

50 años de tectónica de placas

50 years of plate tectonics

La teoría de la tectónica de placas es considerada uno de los grandes descubrimientos de la ciencia, ya que ofrece una explicación bastante razonable del funcionamiento del planeta Tierra. La aparición de esta revolucionaria teoría ha dado respuesta, durante las últimas décadas, a muchas de las preguntas que en el pasado se había formulado la comunidad científica geológica.

Por ejemplo, desde la cordillera del Himalaya hasta la fosa de las Marianas, la tectónica de placas permite comprender cómo se han formado los principales rasgos del relieve terrestre. Esta teoría explica, entre otros muchos aspectos, el porqué de la morfología de las cordilleras oceánicas o de detalles como la emersión y el crecimiento de Islandia, las grandes llanuras que hay en buena parte de los continentes y en los fondos abisales, por dónde discurren los grandes ríos del planeta, la forma que tienen los grandes lagos africanos o por qué el Mar Muerto o el Valle de la Muerte están por debajo del nivel del mar.

Las manifestaciones más espectaculares de la actividad de nuestro planeta, los terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas, se comprenden mucho mejor desde que se formuló esta teoría. El clima terrestre del pasado y el actual también tienen una estrecha relación con la tectónica de placas. La distribución de algunos desiertos como Atacama, Gobi o los desiertos del *Basin and Range* de Estados Unidos están estrechamente ligados al efecto Foëhn que se produce en los orógenos de los Andes, Himalaya o Nevada-Rocosas, respectivamente. Y la aparición de hielo en la Antártida o las glaciaciones en el hemisferio norte, están relacionadas con la separación de Gondwana o con el cierre tectónico del istmo de Panamá, respectivamente.

Por otra parte, la tectónica de placas ha dado respuesta a la distribución global de las grandes regiones litológicas (cinturones de rocas metamórficas, grandes cuerpos de rocas plutónicas y de rocas volcánicas, localización de los principales volúmenes de rocas sedimentarias). En este sentido, explica muchos detalles, como por qué hay islas con rocas volcánicas y otras, como Barbados o Taiwán, que están constituidas por rocas sedimentarias marinas. Además, también ofrece un modelo razonado sobre la edad de las rocas en una determinada zona del planeta. El ejemplo más sencillo es el de las rocas del fondo oceánico, tanto la edad de los basaltos como la de los sedimentos que los cubren. Pero también en los continentes existe una estrecha relación entre la edad de las rocas y la historia tec-

tónica de cada región. Y, por supuesto, esta estrecha relación de la tectónica de placas con el clima es asimismo aplicable a la evolución y distribución de la vida en nuestro planeta. Procesos como la deriva continental, la actividad magmática, los procesos de subducción o la formación de las montañas, tienen una fuerte influencia e interrelación con el desarrollo de la biosfera.

Podemos concluir que la tectónica de placas cambió para siempre la geología, transformándola en una ciencia más cuantitativa y predictiva. Pioneros de esta ciencia como Nicolas Steno, James Hutton o Charles Lyell disfrutarían enormemente de los avances actuales del conocimiento, al igual que lo haría el propio Alfred Wegener, el científico que propuso la brillante idea de la deriva de los continentes. El progreso en las últimas décadas ha sido tan radical, que las personas que plantaron los cimientos científicos sólidos de esta teoría como Arthur Holmes, Xavier Le Pichon, Harry H. Hess, Frederick Vine, Drummond Matthews, Dan McKenzie o John Dewey, entre otros muchos, sienten o sentirían una especie de “vértigo científico”.

La importancia de la tectónica de placas en la enseñanza de la geología ha quedado plasmada en los libros de texto y en el repositorio histórico de la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ECT ha publicado algo más de 50 artículos sobre aspectos generales de la tectónica de placas o su relación con los terremotos y tsunamis, el vulcanismo en el planeta, el clima y sus glaciaciones, o el paleomagnetismo. Entre estos aspectos destaca la relación de la tectónica de placas con el relieve y las montañas, que ha sido tratado en dos números monográficos (“El relieve” de 2007, número 15.2 y “La formación de las montañas” de 2018, número 26.1). También se han publicado trabajos con propuestas de actividades en el aula o se han descrito modelos análogos sobre varios aspectos tectónicos. Finalmente, no han faltado los trabajos sobre la historia de la tectónica de placas y sus predecesoras, entre los que destaca la colección ofrecida por el monográfico “Alfred Wegener: cien años de la teoría de la deriva continental” (2012, número 20.1). Al final de este monográfico, se incluye el apartado **ECT ha publicado ...** que ofrece el listado detallado de estas publicaciones.

