

LA SISMICIDAD DEL TERRITORIO ARGENTINO EN RELACION CON LAS NUEVAS IDEAS DE TECTONICA GLOBAL

FERNANDO VOLPONI

Instituto Sismológico Zonda, Facultad de Ingeniería,
Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Cuyo

El límite occidental del territorio argentino coincide con el borde occidental de la placa Sudamérica, que es un borde de tipo fosa, sísmicamente muy activo. En él la placa Pacífico penetra bajo la masa continental con velocidad relativa de unos 8 cm/año, y se hunde nuevamente en el manto.

El problema del riesgo sísmico del territorio argentino puede ahora analizarse bajo el punto de vista que ofrece la nueva hipótesis de Tectónica Global. Los mapas de epicentros solo representan la fase actual de la actividad sísmica pero si las placas se comportan como bloques rígidos y la actividad sísmica no es otra cosa que el resultado de sus movimientos relativos, poseemos ahora, un criterio más general para la apreciación de la sismicidad.

La actividad sísmica disminuye desde los bordes hacia el interior de las placas pero nada puede decirse de la forma de dicha variación, que parece diferente entre zona y zona. En relación con la profundidad, la actividad depende del tipo de borde. Los sismos profundos solo se producen en los bordes tipo fosa, alcanzando profundidades de hasta 700 kilómetros. En el territorio argentino, son zonas de focos profundos la provincia de Santiago del Estero y partes de las de Salta y Chaco.

La actual aparente calma sísmica en el sur del borde sudamericano, debe considerarse como una situación temporaria que puede modificarse en el futuro.

The occidental border of the Argentine territory is of the trench type, and seismically it is very active. It is supposed that, in it, the Pacific Plate penetrates under the American continental block, with a relative velocity of 9 cm/year.

The new hypothesis, the Global Tectonic one, gives us a new criterion for the interpretation or the study of the seismic risk of a zone.

It is clear that the Epicenter Maps are simply a representation of the present day seismicity. They encompass too short a period of time. If the seismic activity is the action between solid plates, then we are now in possession of a more general rule to estimate the seismicity of a region.

We know that the seismic intensity decreases for points in the interior of the plates, so, the law of this variation is quite variable.

In relation with the depth the seismic activity depends on the type of the border; only on the borders of the trench type we have deep focus earthquakes.

In the Argentine territory we have deep focus earthquakes in the Santiago del Estero, Salta and Chaco provinces. From time to time these earthquakes are felt in Buenos Aires. Their depth is always around 700 km. The actual low activity on the southern part of the Southamerican continent must be considered as a temporary situation that may change abruptly in the next future.

INTRODUCCIÓN

Hoy interpretamos la sismicidad de la tierra, en general, y del territorio argentino, en particular, bajo un nuevo aspecto.

No obstante, no se sabe aún si las nuevas hipótesis, nacidas del estudio de una cierta cantidad de datos experimentales, constituyen o no pasos hacia delante en el conocimiento de los fenómenos geológicos.

Para dar una exposición clara y simple del problema tenemos que empezar por recordar algunos conceptos básicos.

ESCUDOS, CRATONES, BLOQUES, PLACAS

La idea que la corteza de la tierra se compone de bloques más o menos estables pero que pueden tener entre sí movimientos relativos, es vieja. Fue expuesta por E. Suess (1888), quien admitía que las montañas de Asia Central se debían al desplazamiento del bloque asiático hacia el Sur contra el bloque del Océano Indico. Más tarde Wegener (1910) también presupone la existencia de bloques independientes en movimiento relativo.

En su análisis de la estructura de la corteza terrestre, Gutenberg y Richter (1951), distinguen siete principales bloques estables: La plataforma del Océano Pacífico, el Escudo Canadiense, el Escudo Brasileño (comprendiendo Sudamérica y la América Central), Eurásia, África, Australia (con India y Arabia), y finalmente, la Antártida.

