

ANÁLISIS DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS HISTÓRICOS PARA LA MEJORA DE LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS EN ESO Y BACHILLERATO

Sergio Rosa-Cintas, Alexandra Rey, Asunción Menargues, Rubén Limiñana, Carolina Nicolás,
Joaquín Martínez-Torregrosa
Universidad de Alicante

RESUMEN: Conocer y utilizar la teoría de la tectónica de placas para explicar los fenómenos geológicos que observamos en nuestro entorno es un objetivo fundamental en la educación básica de cualquier persona. La planificación de la enseñanza de dicha teoría con una estructura problematizada requiere realizar un estudio histórico-epistemológico de la evolución de las ideas y modelos en dicho campo. En este trabajo se representan los resultados de dicha revisión, que facilitan la identificación de posibles obstáculos epistemológicos en nuestros alumnos y la preparación de argumentos adecuados para su enseñanza en un contexto hipotético-deductivo y abierto.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza problematizada, didáctica de la geología, tectónica de placas, obstáculos epistemológicos.

OBJETIVOS: Realizar una revisión histórica sobre los distintos modelos ideados para explicar la dinámica litosférica terrestre, hasta llegar a la teoría actual de la tectónica de placas. Identificar posibles obstáculos epistemológicos históricos que puedan afectar a la docencia de la geología. Extraer conclusiones para futuros trabajos de innovación docente en esta materia.

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

Conocer y utilizar la teoría de la tectónica de placas, para explicar los fenómenos geológicos que suceden a nuestro alrededor, debe ser un objetivo fundamental en la educación científica de cualquier persona. Así viene recogido en los New National Standards de los EE.UU. (NSA, 2012) y en los contenidos curriculares básicos de la ESO y el Bachillerato (RD 1105/2014).

Para una mejor planificación de la enseñanza en ciencias, muchos autores proponen seguir una estructura problematizada mediante investigación guiada (Verdú y Martínez Torregrosa, 2004). Dicha metodología requiere, como primer paso, la realización de un estudio histórico y epistemológico previo del campo a tratar. Estudio que ha de ser realizado con intencionalidad didáctica y con conocimiento práctico del proceso de Enseñanza-Aprendizaje, para que sea útil a posteriori (Osuna et al., 2007).

En general, la historia de la evolución de las ideas científicas nos puede ayudar a identificar aquellas concepciones que han constituido importantes obstáculos epistemológicos en el desarrollo del pensamiento humano. Dichas concepciones suelen ser buenos predictores de las ideas y obstáculos que tienen los alumnos en nuestras aulas (ej. Osuna et al., 2012). Por ese motivo, en este trabajo se lleva a cabo una revisión histórica sobre los distintos modelos ideados para explicar la dinámica litosférica terrestre hasta llegar a la teoría actual de la tectónica de placas.

Diversos autores ponen de manifiesto la utilidad de los análisis históricos para la enseñanza de la geología (ej. Pedrinaci, 1994). El análisis de la historia geológica tiene una triple utilidad en docencia: 1) Ayuda al profesorado a conocer la construcción histórica de los conceptos geológicos, así como los obstáculos que se encontraron; 2) Es una herramienta que facilita la selección de contenidos relevantes y el nivel de los mismo; 3) Permite mostrar a los alumnos la naturaleza abierta y cambiante del conocimiento científico (Sequeiros et al., 1997).

RESULTADOS – REVISIÓN HISTÓRICA

En la Tabla 1 se recogen cronológicamente los distintos modelos ideados para explicar la dinámica litosférica terrestre. Así mismo, también se incluyen los descubrimientos y aspectos clave que propiciaron la evolución de dichos modelos.

Tabla 1.
Modelos históricos y aspectos clave para explicar la dinámica litosférica terrestre