El monográfico está distribuido en cuatro grandes bloques: (1) bloque introductorio sobre aspectos generales de la teoría, (2) conjunto variado de artículos sobre diferentes aspectos y regiones del planeta, (3) bloque sobre los orógenos de la penín-

sula ibérica y su relación con la tectónica de placas, y (4) un par de artículos con recursos y propuestas de actividades. El número se complementa con dos noticias de la sección “La Geología es Noticia”.

En el primer bloque introductorio el monográfico comienza con el artículo **“El motor de la tectónica de placas”** de Carlos Fernández, Pedro Alfaro, Gabriel Gutiérrez Alonso y Francisco M. Alonso Chaves, que intenta aportar luz a la “pregunta del millón” ¿qué mueve las placas tectónicas? O, planteada de otra forma, ¿por qué hay tectónica de placas en la Tierra? A continuación, se incluye el artículo **“Cuántas placas hay en el planeta”** en el que Pedro Alfaro y Carlos Fernández, describen los últimos modelos cinemáticos que integran datos geológicos y geofísicos con datos geodésicos. Estos últimos datos, especialmente los proporcionados por la técnica del GPS, están revolucionando nuestra imagen del mapa de placas tectónicas.

El segundo bloque contiene una colección de cuatro artículos sobre aspectos variados y atractivos de la tectónica de placas. Rubén Díaz-Fernández, en su artículo **“Zonas de sutura: relictos de antiguos océanos y preludio de continentes en colisión”** nos describe las improntas que sobre las rocas dejan procesos como la subducción y posterior colisión de continentes, que son extremadamente duraderas. Estas señales pueden ser observadas y analizadas incluso varios centenares de millones de años después de que se produzcan. Las zonas de sutura son clave para las reconstrucciones paleogeográficas de antiguas placas tectónicas. El segundo artículo de este bloque trata sobre puntos calientes y plumas mantélicas. Aunque son conceptos que se plantearon hace más de cinco décadas, los autores del artículo ponen de manifiesto el debate actual en torno a la movilidad de los puntos calientes, a la morfología y características de las plumas mantélicas, o incluso a la misma existencia de estas plumas. En el artículo **“Plumas mantélicas y puntos calientes: causa-efecto”**, Meritxell Aulinas Juncà, Alejandro Rodríguez-González, José Luís Fernández-Turiel, Francisco José Pérez-Torrado y Juan Carlos Carracedo, resaltan la importancia de la dinámica del manto en la superficie terrestre. La actividad de plumas mantélicas explica grandes provincias ígneas (*LIPs*) y, en un segundo estadio, cadenas de volcanes tanto en corteza continental como oceánica. Juan Díaz-Alvarado y Andrés Folguera nos ofrecen la historia y evolución de una de las zonas tectónicas más interesantes del planeta, el continente Sudamericano. Su trabajo **“Evolución tectónica del continente Sudamericano”** nos describe un límite de placas subductivo que, con breves interrupciones (colisión de terrenos), se ha mantenido desde hace más de 500 millones de años hasta la actualidad. Este segundo bloque se cierra con un trabajo sobre **“Zealandia, el octavo continente”**. Hace unos pocos años, los medios de comunicación nos sorprendieron con la noticia de la existencia de un nuevo continente, Zealandia. Nick Mortimer, del GNS Science de Nueva Zelanda, analiza los principales motivos por los

que esta espectacular extensión de 4.9 Mkm², con un 94% de su superficie sumergida, debe ser considerada un continente desde el punto de vista geológico.

