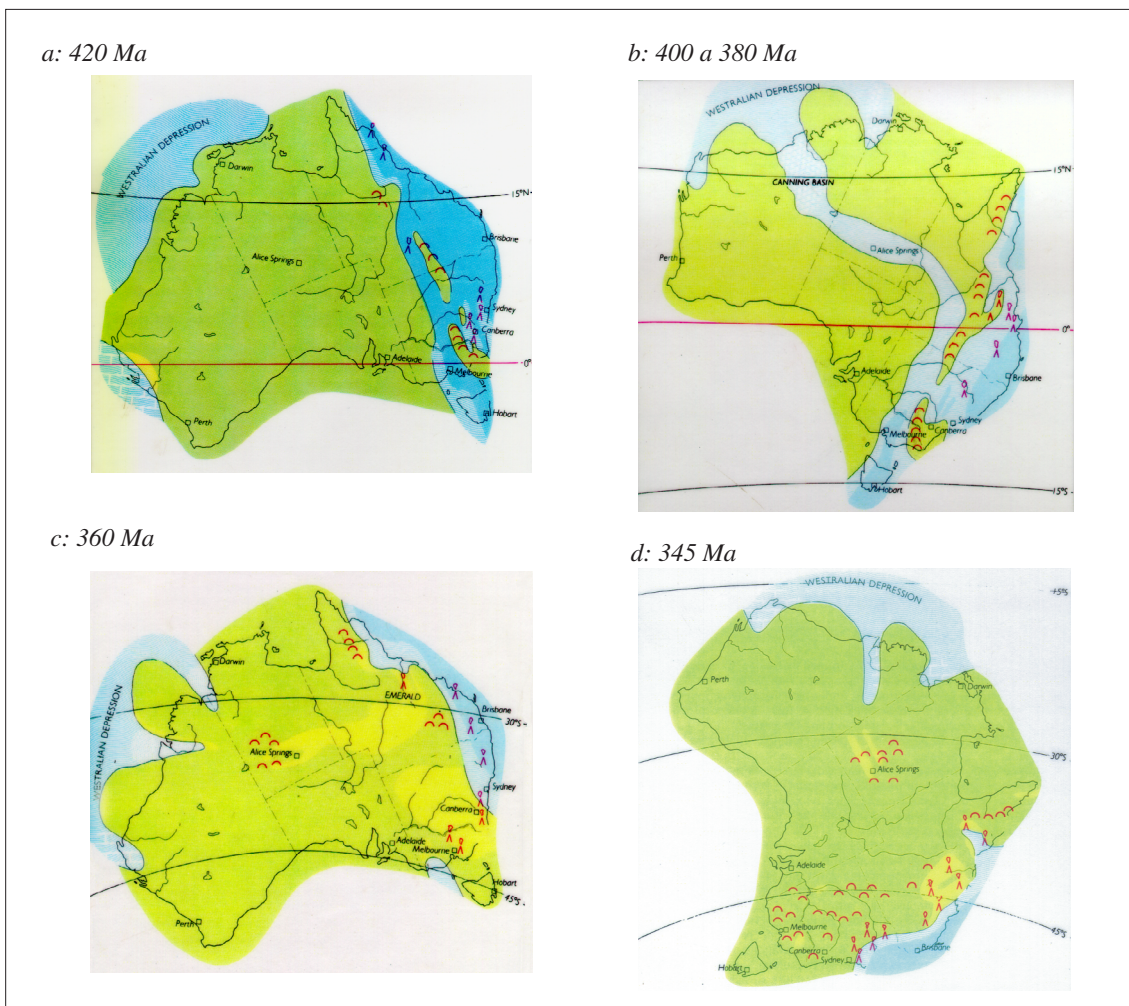


Fig. 2. Mapas paleogeográficos de Australia para la actividad La danza de los continentes – Parte 2, Silúrico-Carbonífero: (a) Paleogeografía del Neo-Silúrico (420 Ma); (b) Paleogeografía del Eo al Mesodevónico (400 a 380 Ma); (c) Paleogeografía del Neodevónico (365 Ma); (d) Paleogeografía del Eocarbonífero (345 Ma) (modificado de White, 1999).