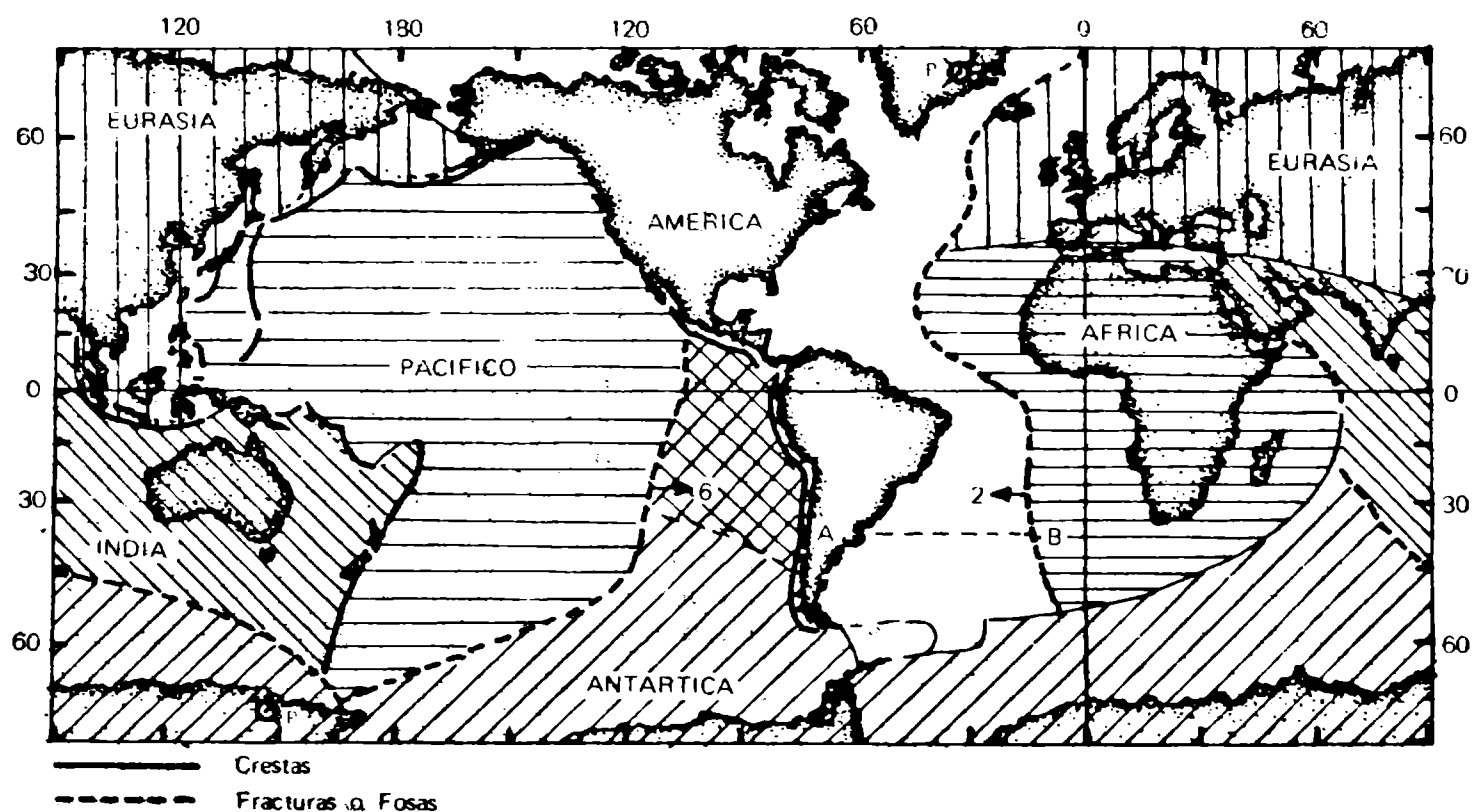


Figura 1. Placas Eurasia, Pacífico, América, África, India, y Antártica, según Le Pichón (1968). Se muestran las tres crestas principales; las posiciones de los polos relativos (P) del movimiento entre las placas América y África; y las velocidades tangenciales de desplazamiento de dichas placas en centímetros por año. (6 y 2).

Hoy se plantea el problema de una Tectónica Global, y se habla, en especial, de una Tectónica de Placas.

Diversos autores, H. H. Hess, R. S. Dietz, L. R. Sykes, M. J. Morgan, Xavier Le Pichon, entre otros, vuelven a considerar la corteza terrestre dividida en un cierto número de placas, dando origen a un nuevo capítulo en la interpretación de los fenómenos geológicos.

El número de placas que se considera depende del grado de detalle según el cual se hace la clasificación. Así, mientras Morgan considera una veintena, Le Pichon toma en consideración solo seis placas principales.

La figura 1 muestra las seis placas consideradas por Le Pichon. Su única diferencia, con la división efectuada por Gutenberg y Richter, se encuentra en la Placa América, que estos últimos autores consideran dividida en dos: el Escudo Canadiense, al norte, y el Escudo Brasileño al sur, abarcando la América Central y del Sur.

SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS CAPAS MAS EXTERNAS DE LA TIERRA

Desde que Gutenberg lo hiciera, se mantiene el criterio de considerar la parte externa de la tierra como compuesta de una litosfera rígida, con un espesor de algunas decenas de kilómetros, apoyándose sobre una capa de escasa rigidez que fue bautizada Astenosfera (del griego Asthenos = debil).

Es evidente que la Discontinuidad de Mohorovicic pierde importancia en los procesos geodinámicos. Esta discontinuidad fue descubierta como un fenómeno geofísico, por el incremento brusco de la velocidad de las ondas elásticas a través de ella.

Nos hemos acostumbrado llamar Corteza a las capas que están por arriba de la discontinuidad de Mohorovicic, y Manto a las que se encuentran por debajo. Pero en los fenómenos geodinámicos es más apropiado hablar de Litosfera y de Astenosfera. Morgan y Le Pichon prefieren el nombre Tectosfera para la Litosfera, que Morgan supone de espesor igual a unos 100 kilómetros.

MOVIMIENTOS RELATIVOS ENTRE PLACAS

Se considera cada placa como un cuerpo rígido que se adapta sobre la forma esférica de la tierra. Luego, por condiciones de vínculos, el movimiento de una placa corresponde al movimiento de un cuerpo sólido con un punto fijo, que en este caso, es el centro de la tierra.

