

«Burbujas mánticas» en el origen y evolución del planeta Tierra

Francisco de Asís Formell Cortina¹

¹ *Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador Titular. Jubilado. ORCID 0000-0003-2435-8465. Correo electrónico.: franciscocodeasisfc1939@gmail.com*

RESUMEN

La Geología es una ciencia empírica y sus fundamentos se basan en lo esencial en la observación de los procesos actuales y su extrapolación al pasado para entender lo que ocurrió en los millones de años de vida de la Tierra; de esa forma muchas teorías basadas en la observación de hechos simples y comunes se han desarrollado y con posterioridad han podido ser, sino comprobadas por completo, al menos sustentadas de manera científica. Sobre la base de la observación del comportamiento de fluidos con relatividad densos en condiciones de ebullición, es que se desarrolla una teoría que extrapola ese comportamiento a las condiciones que debieron existir desde el origen del planeta Tierra. Esto influyó en la distribución y precipitación de sus materiales constitutivos por densidades durante toda su evolución hasta el presente, lo que pone de relieve su accionar en el tiempo y su papel en el modelaje del planeta Tierra. Como consecuencia de la acción de estas burbujas mánticas se revela su papel en la génesis de terremotos y volcanes y también en la formación de montañas y arcos de islas volcánicas, así como, en el crecimiento de los continentes en contraste con los postulados de la tectónica de placas

sobre estos eventos. Se propone que el origen de los arcos de islas volcánicas de Cuba pudiera deberse a la acción de las burbujas mánticas. Se presenta una clasificación de las burbujas mánticas sobre la base de su accionar en diferentes condiciones y relaciones océano-continentes.

Palabras clave: Burbujas mánticas, terremotos, volcanes, arcos de islas volcánicas

ABSTRACT

Geology is an empirical science and its foundations are essentially based on the observation of current processes and their extrapolation to the past to understand what happened in the millions of years of life of the Earth; In this way, many theories based on the observation of simple and common facts have been developed and subsequently have been able to be, if not completely verified, at least scientifically supported. Based on the observation of the behavior of relatively dense fluids in boiling conditions, a theory is developed that extrapolates that behavior to the conditions that must have existed since the origin of planet Earth. This influenced the distribution and precipitation of its

constituent materials by densities throughout its evolution to the present, which highlights its actions over time and its role in modeling planet Earth. As a consequence of the action of these mantic bubbles, their role in the genesis of earthquakes and volcanoes is revealed, as well as in the formation of mountains and volcanic island arcs, as well as in the growth of the continents, in contrast to the postulates of tectonics. plaques about these events. It is proposed that the origin of the volcanic island arcs of Cuba could be due to the action of mantic bubbles. A classification of mantic bubbles is presented based on their actions in different conditions and ocean-continent relationships. Keywords: Mantic bubbles, earthquakes, volcanoes, volcanic island arcs

RESUMO

A Geologia é uma ciência empírica e os seus fundamentos assentam essencialmente na observação dos processos atuais e na sua extrapolação para o passado para compreender o que aconteceu nos milhões de anos de vida da Terra; Desta forma, muitas teorias baseadas na observação de fatos simples e comuns foram desenvolvidas e, posteriormente, puderam ser, se não completamente verificadas, pelo menos apoiadas cientificamente. A partir da observação do comportamento de fluidos relativamente densos em condições de ebulição, desenvolve-se uma teoria que extrapola esse comportamento para as condições que devem ter existido desde a origem do planeta Terra. Isso influenciou a distribuição e precipitação de seus materiais constituintes por densidades ao longo de sua evolução até o presente, o que evidencia suas ações ao longo do tempo e seu papel na modelagem do planeta Terra. Como consequência da ação dessas bolhas mânticas, revela-se seu papel na gênese de terremotos e vulcões, bem como na formação de montanhas e arcos insulares vulcânicos, bem como no crescimento dos continentes, em contraste com o postulados da tectônica, placas sobre esses eventos. Propõe-se que a origem dos arcos de ilhas vulcânicas de Cuba possa ser devido à ação de bolhas mânticas. Uma classificação das bolhas mânticas é apresentada com base em suas ações

em diferentes condições e relações oceano-continente.

Palavras chave: Bolhas mânticas, terremotos, vulcões, arcos de ilhas vulcânicas

INTRODUCCIÓN

La teoría de la deriva continental de Alfred Wegener se desarrolló basándose en las similitudes de las costas de América del Sur y de África que coinciden como dos piezas de un rompecabezas. El principio de James Hutton, de que el presente es la llave del pasado, ha guiado el desarrollo de la Geología por varios siglos y ha servido para tratar de recomponer la compleja historia del desarrollo de la Tierra, pero a pesar de que el principio de Hutton en general es válido, los procesos por los que ha atravesado el planeta han sido tan complejos e intensos, que aún con ese principio como guía de análisis es difícil llegar a imaginar y comprender todo lo que ha ocurrido, sobre todo por algo que el principio de Hutton no considera de forma explícita que es la magnitud e intensidad de los procesos pretéritos en comparación con los presentes. Las leyes que han regido desde el principio el desarrollo de la Tierra son conocidas y son las mismas desde siempre, pero los procesos que se han desarrollado controlados por esas leyes han sido enormes y complejos, pero no por ello, indescifrables a partir de simples conjeturas, toda vez que se han regido por las mismas leyes básicas.

MATERIAL Y METODO

Sobre la base de la información obtenida del conocimiento acumulado de los rasgos y características del desarrollo espacio-temporal del planeta Tierra y de las diferentes teorías que contribuyen a su esclarecimiento y con la utilización del método de razonamiento inductivo-deductivo como base del mismo, se propone la acción permanente de fuerzas termo dinámicas en el modelaje evolutivo del planeta, desde su origen y su tránsito hasta el estado de madurez actual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tierra es un organismo vivo que cumple, como

todos los organismos vivos, sean animados o inanimados, las leyes que rigen la vida, es decir, nacer, desarrollarse, madurar, envejecer y morir. La Tierra en la actualidad es un planeta maduro que comienza a presentar síntomas evidentes de declinación. En primer lugar, el tiempo de la Tierra es su propio tiempo, es decir, es el tiempo que transcurre desde su nacimiento hasta su muerte, pero no medido desde el tiempo humano. Cada ser vivo recorre su propio tiempo, en otras palabras, el concepto de tiempo es relativo, es privativo de cada ser vivo incluyendo los seres inanimados y es de forma fatal inexorable.

El planeta Tierra nació como una masa incandescente en ebullición, sin atmósfera ni océanos ni corteza con un volumen mayor que el actual y una densidad menor y con un fatal destino, un enfriamiento constante de sus materiales.

En aquellas condiciones aquel sistema fundido comenzó a diferenciarse según la densidad de los materiales constitutivos, de acuerdo con la ley de la gravedad. Al principio no había corteza, todos los materiales eran líquidos o gaseosos y se expelían de forma constante como burbujas. El contacto con las temperaturas del espacio hacía que se condensasen y de esa forma comenzaron a formarse los océanos y la atmósfera terrestre, ninguna agua vino del exterior como a veces algunos autores postulan, todos los océanos y la atmósfera terrestre se formaron a partir de la condensación de sus materiales constitutivos. Los alúmino-silicatos (SIAL), por tener una densidad menor, flotaban en el sistema fundido y formaban una escoria, mientras que los materiales más densos (SIMA) se situaban por debajo. Al final en el centro del sistema se acumulaban los metales pesados (Fe, Ni). El sistema así diferenciado por sus densidades comenzó a enfriarse paulatinamente. La escoria flotante constituida de forma esencial por SIAL, navegaba sobre el SIMA, dirigido por la rotación y la traslación de la Tierra y por la acción de las burbujas mánticas que existieron desde el principio. Estas burbujas se formaban como resultado de la «ebullición» de los materiales primarios constitutivos y su frecuencia de formación y sus dimensiones dependían de la temperatura y de la den-

sidad del, llamémosle «magma primigenio» y se distribuían de forma aleatoria en toda la superficie del planeta.

El continente primigenio, que fue la escoria original era parte de la ya formada corteza que era fina y estaba en estado plástico, se mantuvo como un único continente hasta que el sistema logró enfriarse lo suficiente para pasar del estado plástico al rígido; no fue hasta que la corteza pasó del estado plástico al estado rígido que se hizo posible su fracturación en distintas placas. Además, con una corteza ya bastante rígida el acceso libre de las burbujas a la superficie se restringió al punto que las burbujas solo accedían a la superficie del planeta a través de las zonas de debilidad existentes sobre todo entre las placas de relación continente-océano. Este mecanismo de acreción constante de los continentes primigenios a partir de la sucesión de pulsos de burbujas mánticas condujo a la formación de sistemas montañosos plegados con magmas semiplásticos o fallados con magmas fríos, rígidos, según las condiciones de presión/temperatura, en tanto, la corteza seguía engrosándose a costa de los materiales del manto que continuaban enfriándose. Este proceso continúa hasta el presente de manera que la corteza terrestre mantiene un engrosamiento constante, mientras que el manto se enfría de forma sucesiva y a partir de su reducción, continua el aporte de nuevos materiales a la corteza.