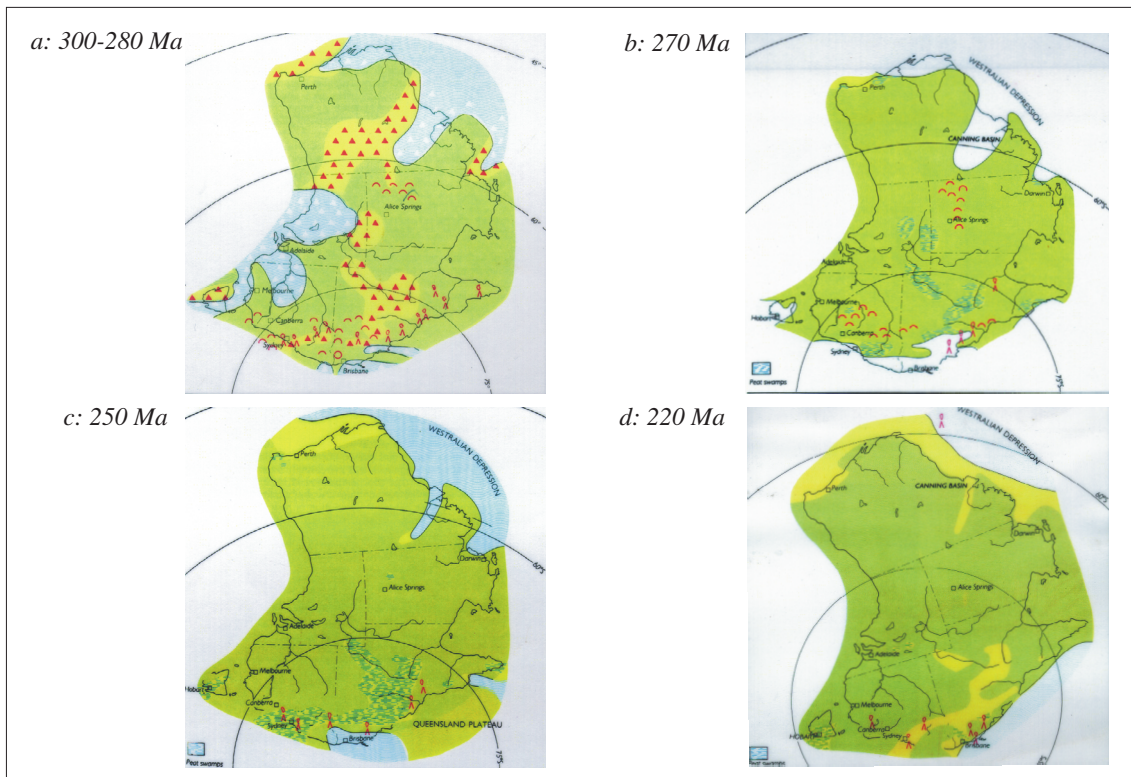


Fig. 3. Mapas paleogeográficos de Australia para la actividad La danza de los continentes – Parte 3, Carbonífero-Triásico: (a) Paleogeografía del Neocarbonífero al Eopérmico (300-280 Ma); (b) Paleogeografía del Eopérmico (270 Ma); (c) Paleogeografía del Neopérmico (250 Ma); (d) Paleogeografía del Triásico (220 Ma) (modificado de White, 1999).