El movimiento relativo entre dos placas puede siempre reducirse a una simple rotación W alrededor de un eje que pase por el centro de la tierra (Le Pichon, 1968; Morgan, 1968). Se puede así llamar Polos del movimiento relativo a las intersecciones del eje de rotación con la superficie de la tierra, puede también hablarse de un Ecuador correspondiente a ese movimiento relativo.

La figura 2 muestra esquemáticamente, sobre una superficie esférica dos placas I y II, que se han separado una cierta cantidad. Los puntos P_1 y P_2 muestran los polos del movimiento relativo, y la recta que los une es el eje de rotación del movimiento.

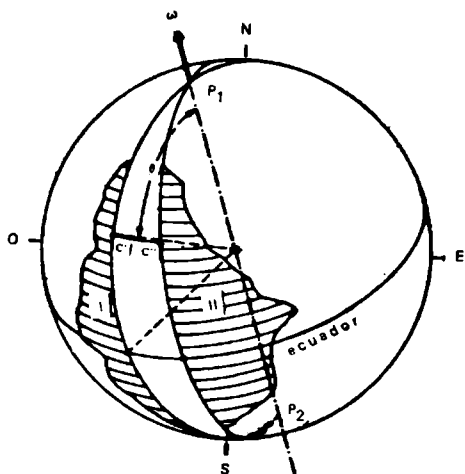


Figura 2. Representación esquemática de la separación entre placas I y II. Los polos P_1 y P_2 del movimiento relativo, definen el eje de rotación. La separación de dos puntos (c' y c'') es función sinusoidal del ángulo O .

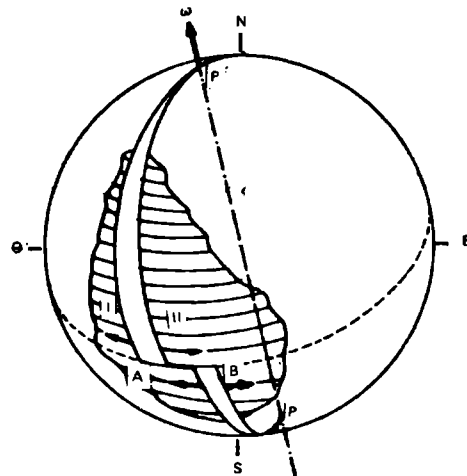


Figura 3. Representación esquemática de una zona de fractura -Transform Fault- en la línea de separación entre dos placas (cresta).

Es importante observar que si dos placas se están separando en la superficie de la tierra, la separación que habrán alcanzado dos puntos (C' y C'') después de un cierto tiempo de haber comenzado el movimiento, es una cantidad proporcional a su distancia al eje de rotación relativo, y por consiguiente, proporcional al seno del ángulo comprendido entre el eje de rotación y el radio que une los puntos con el centro de la tierra (colatitud relativa).

UN NUEVO TIPO DE FALLA

La línea a lo largo de la cual se separan dos placas, no es, en general, un arco de un único círculo máximo. Detallados relevamientos de los fondos oceánicos demostraron que se presentan numerosos desplazamientos transversales que transforman a la línea de separación en una figura complicada compuesta de diferentes segmentos curvilíneos, unos en la dirección de los meridianos y otros en la dirección de los paralelos del movimiento relativo.

La figura 3 muestra, esquemáticamente, uno de dichos desplazamientos transversales, indicado por el segmento $A B$.

La zona $A B$ es una zona de fractura, a lo largo de la cual las placas se deslizan, una con respecto a la otra, en sentido horizontal. Se trata de una falla en términos geológicos, pero que tiene la particularidad de estar limitada en ambos extremos A y B . El profesor Wilson (1965), le dio el nombre de "Transform Fault".

Es importante observar que todos los círculos máximos normales al segmento $A B$, se cortan en dos puntos opuestos con respecto al centro de la tierra, que son justamente los polos del movimiento relativo. En forma más general, si la línea de separación entre dos placas contiene muchas "Transform Fault", los círculos máximos normales a cada una de ellas, se tienen que cortar en los polos del movimiento relativo.

VELOCIDAD DE SEPARACION DE DOS PLACAS

Si consideramos el movimiento relativo entre dos placas, la velocidad angular ω tendrá un valor único para todos los puntos pero la velocidad tangencial relativa de los mismos dependerá de su posición sobre la superficie y será una función sinusoidal de la colatitud del movimiento relativo. Consecuentemente, la separación entre las placas, pasado un cierto tiempo, también será una función de la misma colatitud, por lo que los puntos que habrán alcanzado la máxima separación serán aquellos que se encuentran sobre el ecuador relativo.

Las simples consideraciones anteriores de carácter geométrico, parecen un poco artificiosas. Nacieron, sin embargo, de observaciones experimentales y permitieron realizar diferentes determinaciones de la posición de los polos de los movimientos relativos entre pares de placas (Le Pichon, 1968).

Tanto con el método de la convergencia de los círculos máximos, normales a las "Transform Faults", como con el que se basa en la variación sinusoidal de la velocidad tangencial de separación entre dos placas, se llega a resultados parciales con dispersión grande. Pero interpretados los dos conjuntos de valores, conforme con el método de mínimos cuadrados, se llega a dos resultados finales independientes que no están en contradicción acentuada, uno con respecto al otro. En la figura 1 se han indicado los polos del movimiento relativo entre las placas América y Africa, de acuerdo con los resultados que fueron obtenidos por Le Pichon (1968), aplicando el método de la variación de la velocidad tangencial.