Desde el principio existió una zona de debilidad entre la corteza continental y la corteza oceánica, aún antes de la fracturación del súper continente. Una vez que el continente único alcanzó el estado de rigidez empezó a fracturarse debido a la acción de dos fuerzas motoras, la rotación de la Tierra que movía el manto y la acción de las burbujas mánticas formadas en el manto por el estado de «ebullición» de este. En esos momentos ya la Tierra poseía una atmósfera que al principio no tenía la constitución actual de gases y los océanos se formaban sobre la ya enfriada, lo suficiente, superficie del manto habiéndose creado ya una corteza sobre el manto y bajo los continentes que se engrosaba constantemente. La formación de una corteza rígida sobre el manto ocasionó que los continen-

tes a la deriva formaran zonas de fractura profunda en el contacto con la corteza oceánica por donde ascenderían las burbujas mánticas a la superficie y lo hacen hasta el presente.

Desde hace muchos años, sobre todo a partir del trascendental descubrimiento de Wegener del «*drift* continental» y la ulterior confirmación de Hess sobre la creación de corteza en la cordillera atlántica centro oceánica y su consumo de nuevo al manto mediante el proceso de «subducción» en el borde continental oeste de América, se ha sugerido la existencia de corrientes en el manto que gobernarían el movimiento de las placas en que se divide la corteza. Estas corrientes, llamadas en general «corrientes de convección», se ha supuesto que se mueven de forma divergente desde las profundidades del manto hacia arriba y después hacia abajo en círculos de movimiento constante, unos horarios y otros anti horarios. Esto pudiera no ser así. Si se considera que el manto está constituido por rocas fundidas y por lo tanto con fluidez, el movimiento de estos fluidos (magma), pudiese no ser constante, sino estar controlados por las leyes de la termodinámica y comportarse al igual que otros fluidos que al llegar al estado de ebullición dispersan el calor acumulado en su interior en forma de burbujas gaseosas que ascienden a la superficie del fluido y crean en unos casos volcanes cuando el magma logra expelerse y en otros, terremotos cuando el magma no logra expelerse. Como la Tierra es una esfera (esferoide de revolución) estas burbujas de ebullición distribuidas en todo el volumen del manto tienden a alcanzar la superficie de forma preferente a lo largo de las áreas en que el manto contacta los continentes que flotan sobre él porque son todas áreas de fracturas y por tanto de debilidad. La distancia entre la burbuja formada en el manto y la zona de contacto con la corteza en la zona de debilidad cortical va a determinar la intensidad del efecto termodinámico sobre la superficie.

La posible existencia de burbujas mánticas no es algo nuevo en la literatura, desde hace muchos años los investigadores, en lo fundamental geofísicos, han descubierto anomalías en el manto que le han lla-

mado «manchas» «plumas», o «burbujas» Sin embargo, se destaca que estas anomalías detectadas por métodos geofísicos tienen un carácter estático, mientras que las burbujas mánticas que el autor propone son dinámicas producto de la ebullición constante del manto y actúan desde el origen de la Tierra.

Muchos trabajos se han publicado sobre estas anomalías mánticas. En el presente trabajo se ha respetado el término escogido por los autores de esos trabajos para denominar esas anomalías, pero entiéndase que siempre están referidos a lo que el autor considera burbujas mánticas.

En un artículo de Duncombe (2019) se evidencia sobre la base de la información sísmica profunda, la existencia de «manchas» mánticas. Sin embargo, no se concluye acerca de la naturaleza de tales anomalías ni de su trascendencia catastrófica en el origen y evolución de la Tierra. Faltó a los autores el reconocimiento del papel de tales anomalías en el tiempo y su carácter dinámico.

La existencia de plumas, manchas o burbujas en el manto ha sido revelada y estudiada por muchos investigadores, pero de modo lamentable, no han podido descifrar aún ni su origen ni su carácter ni su dinamicidad. En realidad, la visión y opinión que existe hasta ahora presenta un carácter estático, se notan las plumas mánticas, pero no se conoce ni su origen ni su posible accionar y mucho menos su papel en la evolución del planeta.

Consideraciones sobre las leyes que controlan el origen y evolución de la Tierra

Las diferentes teorías sobre la geodinámica de la Tierra han adolecido siempre de una debilidad fundamental. En ninguna de las teorías sobre el origen y desarrollo de la Tierra se considera el motor dinámico que controla y rige ese desarrollo; ni la teoría geosinclinal ni la tectónica de placas, lo colocan en su lugar ni evalúan su real papel en el desarrollo geodinámico de la Tierra.

Las hipótesis elaboradas por diferentes investigadores para explicar el origen de Cuba adolecen de la misma omisión (**Figuras 1, 2, 3, 4**).

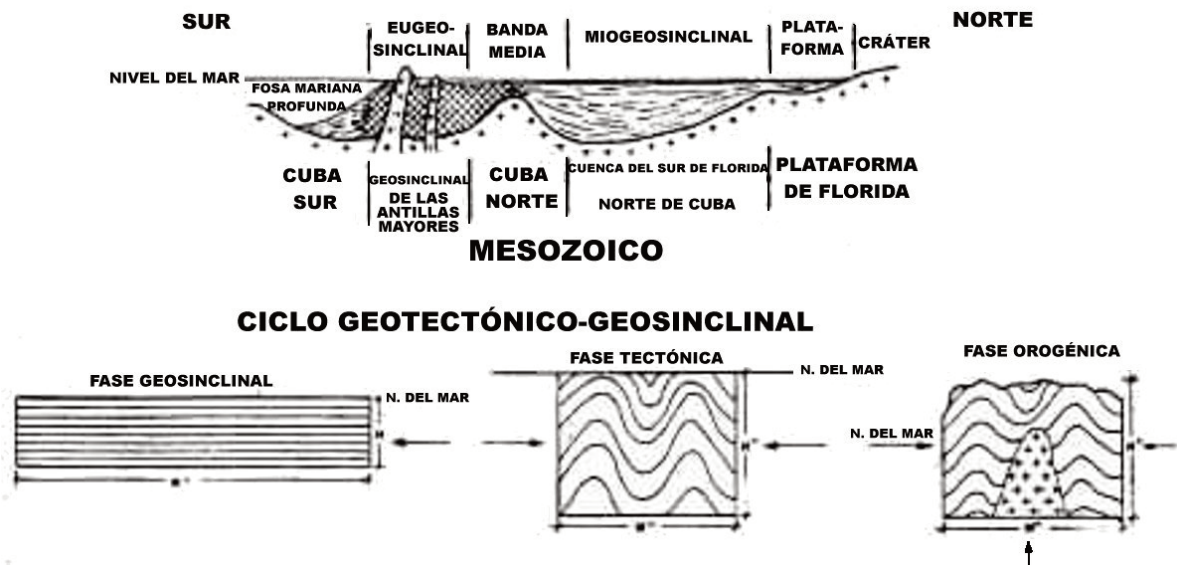


Figura 1. Reconstrucción palinspática según la teoría Geosinclinal (Según Ilich y Meyerhoff, 1980).