LÍNEA TEMPORAL	MODELO O ASPECTO CLAVE	DESCRIPCIÓN
S.XVIII	Neptunismo vs Plutonismo	El Neptunismo (Werner) seguía la doctrina catastrofista eclesiástica, que fijaba la edad de la Tierra en unos 6000 años, y respaldaba la idea del diluvio universal. Todas las rocas del planeta serían sedimentarias, originadas bajo el océano, y las montañas se formaron al mismo tiempo que el planeta. El Plutonismo (Hutton) dio origen a la doctrina uniformista, según la cual los agentes geológicos actúan de manera uniforme y cíclica en el tiempo. Estableció una edad de la Tierra indefinida y negaba el diluvio universal. Distinguía entre rocas ígneas y sedimentarias y vinculaba los procesos orogénicos a elevaciones verticales producidas por el fuego interior del planeta.
Principios S.XIX	Fin del Neptunismo	El trabajo de Charles Lyell (1830) y las crecientes evidencias de un gradiente geotérmico en el planeta acabaron con el modelo neptunista en favor del Plutonismo.
Principios S.XIX	Surge el Actualismo	Establece que es probable que los procesos físicos y químicos elementales que están hoy en marcha también lo estuvieran en el pasado, pero que no se puede asegurar que su intensidad y frecuencia hayan permanecido siempre uniformes en el tiempo y en el espacio.
Mediados del S.XIX	Surge el Direccionalismo	Corriente que sustituyó al Neptunismo en la rama más conservadora del pensamiento científico. Sostiene que el calor interno de la Tierra es el residuo de la condensación de una nebulosa de gas primigenia, por lo que este debe ser finito y estará llamado a disiparse por completo. La contracción por enfriamiento generaría orogenias a escala planetaria, de efectos catastróficos.
1854	Concepto de isostasia	Representa el lento proceso de enraizamiento o elevación de la corteza terrestre, al producirse un aumento o disminución de su propia masa.

LÍNEA TEMPORAL	MODELO O ASPECTO CLAVE	DESCRIPCIÓN
Segunda mitad del S.XIX	Primeros modelos globales de la dinámica terrestre	El modelo de Eduard Suess no contemplaba el concepto de isostasia y no hacía distinción entre corteza oceánica y continental. Explicaba el aparente encaje continental mediante puentes intercontinentales que emergían del mar. El modelo de James Dana sí que hacía distinción entre corteza oceánica y continental (isostasia), pero no trataba de explicar el encaje continental. Ambos modelos distinguían entre rocas ígneas y sedimentarias, combinaban las doctrinas del direccionalismo y actualismo, y vinculaban los procesos orogénicos a esfuerzos tangenciales compresivos.
Finales S.XIX Principios S.XX	Descubrimiento de la radiactividad y fin del Direccionalismo	La radiactividad se presentó como una nueva fuente de energía calorífica prácticamente inagotable. Esto hizo que los científicos reconsiderasen en muchos millones de años las edades del Sol y de la Tierra. La datación radiométrica fijó la edad de la Tierra en 4.500 millones de años.
1915	Hipótesis de la deriva continental de Alfred Wegener	En el pasado existía un supercontinente único (Pangea) que empezó a fragmentarse en continentes más pequeños hace unos 200 millones de años. Estos continentes derivaron hasta las posiciones que conocemos actualmente (Tarbuck et al., 2005). Esta hipótesis se sustentaba en pruebas como: El encaje de los continentes (Fig. 1a). Evidencias paleontológicas. (Fig. 1a). Semejanzas en litologías y estructuras (Fig. 1b). Evidencias paleoclimáticas (Fig. 1c).
1928	Limitaciones de la hipótesis de la deriva continental	No hallar un mecanismo capaz de explicar el movimiento de los continentes a través del planeta. Arthur Holmes propuso que las corrientes de convección que actúan dentro del manto podían impulsar a los continentes, pero no logró aportar evidencias empíricas.
S.XX (década de los 50)	El paleomagnetismo	Ciertos minerales ricos en hierro pueden servir como “brújulas fósiles” del pasado, al experimentar una magnetización gradual acorde con las líneas del campo magnético terrestre (Fig. 2a).
S.XX (década de los 50)	La exploración del suelo oceánico	Se descubrió el sistema global de dorsales oceánicas y, además, se observó que la capa de sedimentos que cubre el suelo oceánico es mucho más delgada y reciente de lo que se pensaba.
S.XX (década de los 60)	Hipótesis de la expansión del fondo oceánico de Harry Hess	En las dorsales oceánicas es donde se crea nueva corteza oceánica, por el ascenso convectivo en el manto; alejando lateralmente el suelo ya existente hacia las fosas submarinas, donde ocurriría el fenómeno contrario. Las masas continentales no llegarían a subducir por tener menor densidad (Fig. 2b).
S.XX (década de los 60)	Las inversiones del campo magnético terrestre	Se descubrió que el campo magnético de la Tierra cambia periódicamente de polaridad y se demostró la correlación existente entre el magnetismo y edad de las rocas.
S.XX (década de los 60)	Conexión entre la expansión del fondo oceánico y las inversiones del campo magnético terrestre	En 1963 se vincularon dos ideas que hasta la fecha parecían independientes. Se relacionaron las bandas alternas de materiales con magnetismo de alta y baja intensidad, halladas en el suelo marino, con la hipótesis de la expansión del fondo oceánico (Fig. 2c).
S.XX (década de los 60)	Teoría de la Tierra en expansión	Las masas continentales habrían cubierto toda la superficie de la Tierra alguna vez. Posteriormente, a medida que se expandía la Tierra, por la creación de nuevo suelo oceánico, los continentes se separaron hasta su configuración actual.
S.XX (década de los 60)	División de la corteza terrestre en placas	El geofísico John Tuzo Wilson proporcionó la pieza que faltaba para formular la teoría de la tectónica de placas. Describió los tres tipos de contacto entre placas: Dorsales oceánicas, fosas submarinas y contacto lateral entre placas.
1968	Teoría de la tectónica de placas	Une los conceptos de deriva continental y expansión del fondo oceánico en una teoría más completa y unificada (Fig. 2d).