LA HIPOTESIS DE H. H. HESS, Y DE R. S. DIETZ

ANTEDECENTES

Los primeros geólogos que hablaron de desplazamientos de bloques continentales, lo hicieron impresionados por los grandes sobreescurrecimientos de capas de rocas que se observan en algunos afloramientos en zonas montañosas.

A Wegener le llamó fuertemente la atención la similitud de algunos bordes continentales. En especial, el de Sudamérica oriental con el de Africa occidental, y el de Africa oriental con el de Arabia y la India. Fue así inducido a pensar que diferentes masas continentales, que ahora se encuentran separadas, formaron, tiempo atrás, un solo continente.

Gutenberg y Richter (1951) suman a los dos criterios anteriores otro nuevo: la distribución de la actividad sísmica sobre la tierra. La distribución global de la sismicidad demuestra que existen zonas estables, poco activas, y zonas inestables, en las cuales la actividad telúrica es intensa. Pero lo notable es que la distribución de estas últimas aparece en forma marcadamente lineal, constituyendo los bordes de las áreas sin actividad. Muy concluyentes fueron, en este sentido, los mapas de la sismicidad mundial publicados por la Coast and Geodetic Survey por M. Barazangi y J. Dorman, (1969).

Nace de inmediato la idea de suponer que la actividad sísmica puede ser debida a movimientos relativos entre placas. Bloques rígidos de la litósfera podrían estar moviéndose unos con respecto a otros, deslizándose sobre una capa, la Astenosfera, que por su poca rigidez lo permitiría. La interacción entre bloques o placas de la Litosfera, en las zonas de contacto, daría origen a los sismos.

CRESTAS, FRACTURAS Y FOSAS

Los bordes de las placas estables son sísmicamente activos, y según las nuevas hipótesis, se dividen en tres clases diferentes: Crestas (Ridges), Líneas de Fracturas, y Fosas (Trenches).

Existen tres crestas principales (figura 1): la del Océano Atlántico, que va desde el Polo Norte a las islas Sandwich del Sur; la del Océano Pacífico, que va desde el sur de California hasta el sur de Australia; y la del Océano Índico, que desde el Mediterráneo pasa por el Mar Rojo y sigue hasta el sur de la Isla de Madagascar. Es importante notar que las tres crestas tienen dirección predominante norte-sur, lo que indica que la posición de los ejes de los movimientos relativos no se aparta mucho de la del eje de rotación terrestre.

El bloque sudamericano tiene una Cresta en su borde oriental, la cresta del medio del Océano Atlántico, una fosa en su borde occidental, la fosa que acompaña a la Cordillera de los Andes; y una serie de fallas o líneas de fracturas al Sur, que pasan por el archipiélago de las Islas Sandwich y terminan al sur de Tierra del Fuego.

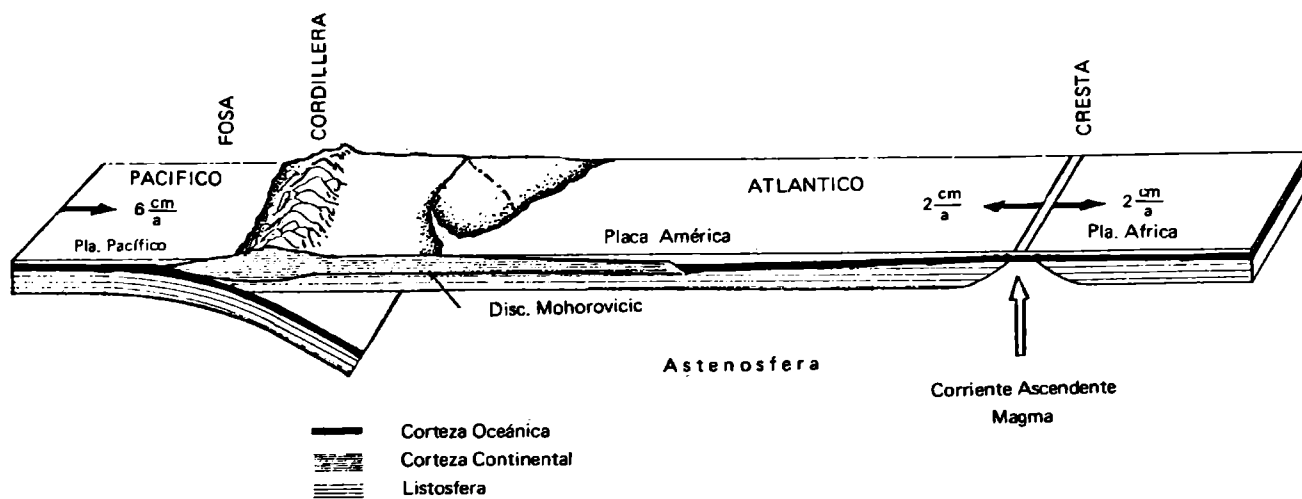


Figura 4. Esquema del movimiento relativo entre las placas Pacífico, América y África, con indicación de las respectivas direcciones y velocidades. La placa Pacífico se sumerge en el magma como consecuencia de la colisión con placa América, originando gran actividad sísmica en el borde continental, formación de una fosa oceánica, y de la cordillera misma.

