

TEMA 10: Interpretación global de los fenómenos geológicos en el marco de la Teoría de la Tectónica de Placas.

AUTOR: Alberto Viñuela Miranda

Del mismo modo que la **Teoría de Darwin** supuso un marco explicativo, o al menos su comienzo, para explicar la diversidad de la vida en la Tierra, la **Tectónica de Placas**, duramente pergeñada entre **1915** –publicación del libro de **Alfred Wegener**– y finales de los '60 –su **aceptación definitiva** por la comunidad científica– explica la **práctica totalidad de fenómenos geológicos** visibles en la superficie de nuestro planeta, los de su interior e incluso los de otros **cuerpos celestes**.

Antes de abordar las implicaciones de esta teoría, recordemos brevemente sus **principales supuestos**:

- La corteza y la parte superior del manto son rígidos y forman la **litosfera o "esfera de piedra"**, de naturaleza **relativamente fría y frágil**. Esta está dividida en casquetes esféricos en movimiento que interactúan entre sí, llamados "placas".
- La litosfera "flota" y se desplaza sobre la **astenosfera**, etimológicamente "**esfera sin fuerza**". Corresponde a la zona intermedia del manto, y su naturaleza es **relativamente caliente y plástica**.
- Las **placas litosféricas se mueven** porque la Tierra es una **máquina térmica** que libera energía, mayormente de origen radiactivo, desde su interior hacia el espacio, mediante **fenómenos de transporte** tanto de materia como de energía.
- Estos **movimientos se clasifican en tres tipos: divergentes, convergentes y cizallantes**.
- En las **zonas de divergencia**, o **bordes constructivos**, siempre se crea litosfera, y en las de **convergencia** puede engrosarse o ser destruida; en realidad, recicla.
- Mención especial merecen los "**hotspots**" o "**puntos calientes**", últimos elementos incorporados a la teoría ya en los años '70 aunque ya propuestos por **John Tuzo Wilson** en 1963. Se sitúan sobre **penachos mantélicos** de material caliente –mal traducidos del inglés como "plumas"– que se elevan de la **zona D**, limítrofe con el núcleo terrestre.

Los hechos reseñados son capaces de explicar, en principio:

- La **Deriva Continental**; así como reconstruir la **Paleogeografía** terrestre mediante los llamados **Ciclos de Wilson**.
- La **actividad** en los **bordes de placa** y sobre los "**hotspots**"; como la **sismicidad**, el **vulcanismo** y la **formación de orógenos**.
- La existencia de **estructuras regionales**, así como su **petrología y mineralogía**.
- Por último, esencial para explicar todo lo anterior, la existencia de una **hipsografía bimodal**, única del planeta Tierra; ya que no está presente, que sepamos, en otros **cuerpos astronómicos**.

Comenzaremos por esta última.

El término “**hipsografía bimodal**” se refiere a la existencia de **dos elevaciones promedio**, correspondientes a las cortezas **oceánica** y **continental**. ¿Por qué ocurre esto?

En las **zonas divergentes**, especialmente las oceánicas, la separación de las placas provoca un **descenso de presión sobre el manto** subyacente que favorece la formación de un **magma máfico** que genera, al enfriarse, **MORB** o “*Mid Ocean Ridge Basalt*”, especialmente denso, dando origen a la corteza oceánica.

No obstante, en las **zonas de subducción**, este mismo **basalto ahora hidratado**, al igual que su **carga de sedimentos**, produce un **magma félsico**, más ácido, ya que ese **agua provoca la precipitación de Fe_2^+ en forma de magnetita (Fe_3O_4)**, enriqueciendo el magma residual en sílice, que al enfriarse forma rocas más ligeras que el basalto; especialmente **granito**.

Es de reseñar que en planetas similares a la Tierra, como **Venus**, esta **diferenciación petrológica no se produce** precisamente por la **ausencia de agua**.

Volviendo a la Tierra: estas **rocas ligeras** acaban por formar la **corteza continental**, que se **desplaza sobre la oceánica** como sobre una cinta transportadora: No el **SIAL** sobre el **SIMA**, términos obsoletos propuestos por **Eduard Suess** y abrazados por Wegener.

Como consecuencia determinante, **los continentes, una vez formados, tienden a permanecer**, mientras que **los fondos oceánicos se reciclan velozmente**. la corteza oceánica más antigua tiene unos **180 millones de años (Jurásico)**. Sin embargo, existen **cratones de más de 3.700 millones de años** de antigüedad.

Merece la pena comentar que una **tectónica acelerada**, como la del **periodo Cretácico**, implica una corteza oceánica más caliente y, por tanto, menos densa, que por equilibrio isostático conduce una **transgresión marina** generalizada, como explica **Xavier Le Pichon** en su libro “*El Fondo de los Océanos*”, hartamente recomendable.

