

LA MAQUETA COMO RECURSO PARA EXPLICAR LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS



JUAN NAVARRO DE TUERO (DPTO. BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA)
&
JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ (DPTO. FÍSICA Y QUÍMICA)

I.E.S.DORAMAS (35009565@gobiernodecanarias.org)

C/Aragón,6
35.420-Moya (Las Palmas)

AGRADECIMIENTOS

Queríamos agradecer a la editorial de esta revista la posibilidad que nos brinda de poder difundir la metodología que hemos utilizado para explicar a nuestros alumnos la Teoría de la Tectónica de Placas, que con frecuencia les resulta de difícil comprensión. Nos parece que el método seguido motiva al alumnado, ya que ellos mismos son los que elaboran las maquetas y las han de interpretar al resto de sus compañeros. Aprendieron muchísimo, y no sólo de Ciencia, sino también de lo que significa trabajar en grupo y resolver problemas.

También queremos mostrar nuestro agradecimiento a nuestras familias que han tenido que soportar nuestras búsquedas de cajas de zapatos, pegamento, tijeras, pinturas, etc. para la elaboración de las maquetas.

ÍNDICE

I. ANTECEDENTES (4)

II. ¿QUÉ NOS MOTIVÓ A ELEGIR ESTA IDEA? (5)

III. DESCRIPCIÓN (6)

- a) Metodología y funcionamiento básicos.
- b) Metodología y funcionamiento en detalle. (8)
 - T^a de la deriva continental (8)
 - ¿Cuál es la causa del desplazamiento de los continentes? (10)
 - T^a de la extensión del fondo oceánico (11)
 - ¿Nueva litosfera en las dorsales, implica que la Tierra crezca? (13)
 - ¿Dónde ocurren los terremotos y los volcanes? (13)
 - ¿Qué mueve a las placas? (15)
 - La T^a de la Tectónica de Placas (16)
 - Otras consecuencias de los movimientos de placas (17)
 - a) Consecuencias visibles a gran escala de la T^a de la Tectónica de Placas: Formación de las cordilleras (orógenos) y su relación con los volcanes y terremotos. (17)
 - b) Consecuencias visibles a menor escala de la T^a de la Tectónica de Placas: Pliegues y fallas. (19)

IV. PERSPECTIVAS DE FUTURO (21)

V. RESUMEN (23)

VI. BIBLIOGRAFÍA (24)

I. ANTECEDENTES

Sobre esta teoría como tantas otras, existe gran cantidad de material publicado. Existía multitud de datos y observaciones realizadas en cuanto a composición de las rocas, fósiles encontrados, paleoclimas y bordes de costas aparentemente “encajables” entre los diferentes continentes, que sirvieron de precedentes para que A. Wegener publicara en 1915 el libro *El origen de los continentes y los océanos*. En él defendía la idea de que en el pasado todas las tierras emergidas estuvieron unidas formando un gran continente llamado Pangea, que se dividió dando lugar a fragmentos que se desplazaron y originaron a los actuales continentes. Así nació la primera teoría movilista bien fundamentada. Sin embargo, el hecho de que Wegener desconociese cuál era la causa de los desplazamientos continentales supuso que su teoría fuese tachada de pura fantasía.

En 1929 A. Holmes indica que el manto terrestre se encuentra agitado por corrientes de convección, y en los años '50 resurge el movilismo merced a los avances tecnológicos. El sonar permitió conocer mejor la topografía de los fondos oceánicos y descubrir la existencia de un relieve submarino de más de 60.000km de longitud, la dorsal oceánica.

En 1964, E. Bullard comprueba que el encaje de los continentes es casi perfecto si se le añade la plataforma continental.

En 1965 T. Wilson introdujo el concepto de placa para referirse a grandes fragmentos de la litosfera que se movían de forma unitaria.

En 1968 se desarrolla completamente la teoría de la tectónica de placas. Según esta teoría la litosfera está dividida en fragmentos o placas, que se mueven debido a la agitación térmica del interior terrestre, y esos movimientos originan vulcanismo, sismicidad, cordilleras y cambios en la distribución de tierras y mares.

II. ¿QUÉ NOS MOTIVÓ A ELEGIR ESTA IDEA?

Nuestra experiencia nos dice que cuando explicamos esta parte de geología durante el primer trimestre, y una vez que la consiguen entender, esta teoría les cautiva, puesto que explica multitud de fenómenos que uno alguna vez se cuestionó y para los que nunca obtuvo una explicación clara. ¿Cómo se forman las montañas y cordilleras? ¿Por qué se rompen las montañas unas veces y otras, sencillamente se pliegan? ¿Podría salir un volcán de aquí? Teníamos la falsa creencia de que los terremotos pueden suceder en cualquier sitio. Y por supuesto, habíamos oído, pero no creído del todo, que los continentes se movían y mucho menos que los océanos se extendiesen o se contrayesen.

Desde luego, la Teoría de la Tectónica de Placas sí que es una teoría tan global que bien merece llamarse “TEORÍA” con mayúsculas. Y además, es esa gran desconocida que a tanta gente –como a nuestros alumnos hasta el otro día- le suena a chino.

La teoría es muy atractiva, pero no es fácil de asimilar. Exige cierto grado de abstracción. Además, abarca tantos campos que es como, por así decirlo, si todo estuviera muy disperso. Y es allí donde nosotros **aportamos nuestra pequeña innovación: agrupamos todos los datos que se conocen en una “multimaqueta”, que permite lograr esa visión de conjunto tan necesaria para poder entenderla.**

Creemos que su existencia facilitará sustancialmente las futuras explicaciones en el aula, su diseño tridimensional hace más inteligibles los procesos que ocurren y a la vez amenos.



Fig.0.- Maqueta multimodular de la Tª de la Tectónica de Placas, donde se exponen los antecedentes de esta teoría, su enunciado y sus consecuencias. Varios módulos son interactivos. Se aprecia en los laterales los paneles explicativos de cada módulo.

III. DESCRIPCIÓN

Mediante esta maqueta, subdividida en múltiples módulos, tratamos de ilustrar el paso desde la **TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL** hasta la **TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS**.

a) **METODOLOGÍA Y FUNCIONAMIENTO BÁSICOS.**

Empleamos una metodología lo más activa posible, donde el espectador interactúa con las maquetas, ya sea realizando puzzles, calentando agua en un recipiente y añadiéndole un colorante o tomando en sus manos una esponja o unos bloques de poliestireno y presionándolos por los laterales. Todo ello con la idea de que se involucre y visualice la teoría sintiéndola en sus manos.

La variedad de maquetas 3-D facilita la comprensión. La redacción de los puntos básicos de la teoría permite fijar las ideas principales y su relevancia en nuestras vidas cotidianas, aunque los procesos mostrados ocurran normalmente en tiempo geológico.

Seguimos la cronología de las investigaciones, arrancando con las aportaciones de Wegener y su **teoría de la deriva continental**, apoyada básicamente en cuatro argumentos. Éstos son explicados con ayuda de cuatro rompecabezas que habrá que completar interactivamente según el criterio en cuestión, ya sea geográfico (encaje de costas), geológico (encaje de cordilleras y formaciones geológicas), paleontológico (encaje de fósiles) o paleoclimático (encaje de climas pretéritos).