Según las nuevas hipótesis, las crestas son zonas en las cuales se va generando constantemente nueva litosfera, (figura 4). La superficie de los fondos oceánicos, en los cuales se encuentran las crestas, va así aumentando. Si se acepta que la superficie total de la tierra no varía, es necesario admitir que, en otras zonas, parte de la litosfera va desapareciendo. Tal cosa sucedería, en efecto, en las fosas.

En virtud del crecimiento de litosfera que se produce en la cresta del Océano Atlántico, la placa sudamericana es desplazada constantemente hacia el oeste. En la zona del corte representado en la figura 4, la velocidad del desplazamiento, según resultados consignados por Le Pichon, Morgan y otros, sería de unos 2 cm/año. La masa continental es transportada como una carga que viaja sobre la placa de la litosfera.

A su vez, la placa del fondo del Océano Pacífico, a partir de la cresta que pasa por la Isla de Pascua, se desplaza hacia el este con una velocidad de unos 6cm/año. Conforme con datos experimentales, que veremos más adelante, al chocar la placa del Océano Pacífico contra la plataforma continental sudamericana, se inclina hacia abajo formando un ángulo de unos 30 grados con respecto a la horizontal, penetra debajo del continente y se hunde nuevamente en el manto.

Los grandes plegamientos, los sistemas de fracturas, los importantes levantamientos de corteza, la fosa, en otras palabras, el orógeno representado en la cordillera de los Andes, no serían otra cosa que consecuencias de la acción que ejerce la placa del Océano Pacífico al introducirse debajo de la masa continental y sumergirse nuevamente en el manto.

PLANOS Y PERFILES SISMOGRAFICOS

Así como los mapas que representan la distribución global de la actividad sísmica, han sido decisivos en el problema de la subdivisión de la litosfera en diferentes placas, los perfiles o cortes verticales que muestran la distribución de la actividad en relación con la profundidad, han sido factores importantes en la formulación de la hipótesis del hundimiento, y consiguiente desaparición, de parte de la litosfera en el manto.