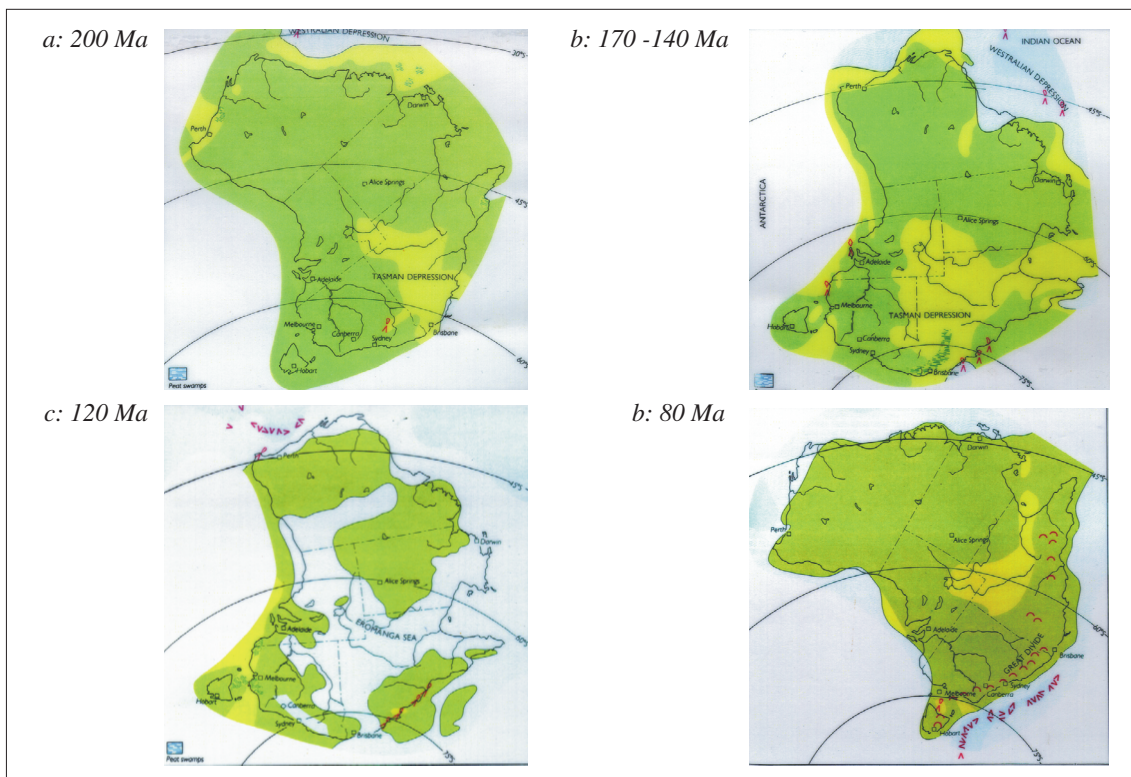


Fig. 4. Mapas paleogeográficos de Australia para la actividad La danza de los continentes – Parte 4, EoJurásico-Neocretácico: (a) Paleogeografía del EoJurásico (200 Ma); (b) Paleogeografía del Mesojurásico al Eocretácico (170-140 Ma); (c) Paleogeografía del Eocretácico (120 Ma); (d) Paleogeografía del Neocretácico (80 Ma) (modif. de White 1999).