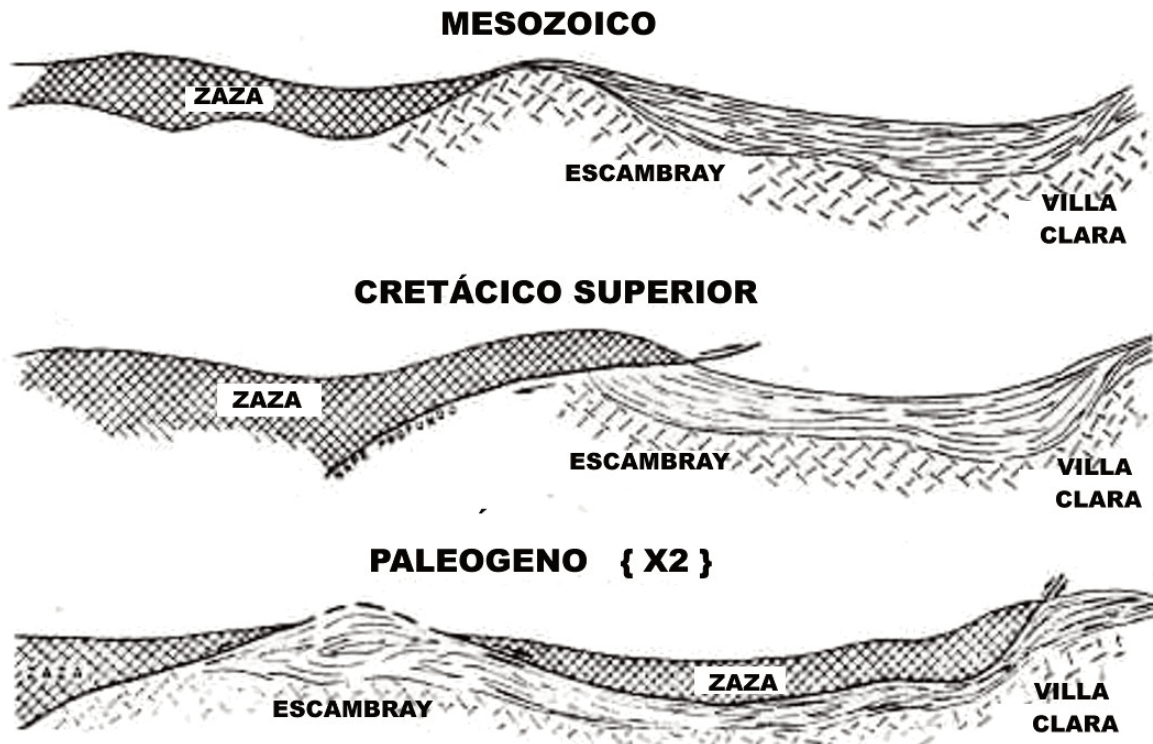


Figura 2. Reconstrucción palinspática según la hipótesis del Nape Profundo (Somin, 1978).

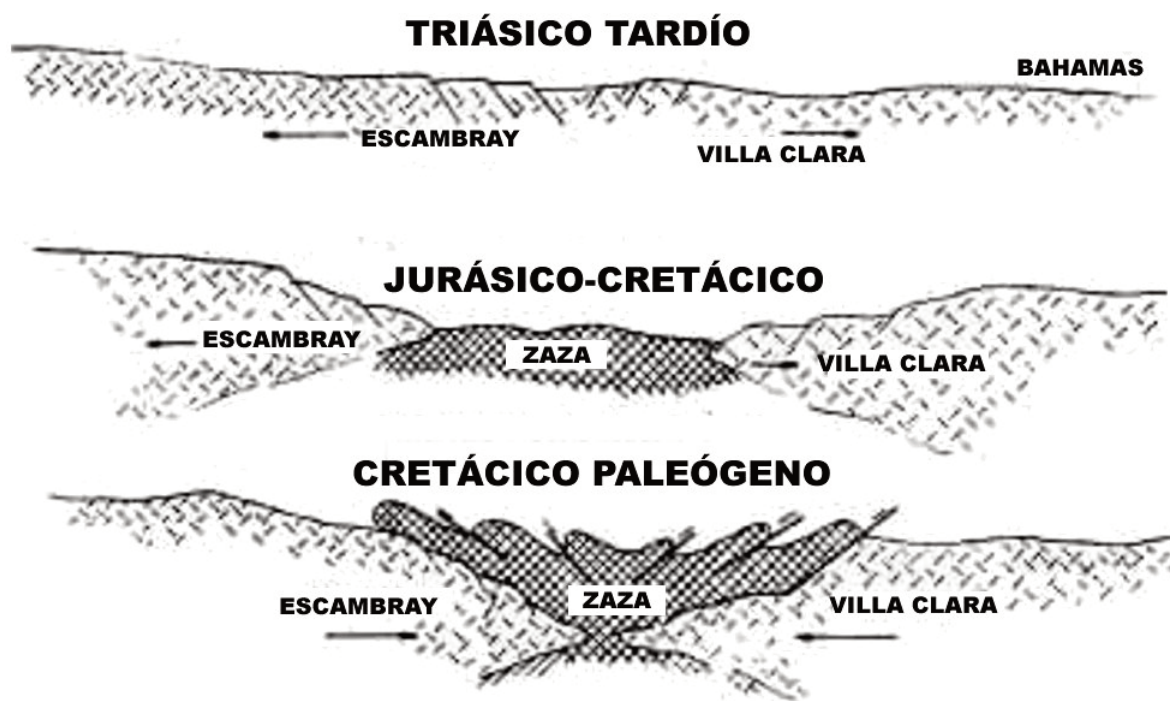


Figura 3. Reconstrucción palinspática según la hipótesis del Hongo Parautóctono (Somin, 1976 e Iturralde, 1981).

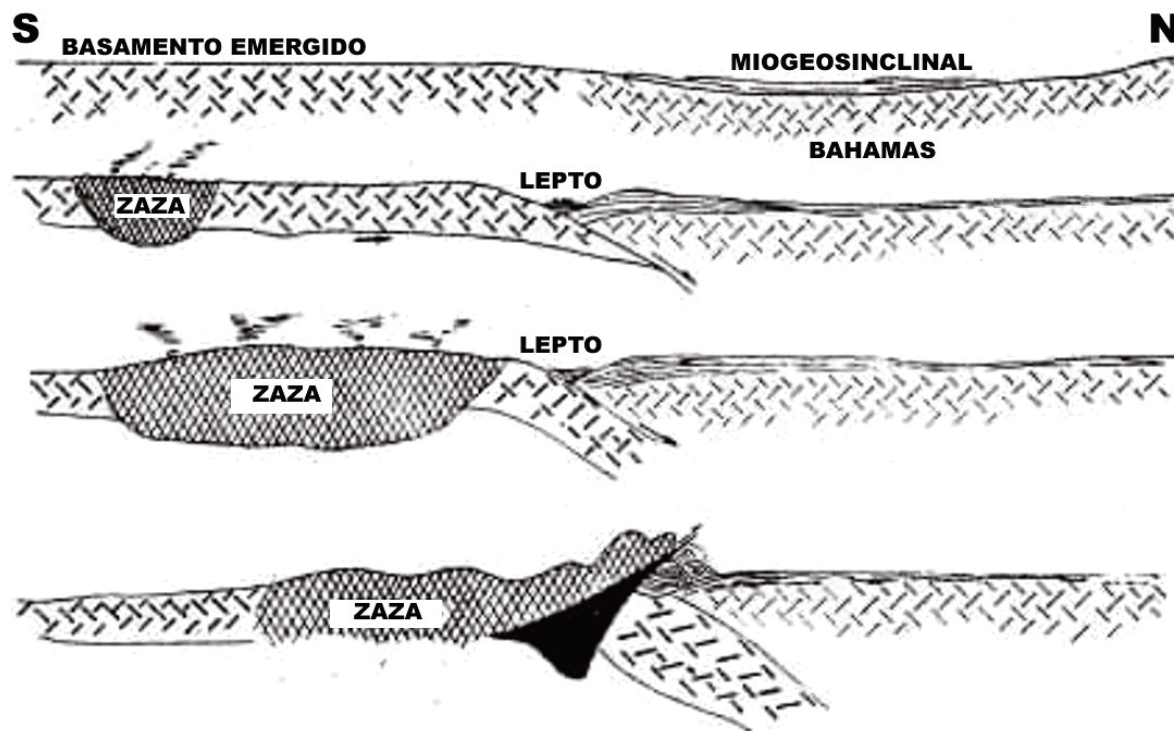


Figura 4. Reconstrucción palinspática según la hipótesis de Peive del corrimiento de masas continentales (Knipper y Cabrera, 1974).

La teoría geosinclinal asume la existencia de un eugeosinclinal donde ocurre vulcanismo y magmatismo intrusivo y un miogeosinclinal tranquilo donde no hay magmatismo sin explicar de forma convincente la fuente y el motor del orógeno eugeosinclinal.

Por su parte, la actual muy en boga tectónica de placas concentra de manera principal los mecanismos de la geodinámica del planeta en la movilidad de las placas litosféricas y sus interrelaciones y solo de manera muy subordinada señala como probables motores de esa dinámica a las llamadas «corrientes de convección», pero insiste en el papel motor de las propias placas litosféricas para explicar, por ejemplo, el origen de los terremotos o del recurrente mecanismo de las placas subducentes y suprasubducentes y sus relaciones para la consideración del origen de los arcos de islas volcánicas (AIV) o de las cadenas de montañas como los Andes. Uno de los pilares teóricos fundamentales de la tectónica de placas es que, como existe creación de corteza en las grandes zonas de rift, como en la cordillera centro-atlántica, entonces es necesario que exista una zona de consumo de corteza para que se mantenga el equilibrio cortical. Esa concepción es la que da origen al concepto de subducción. Esto no es siempre así, la corteza terrestre está en constante crecimiento y así lo atestiguan las enormes cordilleras montañosas como las Rocallosas y los Andes que se elevan miles de metros sobre el nivel del mar y que sin dudas representan un engrosamiento de la corteza. Por otra parte, la corteza terrestre es un cuerpo vivo, en constante evolución, que se engrosa de manera constante a partir del enfriamiento paulatino y sistemático del manto a medida que todo el planeta se va enfriando. Por eso, considerar la existencia de la subducción para un supuesto mantenimiento constante de la corteza a medida que ocurre la creación de la misma en otros lugares es muy discutible.