¡Sorpresa! Da lo mismo la vía que se utilice, el rompecabezas que se obtiene es siempre el mismo. ¡¡Los continentes debieron de estar unidos en el pasado!! Como ahora no los están se deduce que ¡¡se mueven!! (pasivamente) o que algo los mueve (activamente).

Seguimos con los descubrimientos de la década de los 40 sobre los fondos oceánicos: estructura, edad y potencia de los sedimentos, disposición de los mismos, paleomagnetismo. Estos datos sirven para introducir la **teoría de la expansión de los fondos oceánicos** que mostramos mediante tres maquetas dispuestas a modo de escalera. Con ellas describimos paso a paso la existencia de las dorsales y cómo la misma explica todo lo observado en el fondo marino. La coloración de las maquetas y su estructura 3-D facilita enormemente su comprensión.

Si por las dorsales aumenta la litosfera oceánica, tendrá que existir otro lugar por donde ésta desaparezca, ya que si no nuestro planeta sería cada vez más y más grande. Se trata de las fosas de subducción. Para visualizar las mismas utilizamos una vez más una maqueta.

Las observaciones de dónde ocurren la inmensa mayoría de los terremotos y de las erupciones volcánicas las señalamos en un globo terráqueo real y plasma de forma sorprendente que su distribución no es homogénea y, además, suelen coincidir ambos procesos a la vez.

Esta distribución divide a la litosfera en una serie de fragmentos rígidos denominados **placas litosféricas**. Las siete de mayor tamaño se ven tanto en el globo terráqueo como en el mapa 2-D que se aporta. Los bordes de placa serían las **dorsales oceánicas**, donde

se genera nueva litosfera; las **zonas de subducción**, donde se destruye litosfera y las **fallas transformantes**, donde ni se crea ni se destruye litosfera.

Pero, ¿cuál es el motor del desplazamiento de las placas? Se trata de las corrientes de convección y del tirón gravitatorio. Elaboramos una maqueta con 4 bolas semiesféricas de poliestireno o corcho blanco que simulan el interior de la Tierra en cuatro momentos sucesivos. Pintamos el núcleo y una serie de flechas que visualizan el recorrido que realizan las corrientes de convección en el manto.

Para afianzar este proceso de una manera más experimental, con ayuda de una vela, un tarro de cristal transparente con agua y colorante simulamos el mismo proceso, con la ventaja de que permite ver el proceso *in vivo*. Al resto de compañeros de la clase, esta idea les pareció genial por su sencillez y claridad.

Llegados a este punto, disponíamos ya del desarrollo completo de la **teoría de la tectónica de placas**, con lo que nos pareció crucial enunciar sus ideas básicas, que plasmamos en un documento breve con seis puntos destacados.

Como quiera que esta teoría además de explicar los movimientos de los continentes y de los océanos, también da respuesta a otros procesos geológicos, se denomina también **Teoría de la Tectónica Global**. Así, explica procesos de gran calibre, como el origen de las cordilleras y su relación con los terremotos y volcanes y otros de calibre menor, como la formación de pliegues y fallas,

Cómo se forman las cordilleras (orogénesis) resulta *a priori* una cuestión difícil de explicar, pero no con la ayuda de la teoría de la tectónica de placas. Construimos dos maquetas con cajas de zapatos para mostrar las dos vías posibles que se conocen de orogénesis: por convergencia oceánica-continental (como ocurre en la cordillera de los Andes) y por convergencia continental-continental (como es el caso de la cordillera del Himalaya, de los Alpes o de los Pirineos). En el primer caso resaltamos el proceso de subducción; en el segundo, el proceso de obducción de una placa continental sobre la otra.

Con la idea de hacer más visible la obducción, volvimos a mostrar una actividad interactiva, mediante la cual se ve cómo un bloque de corcho que choca contra otro de madera provoca el cabalgamiento de uno sobre el otro con el consiguiente incremento de altitud mediado por un proceso de isostasia.

Las placas se mueven y aparecen constantemente fuerzas de compresión y de distensión. Las primeras pueden provocar la aparición de pliegues en el terreno siempre y cuando el material sobre el que actúen se comporte de un modo plástico. Esto lo simulamos con una especie de esponja – sería el terreno con sus respectivos estratos – que comprimimos por los lados. Inmediatamente se pliega quedando claro lo fácil que se explican así dichos fenómenos naturales.

Si las fuerzas que actúan superan el umbral de rotura de las rocas éstas se fragmentarán y darán lugar a una falla, que será directa si las fuerzas involucradas son de tensión, o indirecta, si las fuerzas son de compresión. Unos corchos de poliestireno rectangulares nos valen para mostrar *in vivo* ambos procesos.

b) METODOLOGÍA Y FUNCIONAMIENTO EN DETALLE.

En primer lugar exponemos las aportaciones de Wegener (1915) con su **TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL**, según la cual en el pasado todos los continentes estuvieron unidos formando un enorme “macrocontinente” llamado **Pangea**, que se dividió, originando fragmentos que se desplazaron “a la deriva” y que dieron lugar a los continentes actuales. Ésta supuso la primera teoría movilista, sustentada en una buena cantidad de argumentos, datos y observaciones.

Entre los argumentos esgrimidos por Wegener destacan:

Argumentos geográficos:

Se basa en la forma de los continentes, que permitía encajarlos como las piezas de un rompecabezas.

Se le objetó que el ajuste no era perfecto, ya que había solapamientos y huecos entre las piezas. Wegener argumentó que los continuos cambios del nivel del mar y la erosión costera impedían que el ajuste fuese perfecto.

Además, investigaciones de los fondos marinos en la década de los ´60, muestran que los continentes no acaban donde termina la zona emergida, sino más allá, en lo que se conoce como plataforma continental. Si tenemos ésta en cuenta, el encaje de los continentes es casi perfecto. (Fig.1)



Fig.1.- Se muestra lo bien que encajan los continentes unos con otros, como si se tratase de piezas de un rompecabezas, máxime si se tiene en cuenta la plataforma continental.

Argumentos geológicos:

Algunas cordilleras y formaciones geológicas tienen continuidad a uno y otro lado del Atlántico, hecho del que se Wegener se percató. Por ejemplo, el casquete glacial (en azul en la Fig.2), afectó hace 300 millones de años a todos estos continentes, ¡¡incluida la India!! Esto no se puede explicar si no es admitiendo que en algún momento en el pasado estos continentes estuvieron juntos y a unas latitudes mucho mayores a las actuales.