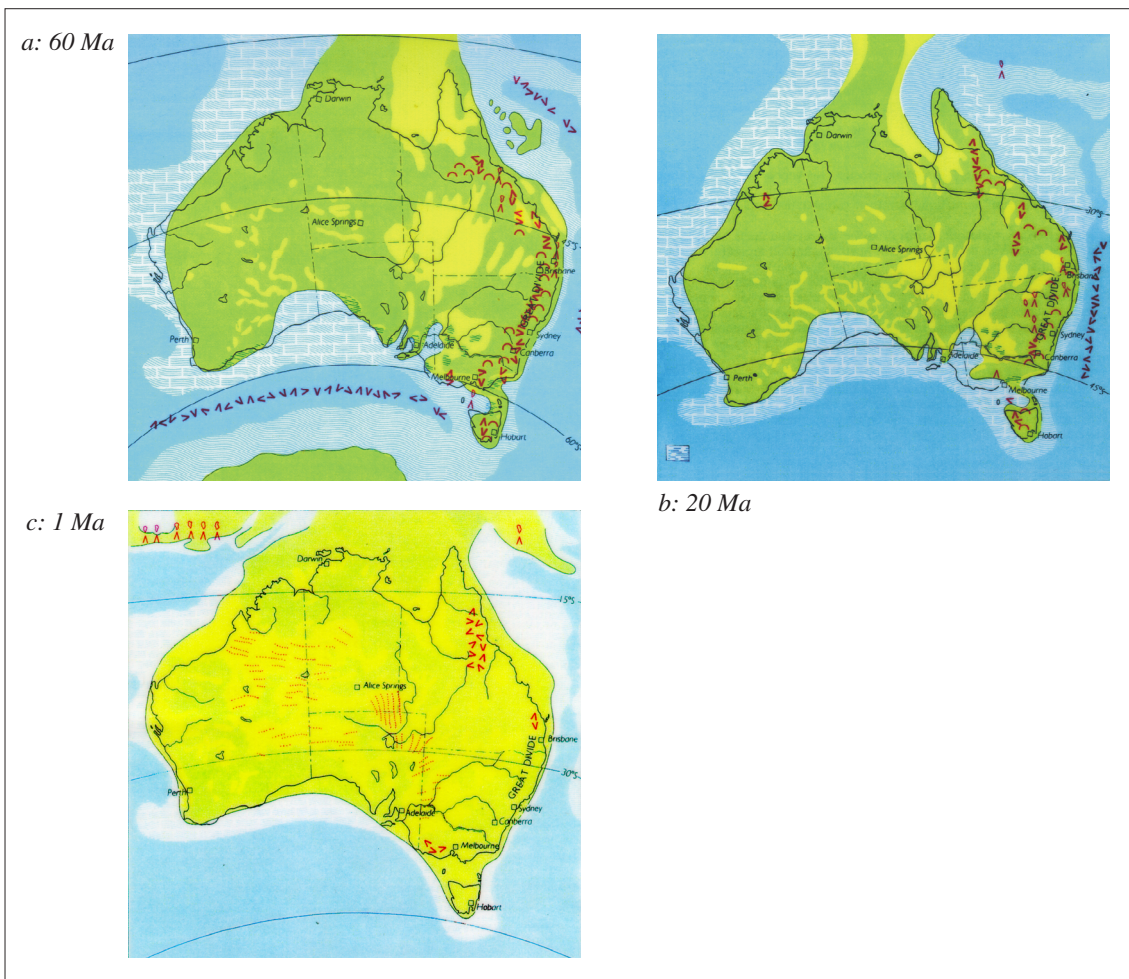


Fig. 5. Mapas paleogeográficos de Australia para la actividad La danza de los continentes – Parte 5, Neocretácico-Cuaternario: (a) Paleogeografía del Eoterciario (60 Ma); (b) Paleogeografía del Neoterciario (20 Ma); (c) Paleogeografía del Pleistoceno (1 Ma) (modificado de White, 1999).

¿Qué se solicita a los estudiantes?

Los alumnos, organizados en pequeños grupos de trabajo (4 a 5 estudiantes), deben dibujar en el mismo mapa-mundi cada una de las 19 posiciones indicadas en los mapas paleogeográficos.

Cuando los estudiantes completan la tarea es clara la sorpresa debido al resultado, que muestra latitudes muy distintas a lo largo del tiempo, con el continente australiano migrando desde la región ecuatorial a la polar.

La etapa siguiente del ejercicio a realizar por los estudiantes es preparar una lista con todos los rasgos geológicos en períodos seleccionados por los profesores (p.ej., Silúrico y Pérmico Inferior). La lista de rasgos geológicos permite interpretar cuál es el clima predominante de cada época seleccionada.

Los profesores pueden incentivar a los alumnos a explorar épocas en las que el clima fue muy diferente y a indagar sobre cuáles serían las implicaciones para la distribución de los seres vivos a lo largo de las diferentes épocas. Se explora en especial la glaciación gondwánica y los períodos en que el

continente estuvo en una latitud subártica pero el clima global permaneció calido. Los estudiantes necesitan, todavía, identificar los límites de placas presentes en los mapas paleogeográficos a partir de los rasgos geológicos presentes, es decir, hay que relacionar la deriva continental con la teoría de Tectónica de Placas.

Procedimientos y dificultades de aprendizaje

La principal preocupación en el desarrollo de este tema se encuentra en superar las interpretaciones simplistas que existen sobre el cambio climático. La idea más común del cambio climático defiende que dicho cambio es un simple problema del uso excesivo de combustibles fósiles. Esa idea simplificada no tiene en cuenta el tiempo geológico. La actividad desarrollada muestra profundos cambios climáticos y ambientales totalmente independientes de actividades antrópicas y, de esa forma, facilita una idea más crítica sobre cómo se comporta la naturaleza y cómo las actividades sociales, económicas y culturales interactúan con los procesos naturales. Sin embargo, el cambio ambiental a lo largo del tiempo geológico trae numerosos problemas de

aprendizaje que necesitan ser considerados por los profesores que realizan estas actividades sobre la deriva continental.