RESULTADOS – IDENTIFICACIÓN DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

En el siguiente listado se han recogido una serie de conceptos y evidencias clave, que todo modelo global sobre la dinámica terrestre debería poder explicar de forma plausible. En la Tabla 2 se analiza en qué medida los diferentes modelos históricos estudiados son capaces de dar respuesta a los aspectos clave propuestos.

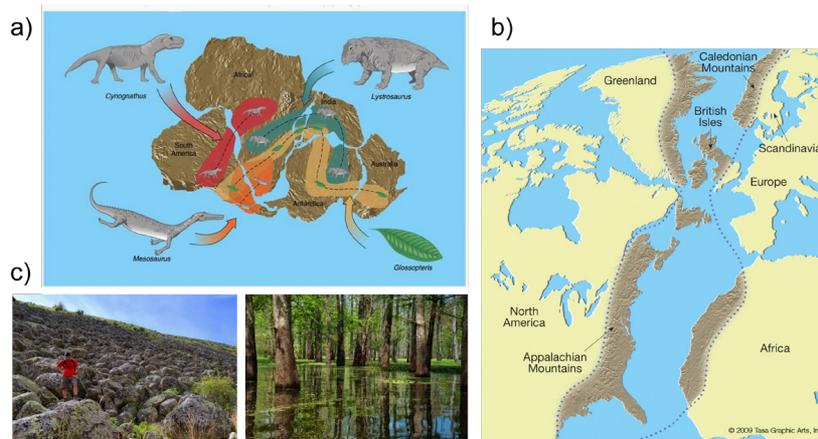


Fig. 1. Pruebas que sustentaban la hipótesis de la deriva continental: a) El encaje de los continentes y evidencias paleontológicas, b) Semejanzas en litologías y estructuras, c) Evidencias paleoclimáticas [Web-1].

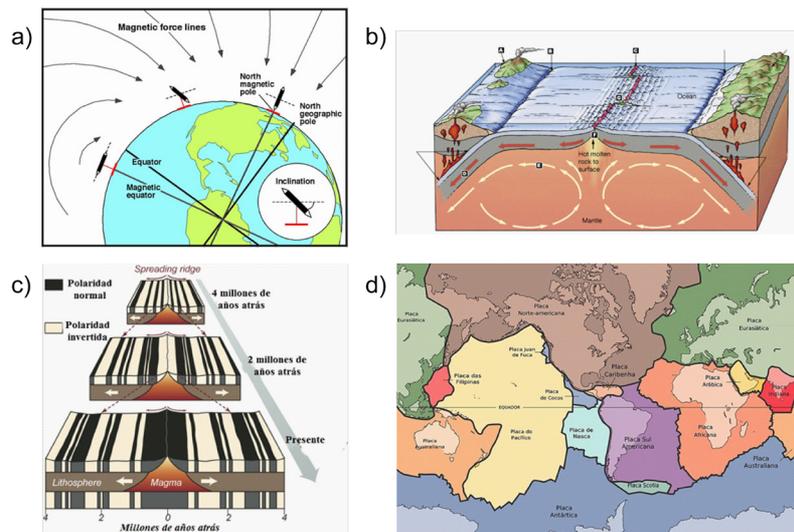


Fig. 2. a) Paleomagnetismo en diferentes latitudes del planeta, b) Hipótesis de la expansión del fondo oceánico, c) Conexión entre la expansión del fondo oceánico y las inversiones del campo magnético terrestre, d) La teoría de la tectónica de placas [Web-2].