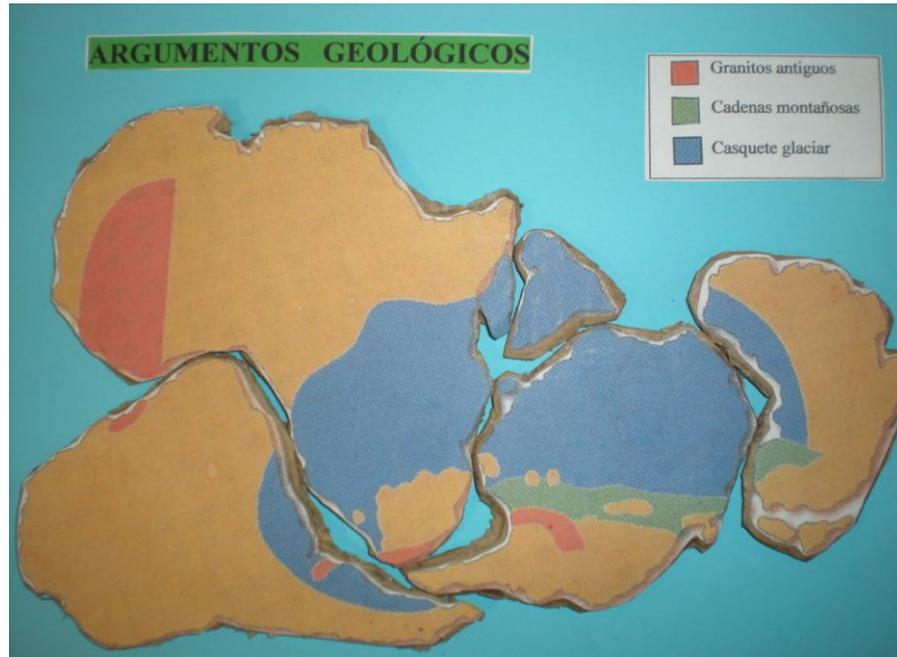


Fig. 2.- Obsérvese la continuidad en las formaciones geológicas (casquete glaciario o granitos antiguos, en azul y rojo respectivamente) y las cadenas montañosas (en verde) entre los diferentes continentes. Su existencia sólo se explica admitiendo que estuvieron unidos en el pasado.

Argumentos paleontológicos:

Wegener estudió cómo se distribuían los distintos fósiles entre los distintos continentes y comprobó que organismos de la misma especie se encuentran en lugares muy distantes en la actualidad. Su presencia difícilmente se podía explicar a no ser que en la época en que vivieron estuviesen estos lugares próximos.

Esto ocurre por ejemplo con el *Mesosaurus*, reptil que vivió hace 270 M.a. en los ríos de Sudáfrica y Sudamérica, con el *Lystrosaurus*, reptil mamiferoide que vivió en África, India y la Antártida o con los *Glossopteris*, plantas que vivieron en Sudamérica, África, India, Antártida y Australia (Fig.3).

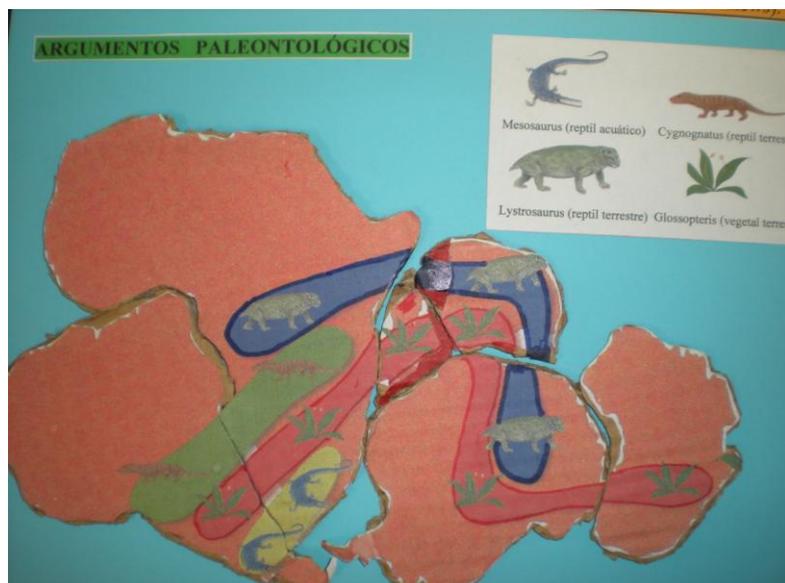


Fig.3.- La distribución de fósiles en los continentes sugiere que éstos debieron de estar unidos en el pasado.

Argumentos paleoclimáticos:

Wegener utilizó ciertas rocas sedimentarias como indicadores de los climas en los que se originan: tillitas (clima glacial- *en azul en la Fig.4*), yeso y halita (clima árido- *en amarillo en la Fig.4*), carbones (clima tropical y húmedo- *en verde en la Fig.4*). Dibujó mapas de estos climas antiguos y concluyó que su distribución resultaría inexplicable si los continentes hubiesen permanecido en sus posiciones actuales.



Fig.4.- Existen determinados tipos de rocas que sólo se pueden formar en determinados tipos de climas. Si se estudia su distribución mundial se observa una continuidad fácilmente explicable si los continentes hubiesen estado unidos en algún momento.

¿Cuál es la causa del desplazamiento de los continentes?

Wegener no supo explicar convincentemente cuál era la causa de que los continentes se movieran, por lo que sus ideas fueron tachadas de imposibles.

En la década de los '40, por intereses militares (para tener mapas topográficos del océano), económicos (se sospechaba de importantes yacimientos petrolíferos en el subsuelo marino) y científicos se exploraron los fondos oceánicos.

El estudio desveló tres grandes sorpresas:

- Existe una dorsal oceánica en el océano Atlántico de gran longitud (65000 Km) que se eleva 2 ó 3 Km sobre la llanura abisal.
- El espesor medio de los sedimentos está en torno a ¡¡tan sólo 1,2 Km, frente a los 20 Km esperados!! Además, ¡¡era sorprendente que sobre la dorsal no había

sedimentos!! Éstos aumentaban su potencia simétricamente a medida que nos alejamos de la dorsal.

- Las rocas del fondo oceánico son extremadamente jóvenes ($t < 180$ m.a.!!), frente a algunas rocas continentales (de hasta 3800 m.a.). En las dorsales los basaltos tienen 0 millones de años, es decir, están recién formados, y a medida que nos alejamos de ellas, su antigüedad se incrementa simétricamente, pero en ningún caso supera los 180m.a. (Fig.5).