Para la formación de los arcos de islas volcánicas la tectónica de placas postula que ellos ocurren cuando las placas de suprasubducción son oceánicas, es decir, hay una relación subducción-suprasubducción océano-océano, pero aquí surgen varias interrogantes, la primera y más evidente, que se deriva de la

arraigada costumbre de ver siempre los esquemas explicativos de la teoría dibujados en un plano, cuando en realidad toda la dinámica del planeta es tridimensional, es que habría que preguntarse aquí también, porqué si las relaciones inter placas oceánicas son regionales en el espacio a lo largo de enormes distancias, la formación de los arcos de islas volcánicas no es sincrónica a lo largo de esas zonas de contacto. Además, si hay una placa en subducción en estado rígido o semi rígido, cómo es posible que los materiales mánticos asciendan a través de la placa suprasubducente sin tener en cuenta la barrera que supone una placa rígida o semi rígida en subducción. La tercera pregunta que surge es porqué el desarrollo de los arcos de islas volcánicas ocurre a manera de pulsos temporales, caracterizados en el espacio por formas semi arqueadas, lo que hace suponer que su origen y desarrollo no está relacionado tan solo con las relaciones inter placas oceánicas.

Todo el basamento de la tectónica de placas está en la asunción de que, si se crea corteza por unos 10 000 km, la mitad, unos 5 000 km se asume estar subducidos en el margen oeste de las Américas. Este supuesto axioma no deja margen a ningún tipo de especulación y representa la sólida fortaleza de la tectónica de placas, pero qué ocurriría si esto no fuese así.

Casi todos los geólogos coinciden en que los continentes flotan sobre el manto y siempre desde el inicio flotaron a manera de la escoria del sistema en ebullición, mientras los elementos de mayor densidad se concentraban más abajo en la formación del manto. La masa continental primigenia única ha sido identificada y descrita como el super continente de Pangea.

En un momento determinado esa masa continental, ya rígida, comenzó a fracturarse creándose diferentes placas litosféricas todas de carácter continental cuyas relaciones con el manto siempre fueron y son todavía hoy en día heterogéneas debido a sus diferentes densidades lo que provoca que los continentes tengan profundas raíces que cumplen el principio de la isostasia, mientras que la corteza oceánica es fina y está en contacto directo con el manto. Eso fue y es así, lo que ha ocurrido es que el concepto de placas

litosféricas en la literatura se ha extendido e incluye también a los materiales de la corteza oceánica, creándose un supuesto mosaico planetario de placas continentales y oceánicas integradas lo que requiere del concepto de creación y consumo de corteza para poder entender su existencia.

Si se consideran solo como flotantes en un sustrato mántico a las placas continentales, entonces, se derrumban los basamentos de la tectónica de placas porque no habría necesidad de considerar ni zonas de creación de corteza ni zonas de consumo de corteza, serían solo las placas litosféricas continentales las que se moverían y así lo hacen sobre un sustrato homogéneo mántico que se enfría según avanza la placa continental en su retaguardia y se mantiene activo y caliente en el frente de avance de la placa continental. Este razonamiento explicaría la existencia del llamado cinturón de fuego circumpacífico como frente activo del avance de las placas continentales y daría un sentido más lógico y dialéctico a las relaciones manto-corteza oceánica. Si en realidad lo que ocurre es que las placas litosféricas continentales flotan y se trasladan a través del medio mántico el concepto de creación y consumo de corteza pierde su sentido. Ese concepto supone relaciones rígidas entre las placas li-

tosféricas, considerándose además que las placas litosféricas comprenden tanto segmentos continentales como segmentos oceánicos litosféricas activas mientras que la corteza oceánica es de un carácter pasivo que sirve de medio por el que transitan las placas continentales; dicho de otra manera, la corteza oceánica que se crea a partir de los centros de expansión, es solo la cicatriz que queda al avance de la placa continental y de ninguna forma acrece al continente. El acrecimiento continental ocurre en el borde activo situado en el frente del movimiento de la placa continental por donde, de forma sistemática y constante, ascienden los materiales mánticos y crean sistemas montañosos o cadenas de arcos de islas volcánicas que en última instancia acrecen a los continentes y aumentan su masa con nuevos materiales de origen mántico. Como regla general, tanto en las relaciones directas océano-continente o en las relaciones océano-océano en otros márgenes en el frente de contacto se desarrollan profundas depresiones como por ejemplo la fosa de Marianas donde la enorme profundidad de la misma adelgaza la corteza oceánica de tal forma que el frente de acreción no cuenta con una corteza oceánica bastante potente como para subducir. Este fenómeno ocurre a todo lo largo del cinturón circumpacífico por lo que el arrai-

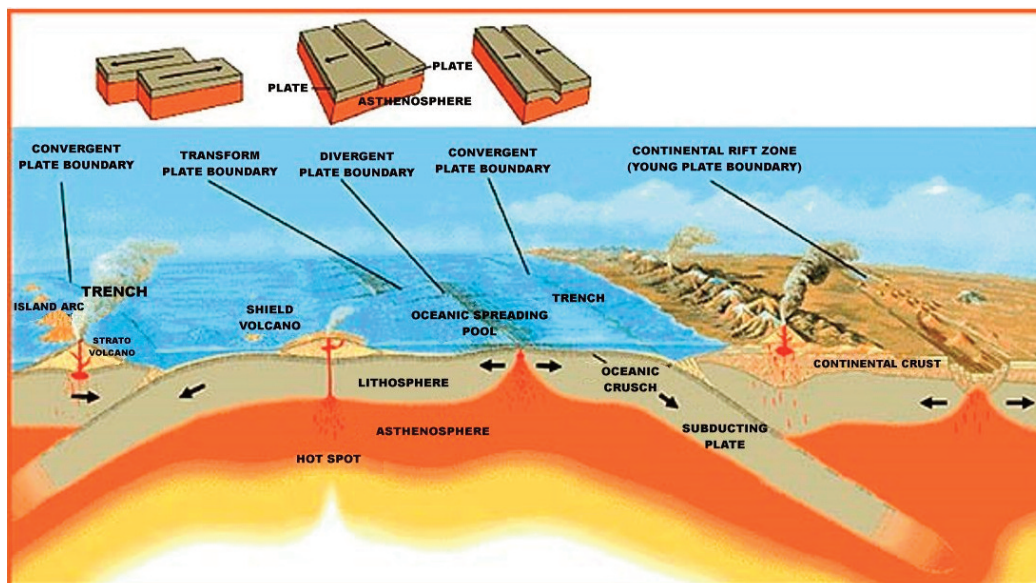


Figura 5. Esquema de relaciones directas océano-continente y océano-océano (Tomado de: Generalidades sobre zonas de suprasubducción: Ofiolitas tipo SZZ. Universidad de Barcelona).

gado concepto de placas oceánicas rígidas que subducen continentes o márgenes oceánicos pierde su sentido (**Figura 5**).

Todos los supuestos puntos de origen de las placas oceánicas en subducción ocurren a partir de trincheras oceánicas con independencia de que sean en relaciones océano-continente u océano-océano, pero las trincheras oceánicas están tan cerca del manto y la placa oceánica por tanto tan delgada que se hace difícil considerar una placa oceánica tan rígida y potente como para subducir y crear las supuestas relaciones de subducción-suprasubducción que impedirían el flujo de materiales mánticos, al tener estos que atravesar una placa rígida (**Figura 5**). Más difícil y absurdo es considerar placas oceánicas que subducen por más de 1500 km para influir en la formación de la cadena montañosa de las Rocallosas como ha sido propuesto para la placa de Farallones.

La existencia sistemática de trincheras oceánicas en los frentes de avance de las placas litosféricas continentales tanto en las relaciones continente-océano o mar marginal-océano no se relaciona con la subducción de una placa oceánica sino a la erupción de una burbuja mántica pulsante. Las burbujas mánticas siempre producen trincheras en su frente y en su retaguardia. Las trincheras de retaguardia crean las zonas de debilidad cortical por donde ascenderán las nuevas burbujas mánticas en el siguiente pulso; esto se observa muy bien en el sistema de arcos de islas volcánicas de las Marianas.