La gran dificultad para los alumnos es imaginar cómo era el ambiente del pasado. Faltan muchos elementos para comprender muchas de las transformaciones ocurridas durante el tiempo geológico. El profesor necesita la sensibilidad para percibir lo que el alumno no comprende y hacer preguntas que conecten el conocimiento que el alumno ya posee al que todavía le falta aprender.

La dificultad de conocer las condiciones ambientales en las eras geológicas puede ser descompuesta en aspectos particulares. La primera es relativa a los grandes movimientos de Australia en la superficie del planeta (la deriva de Australia): los alumnos afirman que las dimensiones de los movimientos son muy grandes y no consiguen comprender lo que ocurre durante el tiempo geológico.

En el ejercicio despreciamos el movimiento latitudinal del continente. Por simplicidad, se considera sólo las diferencias de latitud. Es como si el continente hubiese permanecido en la misma longitud durante todo el Fanerozoico. Por esta simplificación por cuestiones prácticas, los alumnos preguntan sobre las posiciones longitudinales ocupadas por Australia. El profesor necesita explicar la dificultad de recomposición de la Paleogeografía debido a la migración aparente de los polos magnéticos.

La segunda dificultad es sobre los límites de las áreas emergidas y sumergidas. Los mares neríticos cubrieron una vasta área de Australia. Los alumnos preguntan: cómo ocurrieron esas transgresiones? ¿Cómo avanzan y retroceden los mares sobre los continentes? Las plataformas continentales representan hoy áreas mucho menores que en el Fanerozoico. Eso es una dificultad adicional para que los alumnos entiendan esas fluctuaciones a lo largo del tiempo geológico.

Los alumnos ya examinaron variaciones climáticas y la fluctuación global del nivel del mar durante el Cuaternario. Pero ahora hay que operar con movimientos epirogénicos continentales y la formación de cuencas cratónicas. Para el entendimiento de la fluctuación del continente el profesor debe buscar ejemplos conocidos por los alumnos. En nuestro caso, hubo estudios de cuencas sedimentarias visitadas en el campo: Cuenca Sedimentaria del Taubaté de edad terciaria y Cuenca Vulcano-Sedimentaria del Paraná, bien como estudios teóricos hechos sobre la historia del Gran Cañón de los Estados Unidos. Recordar esos movimientos verticales es un modo de conducir al entendimiento de los procesos de formación de cuencas sedimentarias y el problema de la fluctuación del nivel del mar en un continente en particular.

El profesor necesita preguntar, además, sobre algunos aspectos específicos de la leyenda para señalar en qué periodo de tiempo el continente australiano estuvo bajo el nivel del mar. Además, hay problemas metodológicos: ¿cómo podemos imaginar esos modelos? ¿Qué datos se pueden usar para

comprender esos movimientos verticales? Eso conduce a la necesidad de enfocar el estudio al Silúrico y al Pérmico. Los estudios realizados en la Cuenca Vulcano-Sedimentaria del Paraná, sobre todo en las áreas vecinas de Campinas donde hay abundantes registros de la glaciación gondwánica, son importantes para explorar la idea de que en las rocas sedimentarias se encuentran los registros de los ambientes que existieron en el pasado.

La tercera dificultad es relativa a la dinámica de la vida: aparición y extinción de grupos enteros de organismos y la consecuente formación de nuevos grupos de especies animales y vegetales.

El profesor necesita explorar los mecanismos de selección de las especies y de cómo pueden estar relacionados con el aislamiento geográfico o a la disminución de las barreras espaciales que hace que muchas especies se disputen el mismo nicho ecológico.

Además, está el problema de la degradación ambiental global, que puede estar relacionada con eventos volcánicos y cambios climáticos globales. Los grandes eventos volcánicos están indicados en los registros observados en los mapas de Australia de distintas eras geológicas.