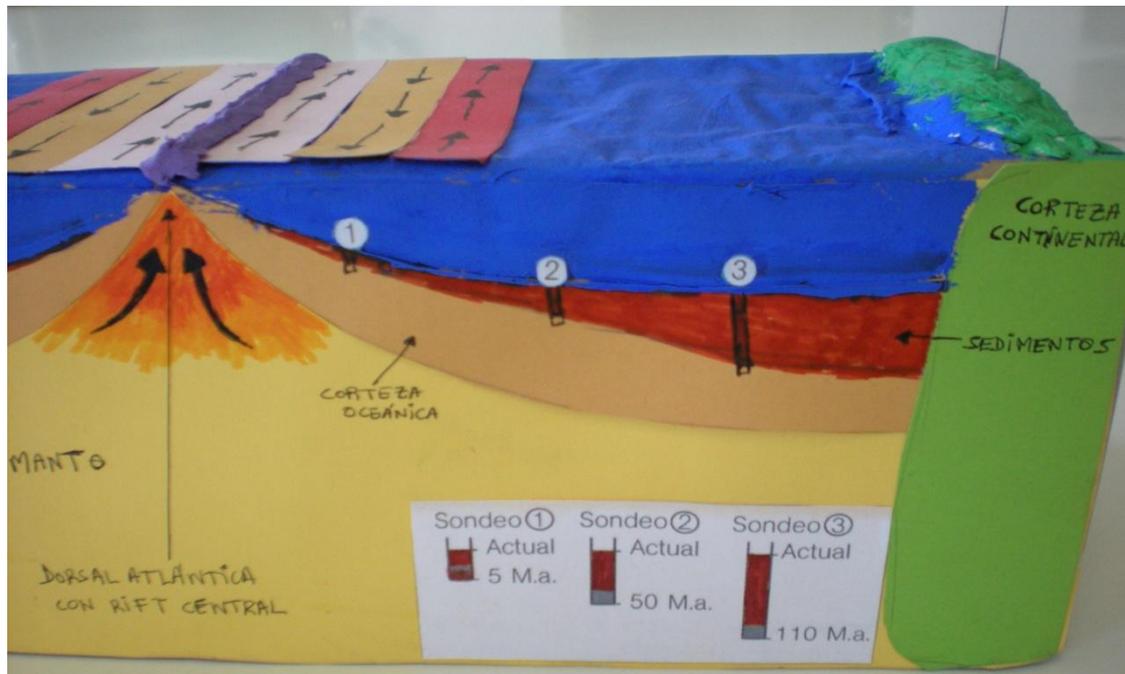


Fig.5.- Los sondeos realizados en el subsuelo marino muestran que tanto la potencia de los sedimentos como su edad aumentan a medida que nos alejamos de la dorsal. Sobre ésta no existen sedimentos. Los sedimentos más antiguos no superan los 180 m.a.

Estos datos sugieren que no sólo se mueven los continentes, sino que también lo hacen los océanos. En 1963 se formuló la **TEORÍA DE LA EXTENSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO** (Vine & Matthews).

Según esta teoría, las **dorsales oceánicas** son zonas en las que se crea nueva litosfera oceánica a partir de materiales magmáticos, procedentes del interior terrestre, y desde ahí se extienden a ambos lados (Fig.6).

Esto explica que las rocas en las dorsales sean actuales, así como que la edad se incrementa al alejarse de la dorsal. Por otra parte, cuanto más antiguo es un fondo oceánico más tiempo llevan depositándose materiales, por lo que cabe esperar que los sedimentos tengan mayor potencia. También explica la simetría detectada.

También se demostró que los basaltos de la corteza oceánica muestran una llamativa magnetización en bandas paralelas al eje de la dorsal (**bandeado magnético**), que alternan la polaridad normal (la actual) con la polaridad invertida (Fig.6).



Fig.6.- Extensión del fondo oceánico. El magma que asciende por la dorsal al enfriarse se solidifica, quedando los cristales de magnetita orientados con la polaridad vigente en ese momento. A medida que sale más magma, la litosfera se extiende a ambos lados de la dorsal, y los cristales de magnetita recogen la polaridad en ese momento existente, que es invertida. El proceso se repite una y otra vez, quedando grabado en los minerales el campo magnético existente.

En la actualidad, la utilización de **satélites y radiotelescopios** permite medir, por ejemplo, la distancia que hay entre Madrid y Nueva York con una precisión milimétrica (Fig.7). De este modo se ha comprobado que ambos continentes se separan a una velocidad de 2,2 cm/año.

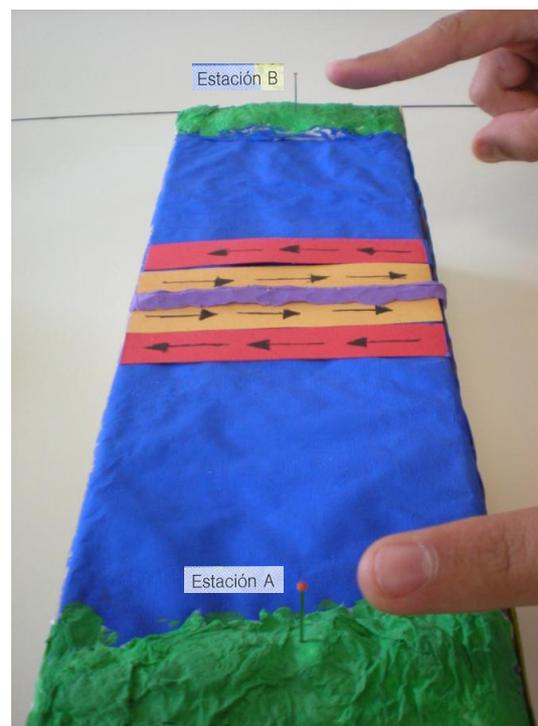


Fig.7.- Mediante el sistema SLR (Satellite Laser Ranging System) desde una estación A en una placa litosférica se lanza un rayo láser que, tras ser reflejado por un satélite, es recibido en otra estación B situada en una placa diferente. Se detectan hasta movimientos milimétricos que puedan producirse en las placas.

¿Nueva litosfera en las dorsales, implica que la Tierra crezca?

Habida cuenta de que la Tierra es redonda, si en las dorsales se está creando nueva litosfera oceánica, debe haber otros lugares del océano en los que la litosfera se destruya al introducirse de nuevo en el interior terrestre. Son las **zonas de subducción**, que suelen localizarse junto a las **fosas marinas** más profundas (Fig.8).



Fig.8.- Aquí se puede apreciar cómo la litosfera oceánica (de color marrón claro y lila suave) subduce, esto es, se introduce bajo la litosfera continental (color blanco y marrón claro a la derecha) con una determinada inclinación (plano de Benioff).

¿Dónde ocurren los terremotos y volcanes?

Si representamos en el globo terráqueo los lugares en los que se han producido recientemente terremotos de importancia o erupciones volcánicas observamos que no se distribuyen homogéneamente por la superficie terrestre y que en muchos lugares coincide la actividad sísmica (puntos azules en la Fig.9) con la volcánica (puntos rojos en la Fig.9).



Fig.9.- Los terremotos (puntos azules) y las erupciones volcánicas (puntos rojos) muestran una distribución heterogénea a lo largo y ancho de nuestro planeta. En muchos lugares coinciden ambas actividades.

Esto nos permite concluir que hay zonas geológicamente muy activas, mientras que otras son muy estables. Por otro lado, hay lugares en los que grandes masas de materiales deben moverse con respecto a otras (en las zonas de fracturas).

Esta distribución de terremotos y volcanes divide a la litosfera en una serie de fragmentos rígidos denominados **placas litosféricas**. Los bordes de placa serían las **dorsales oceánicas**, donde se genera nueva litosfera; las **zonas de subducción**, donde se destruye litosfera y las **fallas transformantes** donde ni se crea ni se destruye litosfera.

Los bordes de placa delimitan siete grandes placas litosféricas: Euroasiática, Africana, Indoaustraliana, Pacífica, Norteamericana, Sudamericana y Antártica. Entre ellas se sitúan una docena de placas de menor tamaño, como la de Nazca, la del Caribe o la Árabe (Fig.10).