La **actividad geológica** en los bordes de placa **se puede abordar desde los tipos de contacto** que se producen entre ellas.

En los **bordes divergentes** es normal que haya **fuerte vulcanismo**, ya que el **descenso de presión sobre el material mantélico** es causa de formación de magma. La sismicidad es frecuente, pero raramente violenta.

La **máxima expresión** de esta actividad en los bordes divergentes es la **Dorsal Centrooceánica** que recorre unos **80.000km** bajo los océanos. A destacar el papel de **Marie Tharp** y **Bruce Heezen** por su **descubrimiento** en los años '50.

En los **bordes convergentes** es necesario considerar si existe subducción de placa oceánica.

Los contactos **continentales-continetales** (ej: *Himalaya, Alpes*), donde la subducción de la corteza inferior no es relevante, suelen sufrir **alta sismicidad y bajo magmatismo**.

Su máxima expresión actual es el **Orógeno Alpino**, que abarca desde el Atlas hasta Indonesia.

Los contactos **continentales-oceánicos** (ej: *Andes*) y **oceánicos-oceánicos** (ej: Islas Marianas), donde **sí existe subducción relevante**, suelen tener un **activo magmatismo** de tipo **félsico** –andesítico y riolítico– por la mayor presencia de agua en la placa subducente, como ya se mencionó al principio. En ambos casos podemos hablar de **arcos volcánicos**.

Su **sismicidad puede ser muy intensa** por la presencia de **gigantescas fallas megathrust** que periódicamente pueden liberar energías de hasta **9 y 10** en la **Escala de Magnitud de Momento**. Los terremotos submarinos pueden provocar **tsunamis**.

Exclusivos de las zonas de subducción son los **terremotos plutónicos o de foco profundo**, con **hipocentro entre 300 y 700km de profundidad**, que se explican por transiciones de fase minerales repentinas que tienen lugar en las placas que subducen.

La máxima expresión en la actualidad de estos contactos es el **Cinturón de Fuego del Pacífico**.

En los **bordes cizallantes** –a veces llamado **pasivos** porque no existe creación ni destrucción de corteza, pero son muy activos a todos los demás niveles–, **la sismicidad suele ser intensa**, con terremotos de hasta **intensidad 8**.

El **magmatismo tiende a ser mínimo**; sí suele darse **hidrotermalismo** por la existencia de fracturas subverticales profundas. Es **paradigmático** el caso de la falla de San Andrés, en California, y su abundante riqueza mineral.

No olvidemos los **“hotspots” o puntos calientes**. En ellos, la peligrosidad sísmica palidece ante su **potencial eruptivo**.

Los oceánicos suelen formar **islas volcánicas** como el **archipiélago de Hawaii**. Los continentales suelen estar asociados a “supervolcanes” como la **Caldera de Yellowstone**.

La existencia, sobre todo en la corteza continental, de **estructuras regionales**, también es satisfactoriamente explicada por la Tectónica de Placas.

Al considerar los **regímenes compresionales**, es inevitable pensar en **orógenos**, de tipo **alpino y andino**, cuando una de las placas es continental, y en **arcos de islas**, cuando ambas placas son oceánicas. Todos están caracterizados por su **plegado y fallado inverso**, incluyendo **cabalgamientos**.

Asturias es un excelente ejemplo por haber sufrido de lleno dos importantes orogénias: la **Varisca**, en el Carbonífero, y la **Alpina**, en el Paleógeno.

No obstante, no deben olvidarse las **cuencas flexurales**: De **antepaís**, en el caso de orógenos de tipo alpino, y de **antearco y retroarco**, en el caso de **arcos volcánicos**, tanto continentales como insulares.

Normalmente asociadas a **cuencas sedimentarias de origen tectónico**, las regiones de régimen **extensional** pueden ser de dos tipos, que suelen depender del grosor de la litosfera y su relación con el manto subyacente.

El **necking litosférico** es una respuesta de tipo plástico que se da si la corteza es fina y relativamente caliente. La **Cuenca del Chad** es un buen ejemplo.

El **rifting**, con su característico **fallado normal**, es una respuesta de tipo frágil a los esfuerzos extensionales.

Si la fractura es **menor de 50km**, y se habla de formación de **grabens** o **semigrabens**. Si es **mayor de 50km**, de **rift** propiamente dicho.

Si un rift se aborta, queda en **aulacógeno** (ej: **Surco del Benue**). Si se completa, apareciendo corteza oceánica entre medias, tendremos a ambos lados **márgenes continentales pasivos**.

Un **rifting** separó Córcega, Cerdeña y Baleares de la península en el Mioceno durante la apertura del **Valle del Rhin**, ejemplo paradigmático del fenómeno.