Aspectos:

1. Génesis de las rocas sedimentarias
2. Génesis de las rocas ígneas
3. Gradiente geotérmico
4. Existencia de esfuerzos tangenciales
5. Formación de montañas (orogenia)
6. Diferencias entre corteza oceánica/continental (isostasia)
7. Radiactividad como fuente de energía calorífica
8. Edad de la Tierra 4500 M.a.
9. El encaje continental (paleontología, orogenia)
10. Evidencias paleoclimáticas
11. Mecanismo de movimiento continental
12. Hipótesis de la expansión del fondo oceánico
13. Evidencias paleomagnéticas

Tabla 2.
Valoración de las explicaciones que los modelos históricos dan a los diferentes aspectos considerados sobre la dinámica terrestre

Aspecto	Modelos						
	Neptunismo	Plutonismo	Suess	Dana	Deriva continental	Tierra en expansión	Tectónica de placas
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

Color	Criterio de valoración de la explicación
	Correcta y/o coherente con el estado del conocimiento actual
	Errónea según el estado del conocimiento actual
	No existe explicación o explicación acientífica
	Cuando el aspecto no guarda relación directa con el modelo, o no se había descubierto todavía

Como se puede observar en la Tabla 2, la génesis de las rocas (1 y 2), a excepción de las rocas metamórficas, ya se podía explicar con los fundamentos del Plutonismo. La existencia de un gradiente geotérmico (3) se relacionaba fácilmente con las observaciones realizadas sobre el vulcanismo, mientras que la existencia de esfuerzos tangenciales (4) fue introducida por el pensamiento direccionalista, aunque de forma errónea. La orogenia (5) se explicó durante varios siglos sin la necesidad de esfuerzos tangenciales, aunque la teoría de la tectónica de placas pone de manifiesto su enorme relevancia. Por otro lado, el principio de isostasia (6) no llegó a incorporarse hasta el modelo de Dana.

Los descubrimientos relacionados con la radiactividad (7 y 8) no podían explicarse con los modelos derivados de la concepción direccionalista (Suess y Dana). Las evidencias recopiladas por Wegener (9 y 10) sólo eran parcialmente justificadas por el modelo de Suess, mientras que la deriva continental de Wegener tuvo su talón de Aquiles en la búsqueda de un mecanismo plausible para el movimiento continental (11). Finalmente, aunque el modelo de la Tierra en expansión surgió como una posible alternativa a la deriva continental y a la expansión del fondo oceánico (12), en realidad no podía explicar las evidencias paleoclimáticas (10), ni las paleomagnéticas (13).

CONCLUSIONES

La revisión histórica sobre los distintos modelos ideados para explicar la dinámica litosférica terrestre, hasta llegar a la teoría actual de la tectónica de placas, permite identificar una serie de aspectos clave, que engloban tanto conceptos como evidencias geológicas y paleoclimáticas; que deberían poder ser explicados de forma plausible por todo modelo global sobre la dinámica terrestre. Dichos aspectos pueden utilizarse para someter a prueba los diferentes modelos históricos, así como las ideas que pueden proponer nuestros alumnos en clase. En futuros trabajos se realizará el análisis de los aspectos clave propuestos, para ver cuáles de ellos pueden constituir también un obstáculo significativo a la hora de estudiar la dinámica litosférica terrestre con los alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NSA (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academy Press, Washington D.C.
- OSUNA GARCÍA, L., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., CARRASCOSA ALÍS, J., y VERDÚ CARBONELL, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 277-290.
- OSUNA, L., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., y MENARGUES, A. (2012). Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 295-317.
- PEDRINACI, E. (1994). La Historia de la Geología como herramienta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2-3), 332-339.
- REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- SEQUEIROS, L., PEDRINACI, E., ÁLVAREZ, R.M., y VALDIVIA, J. (1997). James Hutton y su Teoría de la Tierra (1975): Consideraciones didácticas para Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.1), 11-20.
- TARBUCK, E.J., LUTGENS, F.K., y TASA, D. (2005). *Ciencias de la Tierra-Una introducción a la geología física*, 8ª edición. Pearson Educación S.A., Madrid.

VERDÚ, R., y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (2004). La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje. Ed. Universitat de València, Facultat de Ciències Físiques.

Web-1

<http://mavdisk.mnsu.edu/larsop2/geog101/PlateTectonics/LarsonPlateOutlineWSlides.html>

Web-2

<http://www.rci.rutgers.edu/~schlisch/103web/Pangeabreakup/paleomag.html>

<https://www.thinglink.com/scene/764523582867898370>

<http://biologia4eso.weebly.com/expansioacuten-del-fondo-oceaacutenico.html>