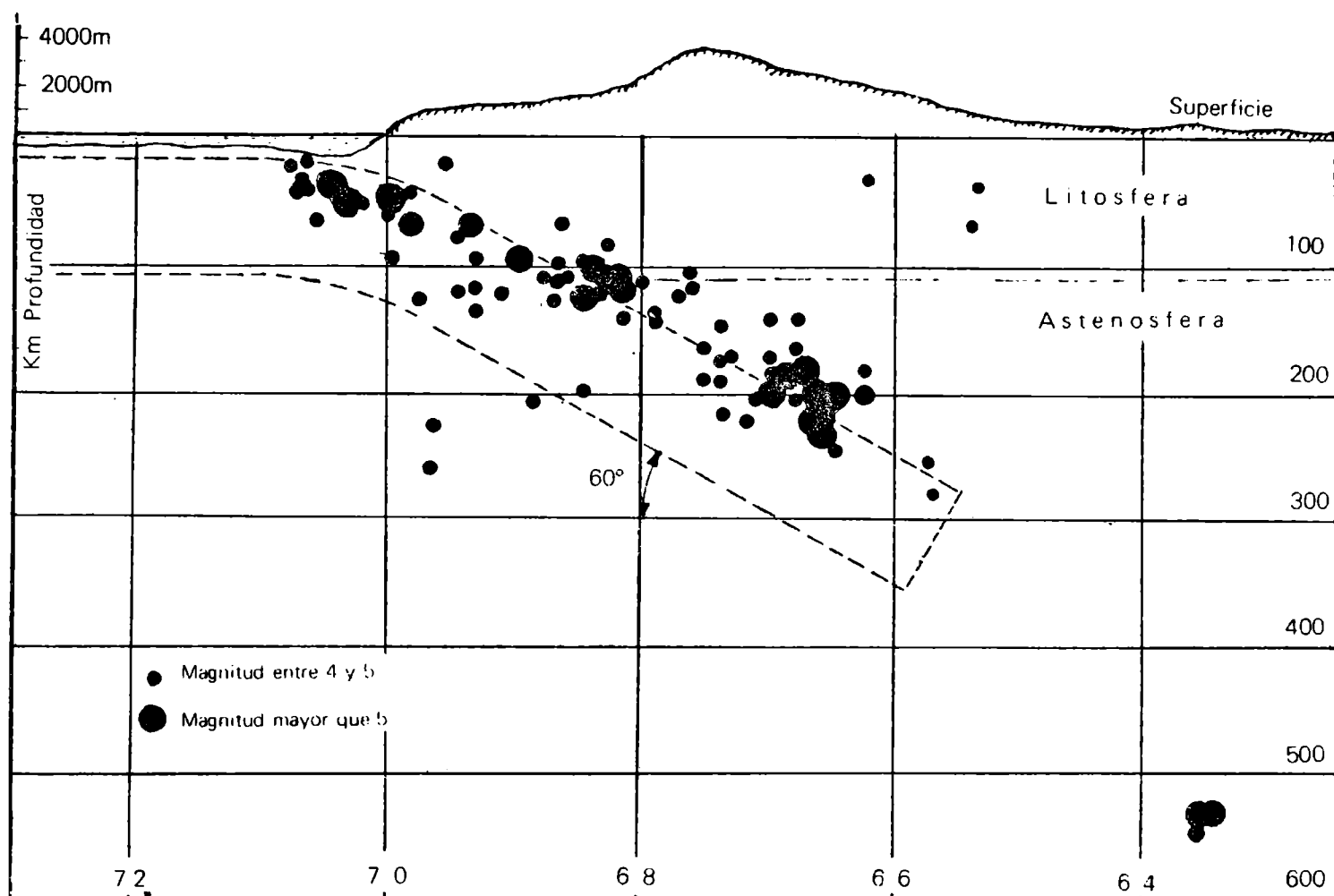


Figura 5. Perfil normal a la cordillera, con distribución de los focos de los sismos registrados en 1968, entre latitudes 18° S y 26° S. La inclinación de la capa se aproxima más a 30 grados que a 45; valor este común en otras partes de la Tierra. Debe acotarse que la determinación de profundidades de focos están afectadas de errores importantes.

La figura 5 muestra un corte vertical, normal a la Cordillera. En un plano vertical se han proyectado los sismos que se produjeron durante el año 1968, entre las latitudes de 18° S y 26° S. Correspondiendo así a la zona del noroeste argentino, en el límite con Chile y Bolivia, que comprende a las Provincias de Salta y Jujuy. Resulta sorprendente, y muy sugestiva, la asimetría que presenta la figura, como si efectivamente casi toda la actividad se produjera en una capa, de un cierto espesor, que se fuera hundiendo bajo la Cordillera.

Estas características ya habían sido observadas por Gutenberg y Richter (1951), y posteriormente fueron analizadas con más detalles por H. Benioff (1955). Algunos autores suelen ahora llamar "zona de Benioff", a la capa inclinada dentro de la cual se manifiesta la mayor sismicidad.

La máxima profundidad hasta la cual se registran sismos es de unos 700 km, pero en muy pocas partes del mundo llegan a tal valor. En Sudamérica existen dos zonas de focos profundos, ambas son aproximadamente paralelas al eje de la cordillera, con dirección predominante Norte-Sur. La primera se encuentra en el límite del Perú con Brasil; la segunda, en territorios boliviano y argentino, empieza a la altura del paralelo 18° y sigue hacia el sur hasta la Provincia de Santiago del Estero.

La variación de la actividad como función de la profundidad, es muy diferente entre una zona y otra. En casi todas partes, aunque irregular, es continua entre la superficie y la máxima profundidad a la cual llega, pero en Sudamérica presenta la particularidad de ser discontinua.

En la zona abarcada por los sismos de la figura 5, la actividad es más o menos continua desde la superficie hasta la profundidad de unos 300 kilómetros, luego desaparece completamente para reaparecer más allá de los 550 kilómetros.

¿Qué sucede con la capa de litosfera que se hunde, entre los 300 y 550 kilómetros de profundidad? Se han intentado algunas respuestas pero quedan algunas incognitas latentes.

Al sur del paralelo 26° S, en la zona que comprende las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, la capa profunda dentro de la cual no se registra actividad sísmica es aún mayor que en las provincias del norte. Se registra actividad sísmica en forma más o menos continua entre la superficie y los 200 kilómetros, luego desaparece completamente para reaparecer recién a unos 570 kilómetros de profundidad, desplazada hacia el este, hasta el meridiano 64° O. Esos terremotos de focos profundos (llamados de Santiago del Estero) se repiten frecuentemente y son conocidos en muchos laboratorios sismológicos del mundo.

La figura 6 muestra, claramente, la parte que toca al territorio argentino, de la sismicidad que se produce en el continente sudamericano. Solamente están representados sismos que llegan hasta la profundidad de 100 kilómetros, los que, en conjunto, alcanzan un porcentaje superior al 70% del total.