El profesor necesita preguntar insistentemente con respecto a cómo cambiaron la vida y el ambiente, sobre todo en las épocas que han sido destacadas por el ejercicio (Silúrico y Pérmico). Hay que enfatizar que hay períodos de colonización de especies marcados en el registro geológico, intercalados con períodos de disminución de los seres vivos en el continente australiano.

INTERPRETANDO LO QUE LA ACTIVIDAD REPRESENTA EN LA ENSEÑANZA

La actividad es organizada por la Escala del Tiempo Geológico y permite manipulaciones espaciales simuladas en el mapa. Ese abordaje posibilita prever la necesidad de diferenciación entre los productos de procesos naturales cíclicos, y los efectos que constituyen una respuesta única en el desarrollo de un área o región investigada (Rogers, 1989). Del paso de un periodo a otro (de un mapa al otro) permanecen registros y productos de las transformaciones ocurridas y se introducen nuevas transformaciones. Se trata de la explotación de la idea de que cada periodo del Tiempo Geológico es el resultado de transformaciones ocurridas en el pasado.

El camino de Australia trazado en el mapa constituye una narrativa hipotética sobre cambios globales ocurridos en el pasado geológico (Geoscience Australia, 1988).

La sorpresa de los estudiantes con el movimiento del continente los conduce a comprobar si los datos empleados son los mismos y están correctos. Eso es una contribución para reforzar la idea de la deriva continental.

El ejercicio refuerza la idea de regularidad de la naturaleza. Para el nivel de entendimiento de los

alumnos (Geología Introductoria) sobre procesos geológicos e historia de la Tierra entendemos que los estudiantes deben formarse una idea de la Escala del Tiempo Geológico. Los períodos geológicos estudiados difunden mecanismos de deriva continental y la Tectónica de Placas.

Un aspecto importante del ejercicio es la transferencia de informaciones entre un mapa y otro a partir de sus leyendas. Así, es notable la existencia, durante ciertos intervalos de Tiempo Geológico, de grandes porciones de la corteza terrestre en la región de Australia que permanecieron deprimidas y habían sido invadidas por el mar. Se percibe por los diagramas que tienden a mantenerse rebajadas durante largos períodos de tiempo.

En varios mapas paleogeográficos aparecen símbolos indicativos de coladas de basaltos, o vulcanismo del tipo volcanes de conducto central. Es posible resaltar, teniendo en cuenta esos elementos, un aspecto importante de la Tectónica de Placas, representado por el vulcanismo de basaltos, que antecede la ruptura y separación de grandes placas litosféricas. En contrapunto, se puede ilustrar con claridad que volcanes de conducto central no constituyen fisionomías precursoras de la separación de placas, pero son manifestaciones internas a las placas en movimiento.

La distribución de las cadenas montañosas, indicada esquemáticamente en ese conjunto de los mapas paleogeográficos suministrados, permite todavía ilustrar el importante concepto de que la erosión de las tierras altas alrededor de una zona deprimida remueve materiales, que van siendo acumulados progresivamente en las zonas bajas. El rápido examen de un mapa geológico de Australia posibilitará ilustrar la distribución de las cuencas sedimentarias en aquel continente, enfatizándose que las cuencas son áreas con tendencia a la subsidencia. A lo largo del tiempo, por lo tanto, las depresiones causadas por la subsidencia (hundimiento) son rellenadas por sedimentos provenientes de la erosión de las tierras elevadas adyacentes. Muchas veces los espesores de sedimentos acumulados son mayores en la parte central, disminuyendo gradualmente en dirección a los bordes.

La danza de los continentes constituye el cierre de un eje importante del programa de la asignatura. Los estudiantes en esta etapa de la asignatura deben hacer interrelaciones de distintos fenómenos geológicos, y deben cruzar procesos de la esfera sólida (rocosa) con los de las esferas fluidas (atmósfera e hidrosfera).

Al final de la actividad se espera que los alumnos sean capaces de describir y explicar diversas ideas de los procesos geológicos y su desarrollo temporal.