Las burbujas mánticas actúan según pulsos temporales. Al alcanzarse un punto crítico en la ebullición los materiales mánticos incluidos los fluidos y los gases ascienden y provocan burbujas que forman montañas o arcos de islas según el carácter de las zonas de debilidad cortical en las relaciones continente-océano u océano-océano. Una vez ocurrida la erupción es necesario que transcurra un lapso de tiempo para que tenga lugar una nueva acumulación de energía y el ascenso y erupción de una nueva burbuja mántica. Resulta obvio que con el enfriamiento sistemático del manto la intensidad y frecuencia de las burbujas mánticas ha ido disminuyendo en el tiempo; tanto la for-

mación de arcos de islas volcánicas como de montañas ya no tienen la intensidad que tenían hace millones de años, aunque el mecanismo de formación sea el mismo.

El tema de la posible existencia de corrientes de convección en el manto que justificasen y controlasen el movimiento de las placas litosféricas es muy discutible. Cuando se trata de componer en la esfera diferentes sistemas de convección, unos horarios y otros antihorarios, uno se tropieza con la dificultad de que la tendencia real del movimiento de las placas litosféricas no se satisface con un supuesto esquema planetario de corrientes de convección. Sin embargo, si se observa en detalle los grandes sistemas de rift en la Tierra como la cordillera centro atlántica o el gran rift del «cuerno de África» o el nuevo rift que divide África en dos, se observa que todos siguen una tendencia de desarrollo anti horaria coincidente con la rotación de la Tierra. Así mismo el avance de la placa continental del Asia oriental hacia el Pacífico, con profusión de sistemas de arcos de islas volcánicas, favorece la idea de un papel determinante de la rotación de la Tierra en el mecanismo planetario de movimiento de las placas litosféricas el cual, por supuesto, no excluye la existencia de movimientos locales de placas controlados por factores internos subordinados.

La rotación anti horaria de la Tierra por un lado y la existencia de un manto plástico sobre el cual «flotan» los continentes rígidos, que controlados por la isostasia poseen raíces más profundas que aquellas de la corteza oceánica, provoca relaciones de compresión-distensión, océano-continente sistemáticas. De esta forma, se evidencia por ejemplo que la costa oeste americana está en condiciones de compresión porque el continente avanza en compresión hacia la corteza pacífica, mientras que en la costa oriental de Asia la corteza pacífica se aleja del continente y se crean entonces allí condiciones de distensión. Ambos fenómenos, que actúan de forma sistemática y constante, podrían atribuirse a la acción de la rotación de la Tierra y sería una explicación plausible de porqué en el primer caso se forman montañas (relaciones de compresión) y en el otro se forman arcos de islas volcánicas (relaciones de distensión). Si se observa con deteni-

miento el comportamiento en el tiempo de las placas litosféricas continentales desde la fracturación de Pangea, se evidencia la acción distensiva provocada por la rotación de la Tierra. La separación de las Américas de la Pangea original ocurrió a partir de una gran fractura de distensión formada en la cordillera central de Pangea, cuyos remanentes aún hoy se observan tanto al oeste en los Apalaches y la cordillera de Escocia como al este en el pequeño Atlas marroquí y en la península escandinava. Es también evidente que los grandes rifts de la Tierra desde la época de Pangea se orientan en dirección norte-sur. Esto es concordante con la idea de una fuerza rotacional distensiva constante actuante como es la rotación de la Tierra. La idea de corrientes de convección de circulación meridional horaria y antihoraria no es causa para haber producido fracturas por distensión regionales extendidas en dirección N-S; solo fuerzas de rotación ecuatoriales son capaces de producir fracturas distensivas meridionales.

Si al principio hubo un solo súper continente entonces también hubo un solo súper océano, el súper Pacífico. Toda la expansión continental ocurrida a partir de la fracturación de Pangea ha significado una disminución constante del Pacífico la cual continúa hasta el presente y el nacimiento y desarrollo consecuente de nuevos océanos. En otras palabras, los continentes se han expandido siempre y el Pacífico ha ido contrayéndose a expensas de una sola fuerza reguladora, la rotación de la Tierra.

Como es conocido el eje de la Tierra es inclinado con relación al sol. Ese ángulo de inclinación del eje de la Tierra se denomina eclíptica. Esa inclinación del eje de la Tierra influye de manera decisiva en la distribución de esfuerzos durante la rotación y provoca que haya habido una mayor concentración de las masas continentales en el hemisferio norte que en el hemisferio sur. Igualmente, la ocurrencia de micro placas oceánicas de dirección ecuatorial es posible que se deba al mismo fenómeno que se observa muy bien en la distribución de fallas distensivas ecuatoriales a todo lo largo de la gran cordillera centroatlántica. Esa distribución de esfuerzos es probable que haya contri-

buido a la formación de la placa oceánica del Caribe. Una de las paradojas enigmáticas de la tectónica de placas es la ausencia de subducción en el contacto de la corteza oceánica que se crea en el centro del Atlántico con la costa este de las Américas por un lado y con la costa oeste del África por el otro. Si la distensión centro atlántica fuese el motor para la migración continental a ambos lados del rift centro atlántico, debiera haber subducción en los bordes continentales más cercanos al rift; sin embargo, esto no es así. En el caso de las Américas el contacto activo ocurre a todo lo largo de la costa oeste de las Américas y continúa en todos los bordes continentales que rodean al océano Pacífico. Esto sugiere que, en realidad, no es el rift centro atlántico el motor de la migración continental, sino son los continentes per se los que migran y han migrado siempre desde la ruptura primigenia de Pangea debido a su carácter de masas flotantes en un substrato más denso impulsadas por la rotación de la Tierra, que ha conducido a una sistemática migración continental de los fragmentos del súpercontinente siempre contra el súper océano. De ahí la formación del llamado cinturón de fuego del Pacífico que es el borde activo de las masas continentales fragmentadas de la primigenia Pangea que resbalan contra el Pacífico impulsadas por la fuerza creada por la rotación de la Tierra.

Tanto la separación y distribución de los materiales constitutivos de la Tierra en capas según sus diferentes densidades, así como su rotación y traslación alrededor del Sol ocurren gracias a la acción de la fuerza universal de la gravedad. Sin embargo, las fuerzas eruptivas generadas por la fusión de los materiales constitutivos del núcleo provocan los orógenos termodinámicos, que en forma de burbujas han actuado desde el principio en el modelaje del planeta mucho antes que las placas litosféricas móviles. Por eso es lícito afirmar, sin lugar a dudas, que el accionar de las placas litosféricas es consecuencia y nunca causa del desarrollo y evolución de la Tierra desde su origen, que de acuerdo con el principio de la conservación de la materia transita desde un origen incandescente hasta un final frío y seco sin posibilidad de albergar vida orgánica.

Con los adelantos de la astronomía y de las técnicas de observación cada día se advierte el nacimiento de nuevos cuerpos celestes y la muerte de otros, evidenciándose la dinámica de la evolución del universo o de los multiversos, de la cual la Tierra no escapa. El propio sistema planetario así lo evidencia.

La idea de que las corrientes de convección, sugerida por la tectónica de placas constituya el motor de la dinámica de las placas es muy dudosa y ha conducido a buscar otras causas de esa dinámica como el autor ha razonado; también otros investigadores han arribado a una conclusión semejante y han lanzado una nueva hipótesis.

Un equipo de tres investigadores ha sugerido que la causa de la dinámica de las placas litosféricas reside en la interacción de las fuerzas gravitatorias del Sol, la Luna y la propia Tierra.

La clave de su hipótesis, expuesta este 27 de enero del 2022 en la revista *GSA Special Papers* (de la Sociedad Geológica de EE.UU.), es el denominado «baricentro», el foco de las masas en un sistema de cuerpos en órbita. Está desequilibrado, según el estudio y la culpa es de la deriva lunar, la misma que provoca las mareas. El alargamiento de la órbita lunar y una extensión radial mensual del baricentro próximo a los 1000 km son dos fenómenos vinculados y se relacionan con la atracción gravitatoria del Sol sobre la Luna, que es un valor 2.2 veces mayor que la terrestre sobre su propio satélite natural. Las temperaturas en las capas superiores del planeta son el resultado de la fuga de calor radiogénico desde el interior hacia el espacio, pero una combinación de aceleración e inercia causa mucho más efecto sobre los movimientos en la litosfera.