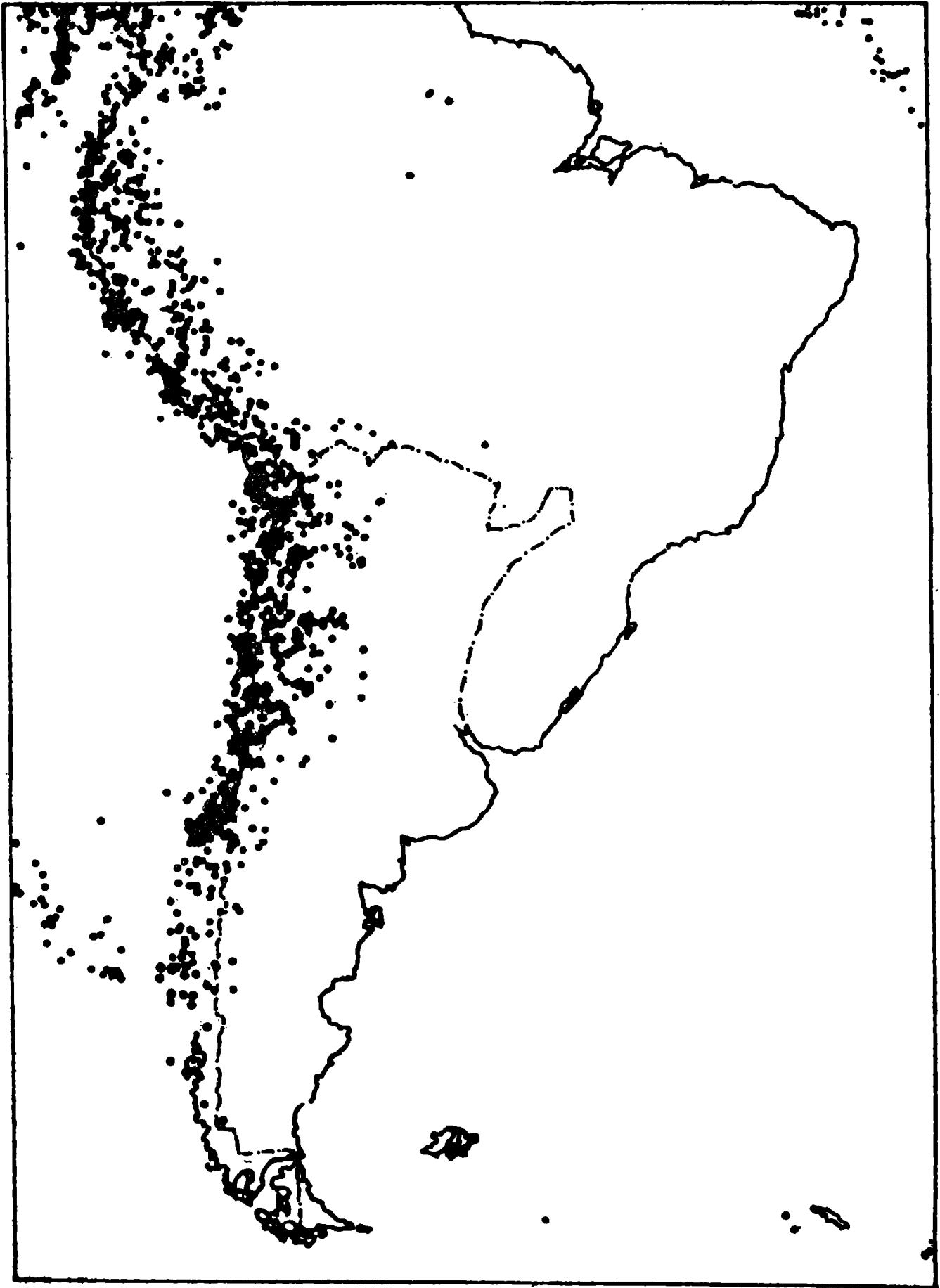


Figura 6. *Episntros de los sismos ocurridos entre 1961 y 1967, hasta 100 km de profundidad (Barazangi y Dorman, 1969). La escasa actividad en el extremo sur del continente puede deberse a un periodo de tranquilidad temporaria pero también a la falta de estaciones sismológicas.*

En forma análoga, la figura 7 representa los sismos que se produjeron durante el mismo intervalo de tiempo pero entre las profundidades de 100 y 700 kilómetros.