CONCLUSIONES

La actividad *La danza de los continentes* es un modelo visual que contribuye a desarrollar la habilidad del raciocinio multidimensional en los estudiantes. La actividad se sitúa en la fase de entendi-

miento del Sistema Tierra (alumnos del primer año de los cursos de Geología y Geografía), cuando es más decisivo comprender los mecanismos y regularidades que el tratamiento de la complejidad, de la falta de regularidad de los procesos y de los efectos de cambios bruscos y repentinos en las condiciones del ecosistema terrestre.

El modelo pedagógico desarrollado relaciona ideas del tiempo profundo con los procesos terrestres (deriva continental y cambio climático).

El cruce de procesos, productos, deriva continental e implicaciones ambientales ayuda a consolidar la idea de ser extremadamente largo el tiempo necesario para conciliar fenómenos controlados por la Tectónica de Placas con los demás procesos que ocurren en el planeta.

Dentro de los límites del ejercicio hay correlación de espacio y tiempo y profundizando en el concepto de registro geológico, en la medida en que los mapas paleogeográficos suministrados contienen indicaciones claras de fisionomías desarrolladas a lo largo de la evolución más antigua. La interpretación de la sucesión temporal de esas fisionomías puede ser más o menos profundizada, de acuerdo con objetivos educacionales específicos definidos por el profesor; la interpretación puede valorar, por ejemplo, que las estructuras de gran escala presentes en el continente australiano y regiones adyacentes constituyen un registro significativo de la evolución fanerozoica del planeta.

Esos elementos nos conducen, a estudiantes y docentes, a reflejar más adecuadamente sobre la dinámica histórica de los procesos geológicos y a ampliar el orden de grandeza de fenómenos que a veces son interpretados de manera exageradamente inmediata, como por ejemplo la actual polémica sobre el calentamiento global, que puede y debe ser insertada en la perspectiva temporal "geológica", para basarse en una argumentación más adecuada, desde el punto de vista científico.

BIBLIOGRAFÍA

AAAS - American Association for the Advancement of Science. 1990. *Science for All Americans Online*.

URL: <<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/chap4.htm#6>>. Acceso: 31 Enero 2008. (Cap. 4).

DOLPHIN, G. (2008). Evolution of the Theory of the Earth: A Contextualized Approach for Teaching the History of the Theory of Plate Tectonics to Ninth Grade Students. *Science and Education*, (en prensa).

FRODEMAN, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 107 (8):960-968.

GEOSCIENCE AUSTRALIA. (1988). *A wandering continent*. Historical atlas of Australian resources series. Geology and minerals. Canberra, AGSO.

URL: http://www.ga.gov.au/image_cache/GA10407.pdf. Acceso: 4 marzo 2008.

GOBERT, J.D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: inferential power and barriers to understanding. *Int. J. Sci. Educ.*, 22(9):937-977.

HUTTON, J. (1788). Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of the land upon the globe. Transactions of Royal Society of Edinburgh, v.1, part 2, p.209-304. (Facsimile edit. por George W. White. *Contributions to the history of geology*. v. 5. New York: Hafner Press, 1973. sp.).

LYELL, C. (1830-33). *Principles of Geology being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface*. London: John Murray, 1830-33. 3v. (Facsimile editado por Martin J.S. Rudwick. Chicago: University of Chicago, 1990. 3v.).

POTAPOVA, M.S. (1968). Geology as an historical science of nature. In: *Interaction of the science in the study of the Earth*. Moscow: Progress. p.117-126.

ROGERS, R.D. (1989). Use of observational patterns in geology. *Geology*, 17:131-134.

RUDWICK, M.J.S. (2005). *Lyell and Darwin, geologists: studies in the Earth Sciences in the Age of Reform*. Hampshire, UK: Ashgate Variorum. 316 pp.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F.T. (ed.) (2000). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. 568 p.

VAN DRIEL, J.H.; VERLOOP, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science. *Int. J. Sci. Educ.*, 24(12):1255-1272.

PEDRINACI, E.; BERJILLOS, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1):240-251

WHITE, M. (1998). *The greening of Gondwana*. Sydney: Reed Books. 256p.

WHITE, M. (1999). *Reading the rocks: animals and plants in prehistoric Australia and New Zealand*. 2 ed. Singapore: Kangaroo Press. 256 p. ■

Fecha de recepción del original: 5 marzo 2008.

Fecha de aceptación definitiva: 29 mayo 2008..