El tercer bloque del monográfico incluye tres artículos sobre los principales orógenos de la península ibérica y su relación con la tectónica de placas. Se han incluido ejemplos de la orogenia varisca (noroeste de la península ibérica), de la orogenia alpina (Pirineos) y de un orógeno activo (Bética). En el primer artículo, **“La sección cortical del orógeno Varisco en el Noroeste de la Península Ibérica”**, Sergio Llana Fúnez, Alberto Marcos, Juan Luis Alonso y Gabriela Fernández Viejo, describen cómo el engrosamiento de la corteza por duplicación de placas tectónicas tuvo consecuencias en el desarrollo del relieve montañoso, utilizando como ejemplo, una de las secciones más conocidas de esta vieja cordillera. En el segundo artículo **“El Pirineo en el marco de la Tectónica de Placas”**, Antonio Casas utiliza una de las cordilleras más y mejor estudiadas del planeta, el Pirineo, para examinar la evolución de las teorías orogénicas en relación con la tectónica de placas. El enfoque que el autor ha dado a este trabajo sirve como acicate para reflexionar sobre los entresijos de las teorías orogénicas y la tectónica global. En el tercer y último artículo del bloque titulado **“La Cordillera Bética: un orógeno activo”**, Carlos Sanz de Galdeano, Jesús Galindo-Zaldívar, María Lourdes González Castillo y Pedro Alfaro, utilizan la región más activa de la península ibérica como ejemplo para mostrar que muchos límites de placa son, en realidad, amplias bandas de deformación, o resultado de la interacción de más de dos placas tectónicas. También utilizan esta cordillera para mostrar el espectacular cambio del relieve del sur peninsular en los últimos diez millones de años.

Finalmente, el cuarto bloque contiene dos propuestas con actividades didácticas. En el primer trabajo titulado **“Poniendo las placas tectónicas en movimiento: ejercicios sencillos de cinemática de placas”**, Carlos Fernández propone una colección de ejercicios de lápiz y papel sobre distintos ejemplos de movimientos de placas en dos y tres dimensiones. Estas actividades facilitan la comprensión de las variaciones temporales en el tamaño de las placas y de sus límites, la reconstrucción de placas ya desaparecidas, o la naturaleza escurridiza del concepto de límite transformante. En el segundo artículo de este bloque **“Contribución de la modelización analógica al estudio de procesos tectónicos de gran escala”**, con el que se cierra este monográfico, Teresa Román Berdiel y Esther Izquierdo Llavall muestran el interés que tienen los modelos análogos para comprender mejor los mecanismos y fuerzas que impulsan los procesos tectónicos. Se presentan los fundamentos de esta técnica tan útil y se describen varios ejemplos de gran interés.

La colección de once artículos se complementa con dos noticias en la sección “La Geología es Noticia” que realzan la gran influencia que la tectónica

de placas ha tenido en el clima de nuestro planeta. En la primera noticia, José A. Álvarez Gómez, Jorge Alonso Henar y José J. Martínez Díaz describen detalladamente la **“Evolución Tectónica de Centroamérica”**, mientras que Fernando Bohoyo, Jesús Galindo-Zaldívar, Adolfo Maestro, Carlota Escutia, Andrés Maldonado, Jerónimo López-Martínez y el Grupo de Investigación Antártica TASMANDRAKE describen el aislamiento de la Antártida debido a la actividad tectónica en su trabajo **“Tectónica de placas y clima: la formación del Paso de Drake (Antártida)”**.

Durante los últimos diez años hemos estado celebrando una notable efeméride. Los artículos científicos que contribuyeron decisivamente a formar el cuerpo doctrinal de la teoría de la tectónica de placas han ido cumpliendo medio siglo desde su publicación. En diciembre de 2019 se ha conmemorado, precisamente, los cincuenta años de la celebración en Asilomar (California) de la histórica 2ª Conferencia Penrose de la Sociedad Geológica de América, en la que la teoría alcanzó el rango de paradigma de las ciencias de la Tierra. Este monográfico pretende mostrar cómo estos últimos años han sido clave para fortalecer, si cabe todavía más y en su plena madurez, a la tectónica de placas como un pilar fun-

damental en la enseñanza de la geología y de las ciencias de la Tierra. Herramientas extraordinarias como el GPS o la tomografía sísmica han impulsado sorprendentes descubrimientos. Pero la historia continúa y futuras revoluciones nos esperan, que vendrán acompañadas de la mano del desarrollo de nuevas técnicas y de la mejora de nuestro conocimiento del interior terrestre. Y, claro está, del estudio comparativo de otros cuerpos planetarios.

Queremos finalizar la presentación de este monográfico agradeciendo el trabajo y esfuerzo de las personas que han elaborado los artículos y la labor anónima pero imprescindible de todas las que, con su trabajo de revisión, han mejorado sustancialmente la calidad final del monográfico. Gracias a todas ellas, la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra ofrece a sus lectores y lectoras este monográfico, que muestra a la tectónica de placas como una teoría integradora sobre el funcionamiento del planeta. Deseamos que disfrutéis de su lectura y que los recursos ofrecidos os sirvan para que vuestro alumnado descubra el sorprendente dinamismo de nuestro planeta.

Carlos Fernández y Pedro Alfaro
Coordinadores del monográfico