Ese desequilibrio genera tensiones que las cá-lidas, gruesas y fuertes capas interiores del planeta permiten soportar, mientras que la litosfera delgada, fría y quebradiza responde fracturándose según explicó la primera autora del estudio, Anne Hofmeister, geofísica de la Universidad de Washington en San Luis. Sin la Luna y las oscilaciones que se provocan entre el baricentro y el centro físico de la Tierra no se vería esta actividad de las placas.

En este sentido, dice Hofmeister y lo recoge un comunicado universitario, la Luna es grande y su tamaño y la distancia concreta del Sol son esenciales para provocar la dinámica de las placas litosféricas de la Tierra.

Para validar esta idea, los investigadores aplicaron sus cálculos a varios planetas rocosos del Sistema Solar y sus lunas, ninguno de los cuales ha tenido actividad tectónica confirmada hasta la fecha. La investigación mostró que la presencia y longevidad del vulcanismo y del tectonismo dependen de una combinación concreta del tamaño de la Luna, la orientación orbital de ésta y la proximidad al Sol.

Sobre el origen de los terremotos

Existe una estrecha relación entre los epicentros de los sismos y los bordes de placas tectónicas. Las zonas de alta sismicidad se correlacionan de forma evidente con el mapa mundial de placas tectónicas. El 90 % de los sismos se generan a profundidades menores de 100 km. Los que resultan ser muy dañinos tienen en general un origen muy poco profundo. Los terremotos superficiales tienen un hipocentro a menos de 70 km de profundidad, es decir, dentro de la litosfera; los intermedios entre 70 y 300 km y los profundos entre 300 y 700 km de profundidad. La existencia de terremotos a esas profundidades contradice de forma dramática la asunción en boga de que los mismos se producen por la presión acumulativa de las placas tectónicas en relaciones de subducción. A profundidades de 700 km la placa «subducente» entraría ya en estado plástico y es muy poco probable que pueda ejercer alguna presión acumulativa sobre la placa continental.

Por todo lo anterior supone que el mecanismo formador de terremotos no es de origen dinámico formado sólo por la acumulación de energía y el alcance de un punto crítico en las zonas de consumo de corteza como resultado de una creación constante de corteza en otros lugares. Según el razonamiento del autor, la corteza no se forma de manera constante, sino de forma aleatoria en dependencia de la acción de las burbujas del manto controlada por las leyes de la termodinámica y en dependencia de los siguientes factores:

densidad del fluido, volumen, temperatura y tiempo. Las burbujas en realidad son la causa del vulcanismo y de los terremotos. El hipocentro de un terremoto es una burbuja en ascenso proveniente del manto; por eso cuando esa burbuja que genera gases, choca con la corteza, ese golpe de los gases a presión provoca un movimiento de la corteza de ondas concéntricas a partir de un centro (epicentro) que es el punto donde los gases de la burbuja chocan con la corteza. La ocurrencia de un golpe de gases inicial seguido por movimientos ulteriores más débiles (réplicas) es consistente con la idea de un origen neumatolítico de los terremotos. En realidad, el mecanismo propuesto por Hess de creación constante de corteza en la cordillera centro oceánica y su ulterior consumo en la costa oeste de América no funciona así. La creación de corteza ocurre a expensas del vulcanismo que sucede cuando una burbuja proveniente del manto logra fracturar la corteza y expeler los productos mánticos en la superficie. Una evidencia de la expresión del vulcanismo como resultado de la ascensión de burbujas mánticas es la forma semicircular de todos los archipiélagos de origen volcánico. Todos, sin excepción, tienen forma arqueada (de ahí su denominación de «arcos de islas volcánicas») porque todos sin excepción son originados por burbujas en ebullición provenientes del manto. El tiempo y por tanto, la velocidad de ascensión de las burbujas mánticas es una función del volumen, densidad y temperatura de los materiales mánticos (magma). Y como la temperatura del manto decrece de manera constante desde el origen de la Tierra, la velocidad y frecuencia de las burbujas también decrece de igual forma.

La teoría de la tectónica de placas, como se ha dicho con anterioridad, tiende a explicar todo el mecanismo de desarrollo y evolución de la Tierra basándose en la supuesta dinámica evolutiva de las placas litosféricas concentrándose en el supuesto accionar de la creación de corteza en algunos lugares y su consumo en otros. Esto no es así. En primer lugar, la corteza terrestre, desde el principio, ha crecido a partir de las masas constituyentes de los sistemas montañosos que no siempre existieron y que son

el resultado de las relaciones en compresión alimentadas por las burbujas mánticas en los límites de los continentes con los océanos y en segundo lugar, la corteza se ha engrosado a partir del enfriamiento constante del manto. Hay que recordar que los límites distinguidos entre corteza y manto y dentro del mismo son límites asumidos por la información geofísica sobre la base de las diferentes densidades de los materiales. El problema que ha adolecido la Geología siempre ha sido la prevalencia de las concepciones estáticas del origen y evolución de la Tierra, incluidas las concepciones de la tectónica de placas que con mucho es la más dinámica de las teorías. Sin embargo, aún la tectónica de placas está limitada, primero porque concentra los principales mecanismos de acción entre las placas litosféricas en las relaciones dinámicas entre las mismas. Ejemplo de esto es la ocurrencia de los terremotos y segundo, porque no toma en cuenta el carácter de organismo vivo que es la Tierra y su constante evolución. Si no se toma en cuenta la transcurriencia del tiempo de vida de la Tierra desde su surgimiento, no se podrá nunca entender la dialéctica de su evolución. Así mismo en la teoría se postula que el origen de los terremotos y el vulcanismo se vincula con las relaciones de compresión-subducción entre placas litosféricas; muy poco hace énfasis la teoría en el papel de las fuerzas internas del planeta que se generan en diferentes zonas del manto y participan en el desarrollo y modelaje de la corteza. Un solo mecanismo se postula para explicar el movimiento de las placas litosféricas y es el de la supuesta existencia de corrientes de convección en el manto que dirigen el movimiento de las placas.

La teoría de la tectónica de placas postula una zona de fractura centro-atlántica, donde se crea corteza y una zona en el borde América-Pacífico donde se consume corteza. Visto así, parece simple y convincente, al igual que la idea de la existencia de corrientes de convección en el manto como mecanismo generador del movimiento de las placas también es seductora. En un esquema plano, presente en todos los trabajos sobre esta temática al parecer no hay discusión, pero cuando se trata de llevar esos pos-

tulados a una esfera (esferoide de revolución) es mucho más complicado el asunto. Por ejemplo, ¿Cómo se distribuyen en el espacio las corrientes de convección en la esfera? ¿Dónde se encuentra la fractura equivalente pacífica de la centro-atlántica? ¿Cuáles fueron las relaciones de creación y consumo de corteza que llevaron a la India a colisionar con Asia? ¿Cómo accionan las corrientes de convección para mover de manera convincente el mosaico de placas tectónicas existente? Al parecer, hay más razones para suponer causas aleatorias en la distribución y movimiento de las placas tectónicas que regularidades de creación y consumo de corteza dirigida por las supuestas corrientes de convección.

La teoría que se acepta en la actualidad de que los terremotos tienen un origen dinámico y son el resultado de la acumulación de energía en el contacto de las placas continentales con las placas oceánicas y llegado el límite elástico de los materiales en compresión liberan la energía de forma abrupta que provoca los movimientos telúricos es muy discutible.

La primera pregunta que surge es: ¿por qué si la acumulación de energía por compresión es constante a lo largo del límite de placas, los terremotos se producen en un punto de ese contacto y no por miles o cientos de kilómetros a todo lo largo del contacto?

La segunda pregunta es: ¿por qué si las fuerzas que actúan desde la expansión del fondo oceánico son tangenciales a la superficie, los terremotos tienen un hipocentro puntual y un epicentro también puntual a profundidad a partir del cual la energía asciende en forma de ondas concéntricas?

Así mismo, otras preguntas pudieran hacerse, por ejemplo, es conocido que el vulcanismo, así como los movimientos sísmicos se alinean a lo largo de la zona de contacto entre placas continentales y oceánicas conocido como el cinturón circumpacífico o cinturón de fuego, entonces, si las relaciones de subducción entre placas que generan presiones a todo lo largo de esas zonas fuesen las únicas responsables tanto del vulcanismo como de la sismicidad, ¿por qué la ocurrencia de sismos y de erupciones volcánicas es aleatoria y se desarrollan muchas veces

dentro de los continentes y los océanos, bien lejos de las zonas de subducción? Por ejemplo, considérese el famoso súper volcán de Yellowstone o la dramática y violenta erupción del volcán de Krakatoa que creó una nueva isla a finales del siglo XIX. Resulta evidente que la teoría de las placas tectónicas por sí misma no es capaz de resolver estos enigmas.