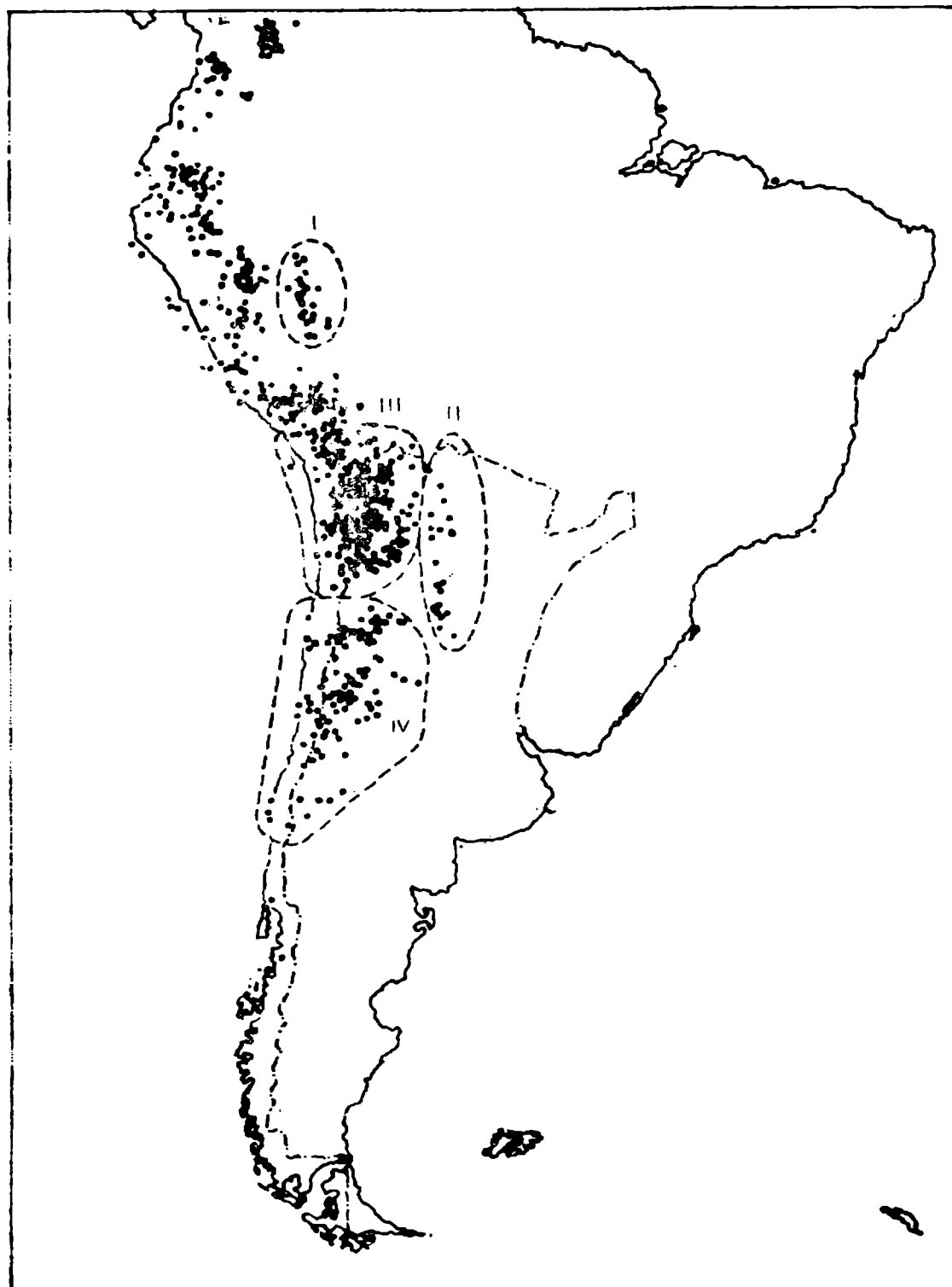


Figura 7. Epicentros de los sismos ocurridos entre 1961 y 1967, entre 100 y 700 km de profundidad (Barazangi y Dorman, 1969). Los focos en zonas I y II fueron profundos, entre 500 y 700 km; los de zona III, entre 100 y 300 km; los de zona IV, entre 100 y 200 km. ¿Cómo conciliar distribución tan irregular con la teoría de Tectónica de Placas?

ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES

Como dije al principio, aún no se puede asegurar si la hipótesis del "Sea-Floor Spreading" constituye un avance en el conocimiento de los fenómenos geológicos. Por ahora podríamos decir que representa un marco dentro del cual armonizan una gran cantidad de datos experimentales de diferente origen, que antes no se les encontraba una vinculación lógica.

En estas líneas solamente he intentado exponer, y en forma parcial, lo fundamental de la nueva hipótesis, con el objeto principal de poder analizar, bajo el nuevo punto de vista, el problema de la sísmicidad del territorio nacional.

Como conclusiones podríamos resumir:

- a) El límite occidental del territorio argentino coincide, en toda su extensión, con el borde occidental de la placa sudamericana. Y el borde es del tipo Fosa (Trench).
- b) Si las placas se comportan como bloques rígidos, y la actividad sísmica que se produce en sus bordes es debida a los movimientos relativos entre ellos, entonces todos los puntos que están situados sobre los bordes mismos, se encuentran en condiciones semejantes de riesgo sísmico.
- c) Se observa experimentalmente que la actividad sísmica disminuye desde el borde hacia el interior de las placas. Falta estudiar la forma de dicha variación, que parece que fuese diferente entre zona y zona.
- d) El hecho que en la actualidad se observe mayor actividad en algunas regiones que en otras, debe ser considerado como una situación temporaria. Los mapas de epicentros, hoy mucho más completos que tiempo atrás, gracias a la registración de terremotos débiles, deben ser interpretados como la representación de la fase actual de la actividad sísmica global o regional.
- e) Algunas partes de los bordes que ahora muestran poca actividad tienen una mayor probabilidad de ser más activos en tiempos futuros. Un ejemplo: Antes del año 1960, la zona de la Cordillera al sur del paralelo 38° S era considerada como poco activa. Pero en el mes de mayo de ese mismo año, se produjeron los grandes terremotos del sur de Chile cuya magnitud alcanzó el valor máximo en esta clase de fenómenos, y desde entonces observamos una actividad continúa y elevada en esas latitudes.
- f) La extraordinaria lentitud de los fenómenos geológicos, si se mide su duración en la escala de la vida del hombre, hace difícil realizar comprobaciones directas de determinadas hipótesis.

Sudamérica se aleja unos 4 cm/año de Africa, en latitudes próximas a 30° S. La Geodesia no dispone de métodos para detectar tal movimiento entre puntos tan distantes, aún pensando en los métodos de tecnología más moderna.

La placa del Pacífico se sumerge debajo de la Cordillera de Los Andes alrededor de unos 8 cm/año, en las mismas latitudes.

Si desde un punto en la Cordillera se pudiese observar una isla que tuviese sus raíces en la placa del Océano Pacífico, la detección del movimiento relativo sería más fácil, tal vez posible dentro de un período de tiempo no muy largo. Sería éste un Experimentum Crucis que evitaría futuras discrepancias de ideas.