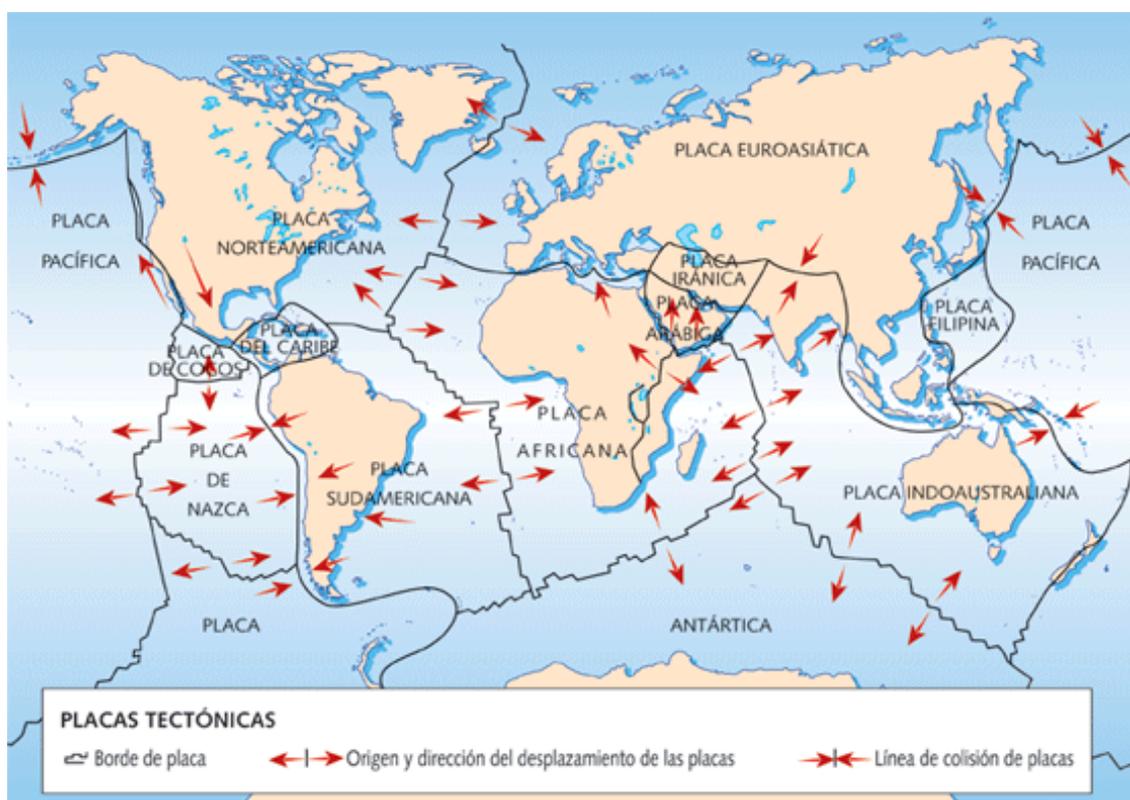


Fig.10.- Localización de las siete grandes placas tectónicas, así como de otras de menores dimensiones. La disposición de las flechas indica a su vez si los bordes son constructivos (dorsales; flechas divergentes), destructivos (zonas de subducción; flechas convergentes) o neutros (fallas de transformación; flechas en paralelo en sentido opuesto).

¿Qué mueve a las placas?

Las **corrientes de convección** que se generan en el manto debido a la energía térmica del interior terrestre causan el movimiento de las placas. El núcleo terrestre, sometido a elevadas temperaturas (3500-5000°C) calienta los materiales del manto, que se dilatan y ascienden. Al entrar en contacto con la litosfera se enfrían, aumentan su densidad y se hunden, favorecidos por el **tirón gravitatorio**, completando así el ciclo de las corrientes de convección (Fig.11).

En el laboratorio mostramos experimentalmente dichas corrientes de convección con ayuda de una fuente de calor –vela-, que haría las veces de núcleo y un recipiente de cristal con agua, que representaría al manto. Al introducir un líquido con colorante en el centro del frasco se observa cómo el tinte realiza los movimientos descritos (Fig.12).

Fig.11.- Esta maqueta representa en cuatro fases el movimiento de las corrientes de convección. El núcleo (en rojo) calienta al manto (en amarillo), que asciende hasta la superficie. Allí diverge hacia los lados, provocando el movimiento de las placas tectónicas rígidas. Al enfriarse, la litosfera oceánica subduce y se vuelve a calentar en el interior terrestre, cerrándose el ciclo.



Fig.12.- En el laboratorio mostramos experimentalmente las corrientes de convección con ayuda de una fuente de calor –vela-, que haría las veces de núcleo y un recipiente de cristal con agua, que representaría al manto. Al introducir un líquido con colorante en el centro del frasco se observa cómo el tinte realiza los movimientos descritos en la Fig.11.

La Teoría de la Tectónica de Placas.

En 1968 se redacta la actual **TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS**, que señala que la litosfera se mueve y explica cuáles son las causas y las consecuencias de sus movimientos. Sus ideas básicas son las siguientes:

1. La litosfera se encuentra dividida en un conjunto de fragmentos rígidos denominados placas.
2. Los límites o bordes de placas litosféricas pueden ser de tres tipos: dorsales, zonas de subducción y fallas transformantes.
3. Las placas litosféricas se desplazan sobre los materiales plásticos del manto sublitosférico.
4. Los desplazamientos de las placas litosféricas son causados por la energía térmica del interior terrestre ayudada por la energía gravitatoria.
5. La litosfera oceánica es renovada continuamente, mientras que la litosfera continental tiene un carácter más permanente.
6. A lo largo de la historia de la Tierra ha cambiado no solo la posición de las placas litosféricas o su forma y tamaño, sino también el número de ellas.

Otras consecuencias de los movimientos de placas.

La teoría de la tectónica de placas además de explicar los movimientos de los continentes y de los océanos, también da cuenta de otros procesos geológicos como el origen y la distribución de los volcanes y los terremotos o el origen de las cordilleras. De ahí que también se denomine **TEORÍA DE LA TECTÓNICA GLOBAL**.

a) Consecuencias visibles a gran escala de la Tectónica de Placas:

Formación de las cordilleras (orogénesis) y su relación con los volcanes y terremotos.

Las cordilleras, como los Pirineos, el Himalaya o los Andes, se denominan orógenos o cordilleras de plegamiento. Pero, ...

¿Cómo se forma una cordillera?

Puede ocurrir de dos maneras:

****Por convergencia oceánica-continental.**

En las zonas de subducción, la litosfera oceánica, delgada y densa, se introduce bajo la litosfera continental, más gruesa y de menor densidad. La presencia de agua en la litosfera subducida y el calor generado por la fuerte fricción de las placas favorecen la fusión parcial de las rocas. Los magmas originados ascienden; algunos alcanzan la superficie produciendo actividad volcánica (Fig.13).

La fuerte fricción de las placas genera también terremotos, que según la profundidad del foco sísmico, se clasifican en someros (profundidad <70 km), intermedios (entre 70 y 300 km) y profundos (entre 300 y 700 km) (Fig.13).