Otra pregunta pudiera ser ¿Por qué los terremotos son predecibles por los animales y aún por las personas segundos antes de que comiencen los movimientos? Una ruptura entre placas en compresión no lo explicaría, pero una burbuja gaseosa en ascenso lo explica perfectamente. Por último y como colofón, son notables las recientes revelaciones de la NASA de la ocurrencia de terremotos en Marte y aún en la Luna, cuerpos celestes que no poseen placas litosféricas móviles.

Sobre el origen del vulcanismo y la orogenia

La recurrencia en el tiempo del vulcanismo se explica también por la existencia de estas burbujas mánticas que una vez expelidas vuelven a acumular gases en el tiempo y erupcionan nuevamente, proceso este que se rige por las leyes de la termodinámica y por la persistencia de los canales de debilidad creados en erupciones anteriores. Los canales de debilidad, al igual que las variaciones en la composición del magma, van también a condicionar los diferentes tipos de volcanes que se conocen. El magma y sus gases acompañantes tienen que vencer la corteza para erupcionar y por tanto, las características de los canales de debilidad cortical van a influir de manera decisiva en el tipo de vulcanismo resultante. Así, si se necesita una alta presión para vencer la resistencia de la corteza, el vulcanismo resultante será del tipo vesubiano, explosivo, con gran cantidad de gases y cenizas; si por el contrario los canales son expeditos como en los hotpoints, las erupciones serán casi sin presión del tipo «hawaiano».

Los continentes tienen una densidad mucho más ligera que las rocas del manto. En realidad, los continentes flotan y siempre, desde el inicio han flotado sobre los materiales más densos del manto; los

continentes son la escoria del primigenio sistema en ebullición que fue la Tierra en sus inicios.

La dinámica de los continentes también está signada por las burbujas mánticas, cuando éstas se originan debajo de las raíces de los continentes, en su proceso de ascensión provocan movimientos orogénicos en los continentes que hacen ascender las masas continentales que forman montañas. No todas las montañas, como se considera en la actualidad, son producto de la colisión de placas. Esto se muestra en la forma semiarqueada de muchos de los sistemas orogénicos del mundo, los Apalaches, las Rocallosas, los Himalayas, los Alpes, los Andes. En muchos de estos sistemas orogénicos la forma de arco de los mismos sugiere la intervención en su formación de burbujas ascendentes del manto.

Es muy probable que el crecimiento de los continentes haya ocurrido a expensas de los materiales acrecidos provenientes del manto en forma de burbujas. La existencia de grandes sistemas orogénicos plegados sugiere que en su formación intervinieron fuerzas termo-dinámicas que suministraron el suficiente calor para que los plegamientos se produjeran; si no hubiese habido suficiente calor para mantener los paquetes rocosos en estado plástico, no hubiera habido plegamientos sino cizallamientos. Por eso, considerar solo a las colisiones entre placas tectónicas como la causa para la formación de las grandes cadenas montañosas en el mundo es muy discutible. (Figura 6).

Hay que notar que tanto los terremotos como los volcanes se sitúan con preferencia, pero no de forma exclusiva, en las regiones de interacción de placas oceánicas con placas continentales, es decir, en zonas de debilidad tectónica por donde las burbujas tienden a expelerse (Figura 7).

Si logran expeler resulta un volcán. Cuando no, entonces, será un terremoto; ambos fenómenos tienen una relación espacial y temporal, lo que evidencia la íntima relación genética entre ellos. Tanto volcanes como terremotos se alinean con preferencia, en áreas específicas de la corteza terrestre y las burbujas en presencia de una corteza sólida buscarán las zonas de debilidad para poder expeler los gases con-

tentivos. Sin gases en los materiales del manto no habrá burbujas y no habrá por tanto ni vulcanismo ni movimientos telúricos. Como se ha mencionado, una de las formas de crecimiento de la corteza son los arcos de islas volcánicas que de forma sistemática se originan en relaciones de distensión cortical.

Un ejemplo del papel de las burbujas mánticas en el origen y desarrollo de los sistemas de arcos de islas volcánicas son los sistemas cubanos de arcos de islas volcánicas.

En el Triásico superior-Jurásico inferior se afirma que existió un mar marginal cuyos restos emergidos aún se observan en la formación terrígena Cordillera de la Costa que aflora en la costa norte de Venezuela; durante el Jurásico superior ese mar se profundizó por hundimiento de la cuenca oceánica donde se desarrollaba. Bien por adelgazamiento de la corteza oceánica o por apertura del fondo oceánico (*rift*) y gracias a la ascensión de burbujas mánticas comenzó en



Figura 6. Montaña Ferdernrothern (3180 m), Alpes Bernese, Suiza. Pliegues espectaculares de la colisión entre África y Europa (Tomado del Fotógrafo Bernhard Edmaier).

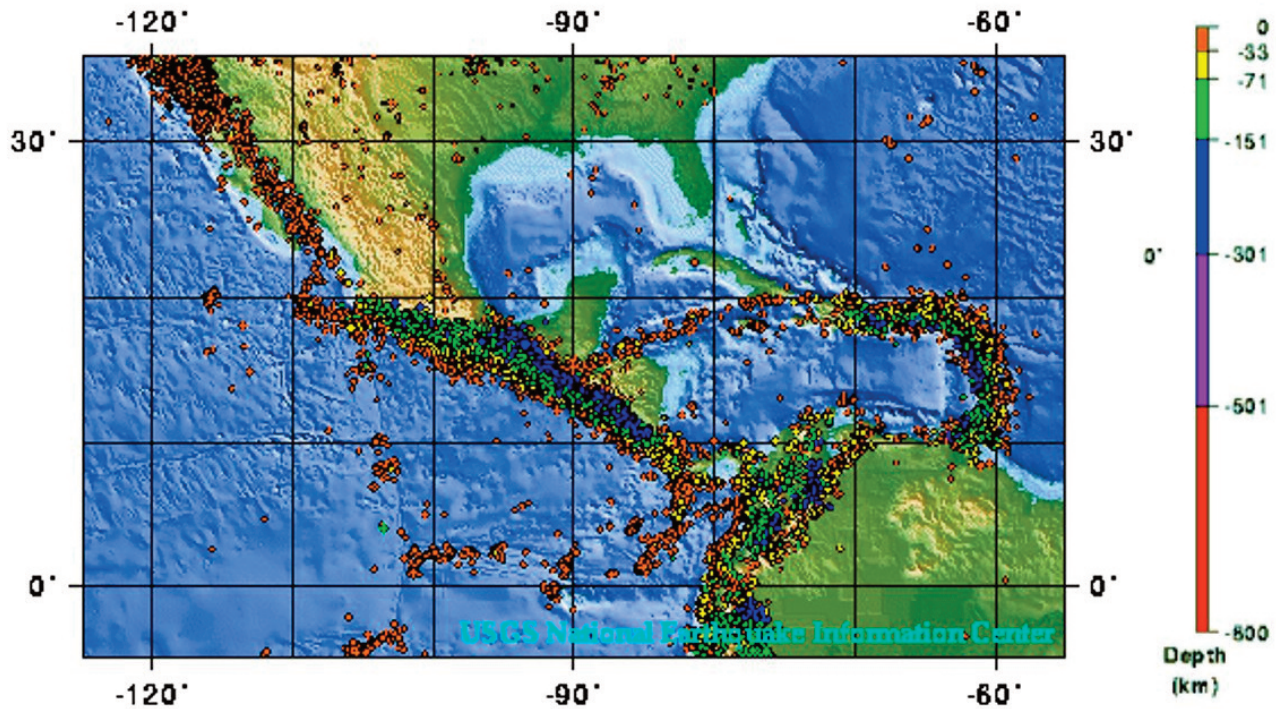


Figura 7. Distribución de los terremotos en el área del Caribe y Centroamérica, Norteamérica-sur y Suramérica-norte (Ilustración del USGS. *National Earthquake Information Center*).

el Cretácico inferior el desarrollo de un sistema de arcos de islas volcánico.

Muchos de los modelos evolutivos del Caribe han considerado la existencia de un «gran arco volcánico» como una entidad única e indivisible (Pindell y Barrett, 1990; Pindell, *et al.* 1994). Sin embargo, con el transcurso de los años y a medida que se ha profundizado en el tema, se han revelado una serie de evidencias que confirman la existencia de diversas unidades de arco (Iturralde-Vinent, 1996 c, d, ed. 1997, 1998; Kerr *et al.*, 1999). Esto último está en concordancia con la idea del autor de la existencia de burbujas mánticas, como mecanismo motor del origen y desarrollo de los arcos de islas volcánicos, porque las burbujas mánticas ocurren en pulsaciones sucesivas de gases a alta presión y temperatura lo que permite un desarrollo y evolución del arco discernible por las características petrológicas de sus componentes.

