

Tema 10

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

Alberto Viñuela Miranda

Última edición: 11 de diciembre de 2022

Introducción

1

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**.

1912: Artículo "Die Entstehung der Kontinente" ("The Origin of the Continents")
1915: Libro "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" ("The Origin of Continents and Oceans")

Resumen sucinto de la Teoría de Tectónica de Placas

1.1

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

No decir "planetas" porque en realidad hablaré más adelante de lunas.

- 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 ci-zallantes**.
- 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-da.
- Mención especial merecen los **"hotspots" o "puntos calientes"**, últimos ele-mentos 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 ca-liente –mal traducidos del inglés como "plumas"– que se elevan de la **zona D'**, limítrofe con el núcleo terrestre.

No meterse tan pronto a dis-cutir la preferencia de este tér-mino sobre "pasivos" como hice en 2021.

Mucho cuidado aquí; no hablar de "bordes destructivos", ni enredarse en el concepto de "borde pasivo" aún.

También llamada CMB o *Core-Mantle Boundary*

Principales fenómenos explicados

1.2

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**.

John Tuzo Wilson, 1908→1993 canadiense.

Evitar a toda costa usar “planetas”

Desarrollo

2

Hipsografía Bimodal

2.1

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?

Magmatismo diferente en dorsales y zonas de subducción

2.1.1

Magmatismo máfico en dorsales

2.1.1.1

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.

El uso de “máfico” es más amplio y menos discutible que el de “toleítico”.

Magmatismo félsico en zonas de subducción

2.1.1.2

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**.

Sería correcto usar “calcoalcalino”, del cual derivan luego los magmas “andesíticos” y “graníticos”, pero mejor dejarlo así en consonancia con el párrafo anterior.

Necesidad de agua para que exista Tectónica de Placas

2.1.1.3

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

La exigencia de agua para que exista tectónica de placas está implícita en este texto, aunque no estaría de más ser más explícito al respecto.

Existencia de continentes como consecuencia

2.1.2

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.

Permanencia de los continentes y reciclado de la corteza oceánica 2.1.2.1

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.

Tectónica acelerada y transgresión marina generalizada 2.1.2.2

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.

Le Fond des Océans, Que sais-je? 1976

Actividad sísmica y volcánica en los bordes de placa 2.2

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

Predominio de actividad volcánica en los bordes divergentes 2.2.1

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 esta sección hay que acordarse de mencionar como «máxima expresión» de cada caso:

«Dorsal Centrooceánica»
«Orógeno Alpino»
«Cinturón de Fuego»

65.000km continuos, 80.000 totales.

Actividad diversa en los bordes convergentes 2.2.2

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

En la oposición dije **Maurice Ewing**, que en realidad era jefe de ambos.

Contacto sin subducción 2.2.2.1

Los contactos **continentales-continentales** (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.

Contactos con subducción 2.2.2.2

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**.

Aquí si está bien mencionar ambos tipos, si no se hizo antes

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**.

No confundir con arcos de islas, exclusivos de contactos oceánico-oceánico.

NO usar Richter.

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**.

Predominio de actividad sísmica en los bordes cizallantes

2.2.3

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.

Predominio de vulcanismo en los puntos calientes

2.2.4

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**.

Estructuras regionales

2.3

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

Estructuras regionales de regimen compresivo

2.3.1

Orógenos

2.3.1.1

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.

Cuencas flexurales

2.3.1.2

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.

Estructuras regionales de regimen extensivo

2.3.2

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.

Necking

2.3.2.1

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.

Aquí se puede resolver muy rápido el conflicto terminológico **cizallante** vs **pasivo**.

Ya se mencionó la escala hace unos párrafos, no hace falta repetir

Es tentado hablar aquí de fallas transcurrentes (**Falla Norte de Anatolia**) y transformantes (**San Andrés, Fosa Romanche**), pero sería salirse un poco del tema.

Islandia es mal ejemplo, por estar directamente sobre una dorsal. **Canarias** lo pongo al final del documento como ejemplo de lugar dudoso.

Usar “extensional” y no “extensivo”, porque se puede malinterpretar.

Rifting

2.3.2.2

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.

Estructuras regionales de regimen cizallante

2.3.3

Cuencas *pull-apart* de desgarre

2.3.3.1

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**.

Impactógenos

2.3.3.2

Cuando estas cuencas se forman en medio de una placa como consecuencia de colisiones a distancia, se habla de **impactógenos** o **rifts de colisión**. Por ejemplo, el ya citado Lago Baikal.

Petrología y Mineralogía

2.4

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

Rocas magmáticas

2.4.1

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**.

Magmas Basálticos
SiO₂≈50%
Por la localidad alemana de **Tholey**

Magmas Andesíticos
SiO₂≈60%

Magmas Graníticos
SiO₂≈70%

Del manto profundo

De origen anatético

Rocas sedimentarias

2.4.2

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

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

Rocas metamórficas

2.4.3

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

Ejemplo interesante:
Desierto de Taklamakán

- **Metamorfismo de Fondo Oceánico**, ligado a las **dorsales**, donde las rocas máficas calientes interaccionan con el agua salada formando las famosas **q**ue 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**.

Tectónica de placas extraterrestre

2.5

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:

Los océanos helados de Europa y Encélado

2.5.1

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

Analogías entre la Tierra y las Lunas Heladas

2.5.1.1

Mucho cuidado con decir "corteza" y "manto" en esta y otras secciones.

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.

Renovación de la corteza

2.5.1.2

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.

Especulación sobre Tectónica de Placas y Biología

2.5.1.3

Originalmente escribí "hay quién argumenta" pero deben evitarse referencias personales.

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.

Plutón

2.5.2

14 de julio de 2015

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.

Conclusión

3

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.