Así se ha originado, por ejemplo, la cordillera de los Andes.



Fig.13.- El choque producido por la convergencia de una litosfera oceánica con una continental provoca que la más densa – la litosfera oceánica-, subduzca bajo la litosfera continental. La fricción generada entre las placas no sólo promueve la aparición de seísmos sino que también aumenta la temperatura de las rocas, que tras fundirse pueden ascender provocando erupciones volcánicas.

**** Por convergencia continental-continental.**

Si la placa que subduce tiene un tramo oceánico y otro continental tras él, una vez que se ha introducido toda su litosfera oceánica se produce el encuentro de los dos continentes. Como la litosfera continental es lo suficientemente ligera como para no subducir, se produce una colisión continental, que origina el cabalgamiento de un continente sobre el otro (**obducción**) (Fig.14). Así se han originado las cordilleras del Himalaya y de los Alpes.



Fig.14.- En la foto superior se aprecia cómo una masa continental (a la izquierda; la India) se dirige hacia otra (a la derecha; el Tíbet) provocando la subducción de la cuenca oceánica. Una vez que ésta desaparece (foto inferior), ambas litosferas continentales colisionan, sin que ninguna subduzca, con lo que se produce el cabalgamiento de una sobre otra y con ello la aparición de la cordillera del Himalaya.

La situación es similar a lo que le ocurre a un corcho que tenemos en el agua; si se le introduce otro bajo él, subirá (Fig.15).

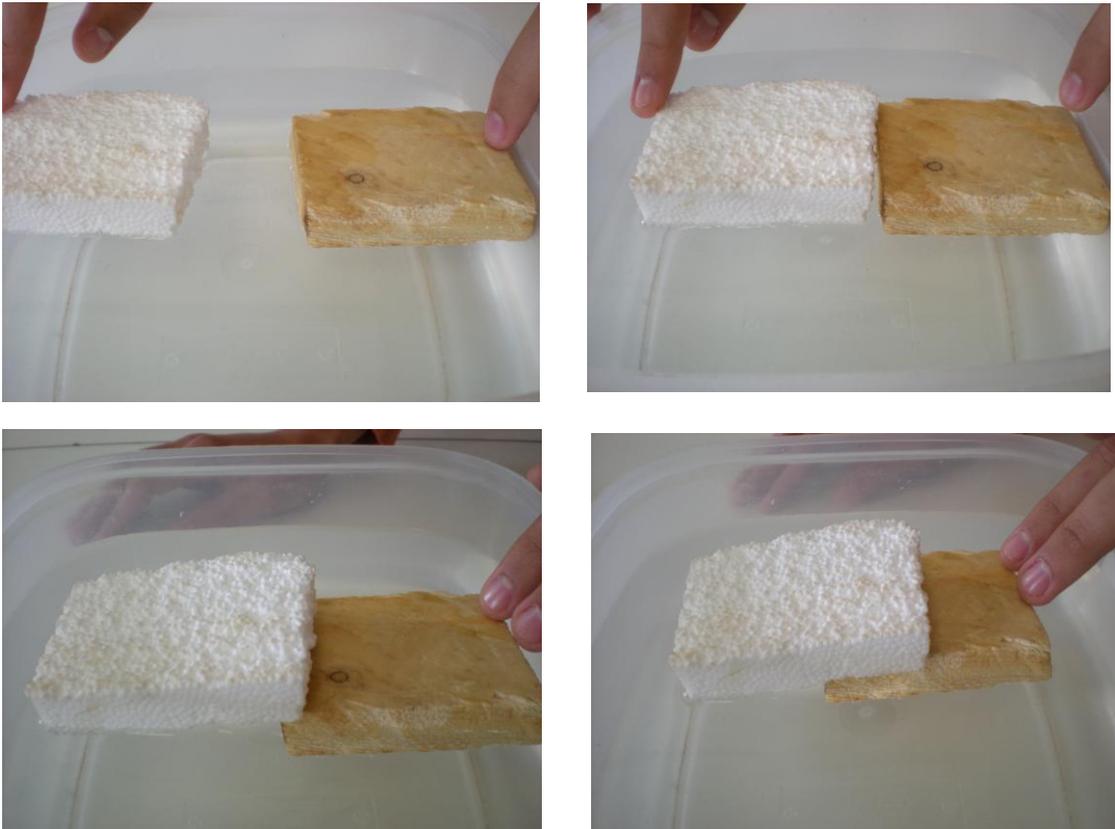


Fig.15.- En un recipiente con agua colocamos un bloque de corcho y otro de madera que simulan sendas litosferas continentales (foto superior izquierda). Cuando colisionan (foto superior derecha), ninguna subduce, pero sí se produce el cabalgamiento de una –la más ligera (corcho blanco)- sobre la otra – la más densa (bloque de madera) (figura inferior izquierda). La consecuencia por el principio de la isostasia, es que uno de los dos bloques se eleva, hecho que simula la formación y ascenso de las cordilleras (figura inferior derecha).

b) Consecuencias visibles a menor escala de la Tectónica de Placas: Pliegues y fallas.

Los **pliegues** son ondulaciones que se originan en las rocas al ser sometidas a esfuerzos de compresión. Obsérvese en la Figura 16 cómo se pliegan los estratos.

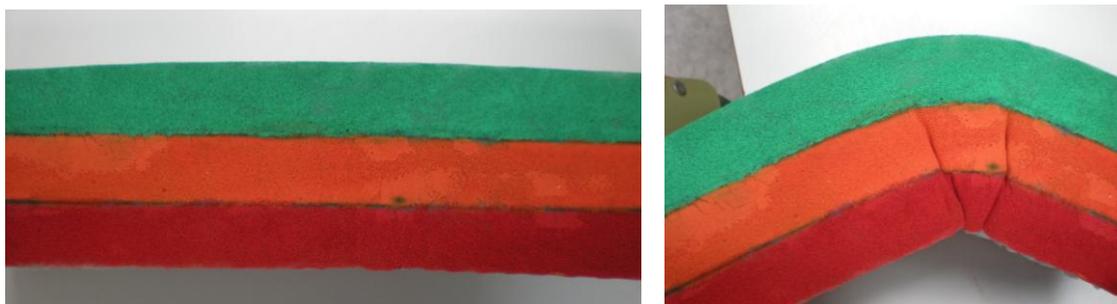


Fig.16.- Un terreno con unos determinados estratos (rojo, naranja y verde) puede sufrir un plegamiento si se ve sometido a esfuerzos de compresión y los materiales de que constan tienen un comportamiento plástico.

La **fractura** es la ruptura que sufre una roca tras someterse a un esfuerzo superior a su límite de rotura. Se diferencian dos tipos: las diaclasas y las fallas. En las diaclasas los bloques no se desplazan uno con respecto al otro; en las fallas sí. Estas últimas pueden ser de tipo normal o directa, inversa y de desgarre (Fig.17).