Al principio un evento catastrófico ocurrió cuando una potente burbuja mántica logró atravesar la delgada corteza oceánica y comenzó la formación

de lo que se ha denominado arco boninitico.

Las rocas de este arco inicial, han sido descritas por Kerr *et al.* (1999) como parte de las rocas básicas que aparecen y conforman bloques tectónicos entre las secuencias del complejo ofiolítico. En el referido trabajo se propone que dichas boninitas representan un magmatismo de arco volcánico, que con posibilidad comenzó durante un período pre-Albiense y abortó temprano en el Cretácico. En Cuba Central un indicio de la existencia de este arco es el complejo de las rocas metamórficas e intrusivas de la zona de Iguará-Perea (Millán, 1996). Allí afloran pequeños intrusivos con afinidad geoquímica de arco de islas, que cortan diabasas anfibolitizadas que se interpretan como el substrato oceánico metamorfozido del arco boninitico (Iturralde-Vinent, 1998). La existencia de terrenos terrígenos y carbonatados metamorfozados (Pinos, Escambray) sugieren que ellos son ventanas tectónicas de los terrenos sedimentarios que ocupaban el fondo oceánico cuando ocurrió el surgimiento catastrófico del original arco de islas volcánico.

Después de una pausa en que se generó nueva acumulación de volátiles ocurrió una nueva pulsación del mecanismo de formación del AIV y comenzó a formarse el arco primitivo durante el accionar de una nueva burbuja mántica.

En Cuba constituyen indicios directos de un arco primitivo, las rocas del Albiense Medio y más antiguas, que se conocen sólo en la región de Las Villas (Fm. Los Pasos), equivalentes a basaltos, traquibasaltos y dacitas, intercalados con rocas piroclásticas, epiclásticas y sedimentarias (Iturralde-Vinent, 1996 d, 1998; Kerr *et al.*, 1999). Otra evidencia está relacionada con la presencia de clastos de rocas plutónicas y volcánicas en los conglomerados de edad Aptiense-Albiense que se localizan al sur de Santa Clara y en Camagüey (Iturralde-Vinent, 1996 d, 1998).

Finalmente, una nueva acumulación de energía generó una tercera burbuja que renovó la actividad volcánica y comenzó la tercera etapa de desarrollo del sistema volcánico de arcos de islas con la formación del vulcanismo de arco volcánico Albiense-Campaniense.

Como se observa, la concepción de la probable existencia de burbujas mánticas como mecanismo termodinámico generador de la energía requerida para la formación de los arcos de islas volcánicos es concordante con la historia de formación y desarrollo del sistema volcánico de arcos de islas cubano del Cretácico.

Clasificación de las burbujas mánticas

Sobre la base de la distribución de las burbujas mánticas en la superficie terrestre estas pudieran clasificarse en 4 grupos a saber:

1.- Burbujas ascendentes a través de las zonas de compresión. Estas burbujas, al ascender a través de contactos entre placas que están en compresión tienden a generar tanto vulcanismo, así como, numerosos terremotos porque las burbujas no encuentran una salida a la superficie debido al estado de compresión entre las placas actuantes.

2.- Burbujas ascendentes a través de las zonas de distensión. En las zonas de distensión de corteza, al estar las placas divergiendo, no hay acumulación suficiente de gases y por tanto de presión y por eso el vulcanismo y los terremotos tienen menor ocurrencia.

3.- Burbujas ascendentes dentro de la corteza continental. El proceso de ascensión de las burbujas mánticas a través de los continentes es lento y requiere de enormes presiones. En el pasado, las burbujas generadas bajo el primigenio súper continente cumplían con esas condiciones y en su ascenso creaban montañas y enormes volcanes. Actualmente, las burbujas actuantes bajo los continentes generan menores presiones, su actividad es menos catastrófica y sólo remanentes de los antiguos súper volcanes se observan, como es el caso del súper volcán de Yellowstone.

4.- Burbujas ascendentes dentro de la corteza oceánica. Las burbujas que ascienden del manto a través de la corteza oceánica, al haber un menor espesor de la corteza suelen producir enormes erupciones submarinas que con frecuencia crean islas. En esas condiciones la sucesión e intensidad de los procesos favorecen más al vulcanismo que a los sismos. Sin embargo, cuando estas burbujas generan un sismo, estos suelen ser muy intensos y ocasionar destructivos tsunamis.

CONCLUSIONES

- El concepto de burbujas mánticas es original, no existe precedencia en la literatura y viene a complementar las ideas que se tenían, hasta el momento, sobre las regularidades espacio-temporales en el origen y evolución de la Tierra.
- El planeta Tierra desde su origen y durante todo su desarrollo ha estado de manera dramática influenciado por las burbujas mánticas que han estado presentes desde los orígenes del planeta. Ellas han conducido

toda la evolución del planeta que de forma fatal transita desde una completa incandescencia y mediante un enfriamiento constante, hasta un final frío sin atmósfera y sin agua.

- Los terremotos y los volcanes son manifestaciones de fenómenos de genética similar signados por la acción de las burbujas mánticas y donde las relaciones espaciales entre las placas tectónicas sólo han contribuido como vías de acceso del magma y sus gases a la superficie. Ambos fenómenos tienen un factor genético común que es la expulsión de magma con gases a presión desde el manto a través de burbujas mánticas que se generan en el manto y que ascienden por zonas de debilidad tectónica.
- Hay que desechar la idea de mecanismos solo dinámicos provocados por las placas litosféricas para explicar el origen de los terremotos. Las fuerzas generadoras de los terremotos y de los volcanes son de origen termodinámico y profundo con prevalencia de gases a presión.
- El descubrimiento del origen neumatolítico de terremotos y volcanes a partir de las burbujas mánticas como mecanismo genético, constituye una herramienta de valor para la mejor comprensión de ambos fenómenos y su posible pronóstico.
- A diferencia de la idea de las corrientes de convección como motor de las placas; se propone la acción de fuerzas universales como la gravedad y la rotación de la Tierra como mecanismos rectores de la dinámica de las placas litosféricas de la Tierra.
- De acuerdo con las áreas de impacto de las burbujas mánticas con la superficie del planeta se distinguen 4 tipos: (a) De las zonas de compresión, (b) De las zonas de distensión, (c) Intra-continetales y (d) Intra-oceánicas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duncombe, J.**, 2019, El misterio sin resolver de las manchas de la Tierra, *Eos*, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO117193>.
- Hofmeister Anne**, 2022, «El motor principal de los movimientos tectónicos de la Tierra está en el cielo» *Revista GSA Special Papers de la Sociedad geológica de los EE.UU.*
- Iturralde-Vinent, M.A.**, 1996c, El arco de islas volcánicas del Cretácico. In: *Oliolitas y Arcos Volcánicos de Cuba* (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364, Special Contribution 1, pp. 179-189.
- Iturralde-Vinent, M. A.**, 1996d, Evidencias de un arco primitivo (Cretácico inferior) en Cuba. In: *Oliolitas y Arcos Volcánicos de Cuba* (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364, SpecialContribution 1, pp. 227-230.
- Kerr, A. C., Iturralde-Vinent, M. A., Saunders, A.D., Babbs, T.L., Tarney, J.**, 1999, A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 111, pp. 1581-1599.
- Millán, G.**, 1996, Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba. In *Oliolitas y Arcos Volcánicos de Cuba* (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364 SpecialContribution 1, Miami, USA, pp. 147-153.
- Pindell, J.**, 1985, Alleghenian reconstruction and the subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas and proto-Caribbean Sea. *Tectonics* 3, pp. 133-156.
- Pindell, J., Cande, S., Pitman, W., Rowley, D., Dewey, J., Labrecque, J., Haxby, W.**, 1988, A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution. *Tectonophysics*, 155. pp. 121-138.
- Pindell, J., Dewey, J.F.**, 1982, Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico-Caribbean region. *Tectonics* 1 (2), pp. 179-212.

Pindell, J.L., 1994, Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean. In: Caribbean Geology: An Introduction (Eds. Donovan, S.K., Jackson, T.A.). U.W.I. Publishers' Association, Kingston, Jamaica, pp. 13-39.

Pindell, J.L., Barrett, S.F., 1990, Geological evolution of the Caribbean region; A plate-tectonic perspective. In: Dengo, G., Case, J.E.

(Eds.), The Caribbean Region (The Geology of North America, vol. H). Geol. Soc. Am., Boulder, CO, pp. 339-374.

Fecha de recepción: 20 de enero de 2023

Fecha de arbitraje: 1 de febrero de 2023

Fecha de aprobación: 20 de febrero de 2023