En las regiones sometidas a **esfuerzos cizallantes** pueden aparecer grandes brechas en la corteza que forman cuencas sedimentarias de tipo **pull-apart de desgarre; sigmoidales (en S)**, como el **Lago Baikal**, o **romboidales (en Z)**, como el **Mar Muerto**. Cuando estas cuencas se forman en medio de una placa como consecuencia de colisión-

nes a distancia, se habla de **impactógenos** o **rifts de colisión**. Por ejemplo, el ya citado Lago Baikal.

Llegados a este punto, ya podemos abordar la cuestión de la **petrología y la mineralogía asociada** a los **distintos regímenes tectónicos**.

Las **rocas magmáticas** dependen del **tipo de magma**. Se correlacionan más o menos de este modo con las diversas zonas tectónicas:

- **Bordes divergentes y hotspots oceánicos** con la serie **toleítica** (magmas **basálticos**), que produce rocas sobre todo **máficas**.
- **Bordes convergentes de subducción** con la serie **calcoalcalina** (magmas **andesíticos** y **graníticos**), que produce rocas sobre todo **félsicas**.
- **Hotspots continentales** con la serie **alcalina** (magmas **potásicos** y **exóticos** según el grado de diferenciación), que produce rocas inusuales como la **kimberlita**.

Las **rocas sedimentarias** se forman principalmente en cuencas tectónicas como las mencionadas hace unos párrafos.

Destacan las **turbiditas**, ligadas a antiguos **taludes continentales**.

Las **rocas metamórficas** tienen algo más de protagonismo, ya que los **ambientes tectónicos** determinan notablemente el **tipo de metamorfismo**, por ejemplo:

- **Metamorfismo de Fondo Oceánico**, ligado a las **dorsales**, donde las rocas máficas calientes interaccionan con el agua salada formando las famosas **q** que se pueden encontrar en orógenos de colisión.
- **Metamorfismo de Enterramiento**, ligado a la **subsistencia** de **cuencas de origen tectónico**.
- **Metamorfismo de Contacto**, asociado a las **regiones tectónicas con magmatismo** previamente mencionadas.
- **Metamorfismo Dinámico**, asociado a los **bordes cizallantes**. Los esfuerzos favorecen el **Metamorfismo Cataclástico** y el profundo fallado subvertical favorece el **Neumatolítico-Hidrotermal**.

Esbozadas en su casi totalidad la gama de fenómenos en la Tierra, resulta apropiado mencionar **la aplicación de la Tectónica de Placas a otros mundos**. Y es que, honradamente, no podríamos hablar de "interpretación global" si sus hallazgos tan solo fueran aplicables a nuestro planeta:

El caso de los océanos helados de **Europa** (Júpiter) o **Encélado** (Saturno).

En estas **lunas heladas**, su superficie congelada ejerce como **litosfera** y el océano líquido interior como astenosfera. La principal fuente de calor interno son las **mareas gravitacionales** de los gigantes que orbitan.

Se sabe a ciencia cierta que **la corteza de Europa se renueva completamente** cada pocos miles de años, en parte porque son observables rasgos similares a los terrestres.

Siendo mundos capaces, teóricamente, de albergar vida, **se ha argumentado** que **la propia existencia de la Tectónica de Placas es condición necesaria para la existencia de Biología**. Razones hay muchas, pero la mayoría son pura especulación y no han lugar aquí.

Otro caso a tener en cuenta es el de Plutón. La **visita** de la sonda **New Horizons** a este planeta enano en 2015 dejó testimonio de lo que parece ser una **geología complejísima** en la que se aprecian distintos tipos de corteza de nitrógeno y monóxido de carbono

helado. No obstante, el **pequeño tamaño** del planeta, sus **bajas temperaturas** y su **peculiar química cortical** ponen en duda la existencia de una Tectónica de Placas similar a la terrestre o a la de las lunas heladas ya mencionadas.

Llegado este punto, pudiera parecer que la Tectónica de Placas, en su estado actual, es capaz de explicar toda la plétora de fenómenos sobre y bajo la superficie de la Tierra e incluso de otros mundos.

No obstante, debemos aceptar que **la Tectónica de Placas aún no es un modelo del todo completo** y que aún existen fenómenos que no están del todo claro, como por ejemplo:

- El **origen de las Islas Canarias**, por ejemplo, que aún no ha sido bien descrito. En la actualidad existen hasta **cuatro modelos genéticos** para explicar el archipiélago. No obstante, la explicación más satisfactoria, que aúna la **propagación de fracturas corticales** con los **rescaldos de una pluma mantélica**, es coherente con los preceptos básicos de la Tectónica de Placas.
- La existencia del Mar Adriático es muy enigmática. ¿Cómo es posible que existe tal estructura extensional en una región dominada por regímenes compresionales –**Alpes Dináricos** y **Montes Apeninos**–?

En cualquier caso, es el **mejor y más completo marco teórico** que poseemos en Geología; y dados sus éxitos pasados y presentes, es de esperar que siga dando más **explicaciones satisfactorias** en el futuro.