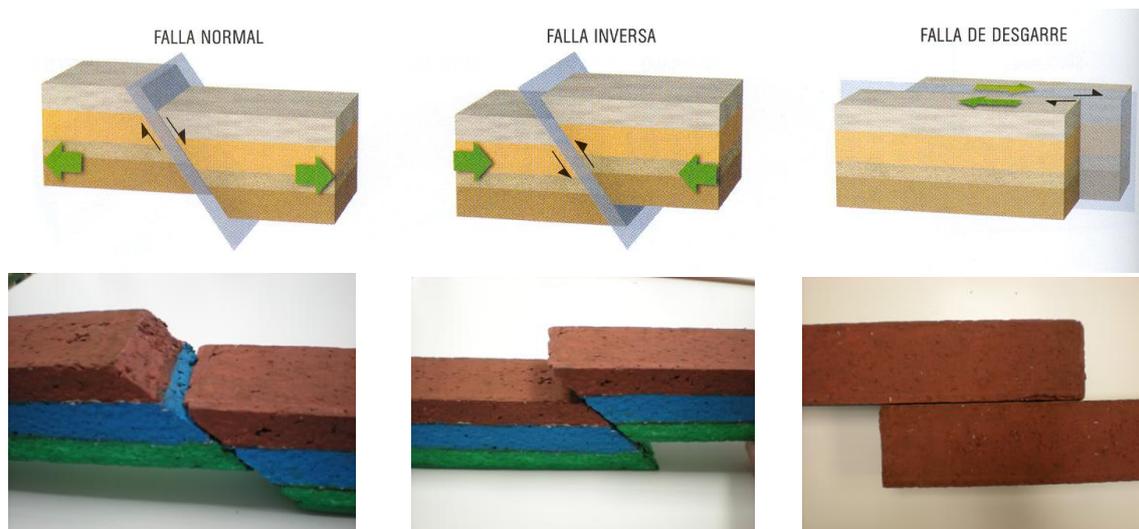


Fig.17.- Representación con dibujos (imagen superior) y maquetas (imagen inferior) de los tres tipos de fallas que hay. En la falla normal el plano de falla buza hacia el labio hundido. Es provocada por esfuerzos de tensión y genera un aumento de la superficie del terreno (imágenes de la izquierda). En la falla inversa el plano de falla buza hacia el labio levantado. Se origina por esfuerzos de compresión y produce una disminución en la superficie del terreno (imágenes centrales). La falla de desgarre surge por el desplazamiento relativo de los bloques (imágenes de la derecha).

Concluimos afirmando que esta teoría, hoy por hoy, da buena cuenta de infinidad de fenómenos que ocurren en la naturaleza, entre los que destacan:

1. La localización mayoritaria de terremotos y volcanes
2. El movimiento de los continentes y de los océanos, con sus causas
3. La formación de cordilleras así como
4. de pliegues y fallas en el terreno.

En cuanto a las aplicaciones futuras de la teoría, véase el apartado correspondiente.

IV. PERSPECTIVAS DE FUTURO

En cuanto a las **aplicaciones inmediatas** de nuestra maqueta, creemos que puede servir como una *herramienta didáctica original y útil* para explicar en el aula la teoría de la tectónica de placas. Sus maquetas tridimensionales y sus módulos interactivos facilitan dicho fin, a la par que al ser tan completa permite entender de dónde viene, en qué consiste y hacia dónde nos lleva esta teoría.

En cuanto a las **perspectivas presentes y futuras de esta teoría** figuran, con diferencia, el poder localizar en nuestro planeta la mayoría de aquellas zonas geológicamente inestables en cuanto a las actividades sísmicas y vulcanológicas. Frecuentemente, ambos procesos provocan catástrofes que causan numerosas víctimas y cuantiosas pérdidas económicas.

Para minimizar dichos riesgos geológicos habría que aplicar las medidas de predicción y prevención correspondientes. Entre éstas figuran la elaboración de mapas de riesgo sísmico y volcánico, la construcción de edificios sismorresistentes, la elaboración de un programa de Protección Civil para situaciones catastróficas o la información a la población de las medidas a tomar ante una catástrofe.

Otro aspecto interesante a considerar a escala geológica es determinar hacia dónde se mueven las diferentes placas y con ellas los continentes. Esto es, podemos intentar averiguar cómo derivarán los continentes en un futuro. Por ejemplo, dentro de 50 M.a., España estará a la misma latitud que Inglaterra en la actualidad y para entonces los ingleses se encontrarán mucho más cerca del polo norte; Australia dejará de ser nuestras antípodas y África se fragmentará en dos (Fig.18).



Fig.18.- Representación de la localización actual de los continentes (foto izquierda) y la previsible dentro de 50 M.a. (foto derecha).

El movimiento de los continentes hará que aparezcan mares y desaparezcan océanos. Regiones que actualmente son costeras podrán quedar en el interior en el futuro y viceversa. Se verán afectadas las corrientes marinas y con ello la climatología del planeta. Y todo esto se podrá predecir en buena medida. Eso sí, tendrá que pasar mucho tiempo para que todo esto ocurra.

A continuación y a título especulativo señalamos otras predicciones más detalladas que figuran en la red sobre cuál será la localización de los continentes dentro de 50 M.a, 150 M.a. y 250 M.a., respectivamente (Fig.19).

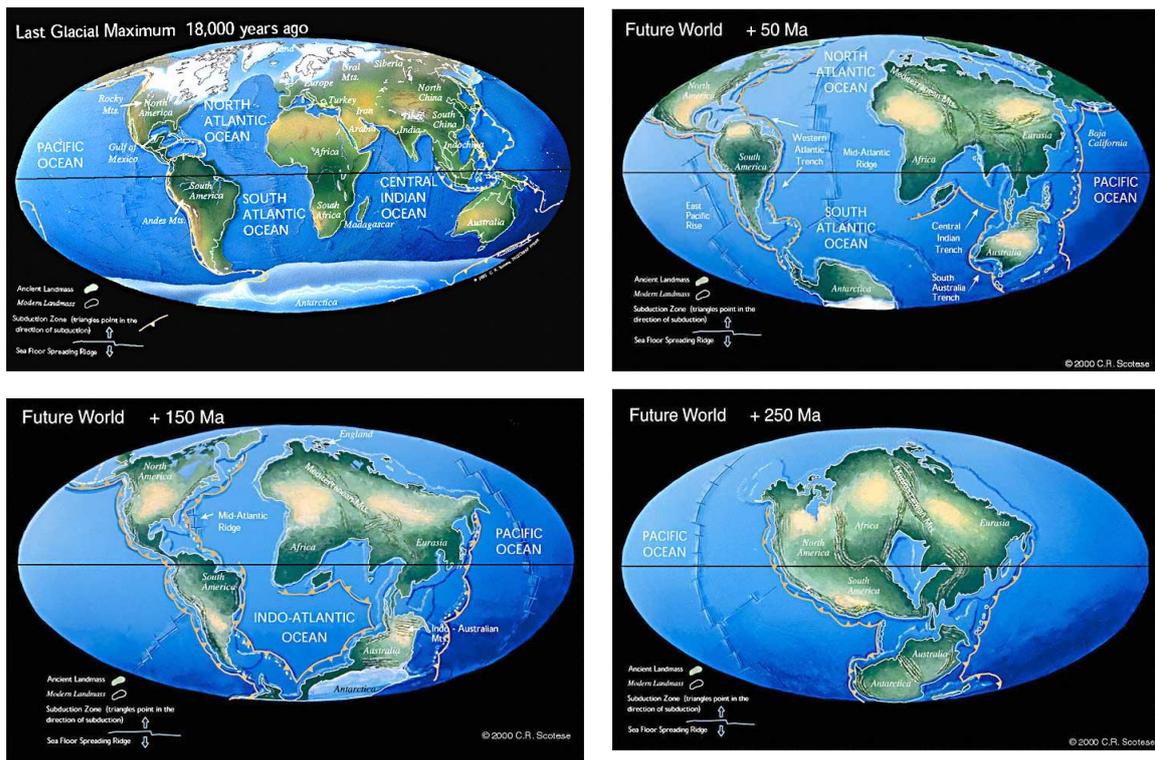


Fig.19.- Representación más detallada de la localización de los continentes en la actualidad (foto superior izquierda), dentro de 50 M.a (foto superior derecha), 150 M.a. (foto inferior izquierda) y 250 M.a. (foto inferior derecha).

En un mundo futuro dentro de 50 M.a. se prevé que el Atlántico (particularmente el Atlántico sur) y el Índico continuarán su ampliación a expensas del Pacífico. Australia proseguirá su deriva hacia el norte e iniciará su rozamiento con la placa euroasiática. La porción oriental de África se separará del continente, mientras que su deriva hacia el norte cerrará en parte el golfo de Vizcaya produciendo grandes deformaciones en el Mediterráneo.

Extrapolando un poco más allá, dentro de 150 M.a., El Atlántico norte, más antiguo que el sur, habría comenzado ya a cerrarse, mientras que éste seguiría ensanchándose, con la consiguiente separación de las dos Américas entre sí. La colisión de Australia con Asia habría unido los océanos Índico y Pacífico. África, Asia y Norteamérica se fragmentarían a partir de rifts. El continente africano seguiría empujando contra Eurasia y el mar Mediterráneo tendería a desaparecer.

Si nos aventuramos más allá, esta evolución se vuelve menos previsible. Teniendo en cuenta el ciclo del supercontinente, cada 500 M.a., una nueva Pangea se formaría dentro de unos 300 M.a., para fragmentarse después... La deriva continental seguiría hasta que el motor térmico de la Tierra lo hiciese. Algunos geólogos han pronosticado que dentro de unos 2000 M.a., la temperatura del interior terrestre descenderá tanto, que el manto dejará de moverse y la configuración continental se volverá definitiva. No habrá ni continentes móviles, ni magmas, ni orógenos, ni seísmos, ni erupciones volcánicas. Los continentes acabarán siendo inmensas llanuras.

V. RESUMEN

Este proyecto pretende plasmar no sólo los principios básicos de la Teoría **de la Tectónica de Placas**, sino también cómo se llegó a ella y hacia dónde nos lleva.

Entre los **puntos a resaltar** de nuestro proyecto destacamos los siguientes:

- a) Es una maqueta diseñada tridimensionalmente, con lo que permite visualizar mucho mejor los principios que explica.
- b) Consta de muchos módulos diferentes, secuenciados de acuerdo al proceso histórico que derivó en ella, lo que refuerza la idea del principio científico de que frecuentemente los conocimientos avanzan sobre otros preexistentes.
- c) Entre los módulos hay varios que permiten la interacción del espectador con la maqueta, haciendo así partícipe a éste en la comprensión de la misma, a la par que logra atraer su interés o curiosidad.
- d) Aborda una teoría por muchos oída y por pocos comprendida, al no haberse adquirido en su momento la visión de conjunto de la misma. Resaltar que se trata de una teoría redactada en 1968, ¡hace ya más de 40 años!
- e) Permite entender que los continentes se mueven, también lo hacen los océanos. De hecho, lo hacen al unísono sobre las placas tectónicas.
- f) Más allá del movimiento de los continentes se muestra el porqué, la causa. Las corrientes de convección y la gravedad juegan sus bazas. La energía interna del planeta, sus altas temperaturas, junto con la gravedad permiten la existencia de dichas corrientes en el manto.
- g) Mostramos al espectador, a golpe de vista, que los seísmos y las erupciones volcánicas suelen ocurrir en los mismos sitios, y que éstos no son al azar ni están distribuidos homogéneamente en nuestro planeta. Al contrario, se corresponden en la inmensa mayoría de los casos con los bordes de placa, ya sean constructivos, destructivos o neutros.
- h) Conociendo estos emplazamientos resultará mucho más fácil poder establecer las zonas de riesgo sísmico o vulcanológico, lo que supone poder ordenar el territorio de una manera lógica, al menos utópicamente y tomar las medidas de prevención adecuadas.
- i) Se da respuesta a la eterna pregunta inquietante de cómo se forman las montañas y cordilleras. No siempre han estado allí, ni tampoco lo estarán indefinidamente. Se da cumplida explicación de su formación.
- j) De igual forma, y a un nivel mucho más local, la maqueta muestra cómo se forman los pliegues en el terreno, así como las fallas.
- k) El desplazamiento de los continentes no es al azar. Hoy en día se conoce con precisión milimétrica la velocidad a la que se separan o se juntan y en qué dirección se mueven. Esto permite predecir lo que ocurrirá en el futuro si se mantuviesen sin alterar los parámetros actuales. Ciertamente es que estos procesos ocurren de una forma extremadamente lenta (escala geológica) comparada con nuestra escala humana.
- l) El movimiento de los continentes traerá, sin duda, consecuencias en la dinámica de las corrientes oceánicas (cinta transportadora), afectando inevitablemente a la climatología global de la Tierra.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Libro de texto. *Biología y Geología* 1º Bachillerato (2008). Alcobendas (Madrid). Ediciones SM.

Libro de texto. *Biología y Geología* 4º ESO (2008). Pinto (Madrid). Ediciones SM.

Libro de texto. *Biología y Geología* 4º ESO (2003). Arafo (Tenerife). Grupo Anaya, S.A.

http://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas

http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/geografia/media/200704/17/geogeneral/20070417klpgeogra_17.Ees.SCO.png

http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Placas_tectonicas_Teoría.htm

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/act_permanentes/geografia/deriva%20continental/tectonica/tectonica.htm

<http://www.monografias.com/trabajos4/tectonica/tectonica.shtml>

http://almez.pntic.mec.es/~jmac0005/ESO_Geo/TIERRA/Html/Relieve_c.htm

<http://espaciociencia.com/en-el-futuro-la-tierra-formara-un-supercontinente/>

http://www.wikilearning.com/curso_gratis/la_tierra_pasado_presente_y_futuro/6684-10

<http://ciencia.astroseti.org/nasa/articulo.php?num=489>

<http://html.rincondelvago.com/000366400.jpg>

<http://html.rincondelvago.com/000366401.jpg>

http://lh6.ggpht.com/_KFZuB8FSfnY/SvGnjEus8II/AAAAAAAAA3U/kM1DrIwPGig/s800/20F250v4.jpg