

ORIGENES DE LOS OCEANOS, LOS CONTINENTES, LOS TEMBLORES Y LOS GEOFISICOS.

En 1910 Beno Gutenberg era un delgaduchito y diminuto estudiante de física en la Universidad de Göttingen, donde vendía jabón de puerta en puerta para costearse los estudios. Einstein había publicado su teoría de la relatividad, pero la geofísica no existía ni de hecho ni de palabra.

Un año después, Gutenberg calculaba la profundidad del núcleo de la Tierra. Su resultado (= 2900 Km) sigue intacto después de décadas de intensos estudios y comprobaciones cada vez más refinadas. Luego empezaron a precipitarse los acontecimientos: en 1915 el serbio A Mohorovičić probó la existencia de la corteza terrestre, una capa delgada (5 a 70 Km) de roca que recubre el interior de la Tierra como la cáscara envuelve el fruto. En 1920 el inglés Turner demostró que existen temblores de origen profundo, a centenas de kilómetros bajo la corteza. En 1925 Gutenberg editó el "Handbuch der Geophysik", en que se define la geofísica como la rama de la física experimental que se ocupa de la Tierra: su interior, sus mares, su atmósfera, su campo magnético y gravitacional. La nueva ciencia había nacido.

Primeras Décadas.

De 1925 a 1965 se gestó una generación de geofísicos empapados en las enseñanzas de Gutenberg y de su gran rival británico Sir Harold Jeffreys, alto, desgarbado, ligeramente excéntrico, célebre matemático y astrónomo. Hoy Jeffreys tiene más de 80 años y sigue trabajando activamente como antes. Gutenberg está muerto; simbólicamente dejó de existir el año del lanzamiento del primer Sputnik. Diez años más tarde, una nueva generación de geofísicos ha tomado las riendas, generación de románticos de las computadoras, ansiosos de experimentar con nuevas ideas. Lo fantástico ya no evoca sonrisas escépticas cuando es posible hacer miles de cálculos complicados en un segundo. Existen los cinturones de Van Allen, anillos magnéticos invisibles en torno a la Tierra, misteriosas trampas de radiación. Se comprueba que los grandes temblores hacen oscilar la Tierra entera como si fuera una gigantesca campana, y que producen en la ionosfera olas atmosféricas de amplitudes kilométricas. Los océanos contienen aguas fósiles, cuya edad se determina con ayuda del carbono 14. El magnetismo residual de las rocas demuestra que continentes enteros han girado y cambiado de lugar.

Antes se decía al público las frases consabidas, llenas de modestia y "sobriedad científica". Recordábamos al lego todo lo que no sabíamos respecto a la Tierra. "Cómo", exclamábamos con sorpresa un poco fingida, "¿nos creen ustedes capaces de llegar a predecir los temblores? Qué esperanza..." Y añadíamos aquello de que el hombre conoce mejor el interior de las lejanas estrellas que el de su propia Tierra. Con un poco de ironía, discutíamos las diversas teorías de si el núcleo estaba

hecho de una aleación de hierro-níquel fundido, de un plasma comprimido, o quizá de un nuevo estado de la materia. Pero en el fondo, poco nos importaba que el núcleo estuviera hecho de cajeta: aquellas eran especulaciones ociosas, ya que solamente lo susceptible de comprobación experimental era digno de estudio.

Hoy el clima científico ha cambiado radicalmente. Los "especuladores ociosos" como Wegener (quien en 1920) postuló que los continentes estaban a la deriva y que África y Sudamérica antes estaban unidos en un mismo bloque continental) son los profetas de hoy. Pero las teorías eran muchas. Adolfo Hitler, por ejemplo, creía que la Tierra estaba hueca y que estábamos viviendo en su superficie interior, mirando siempre hacia el centro. Según este punto de vista, las estrellas y otros cuerpos celestes no pasaban de ser unas pocas bolitas de nieve revoloteando en el interior del planeta. No faltaron doctores en las universidades alemanas dispuestos a apoyar con entusiasmo la nueva doctrina.

Pero volvamos al centro de la Tierra. El núcleo de la Tierra es un esferoide masivo del tamaño aproximado del planeta Marte. Al principio se pensaba que era enteramente líquido, puesto que no transmitía las ondas S o cortantes, cuya propagación depende del módulo de rigidez. Cuando la sustancia no tiene rigidez (como en un líquido o gas) la velocidad de la onda S es cero, es decir, no se propaga. Así, en las anépocas de un temblor se observa una "zona de sombra" para ondas cortantes, y del diámetro de esta sombra es posible calcular el diámetro del núcleo (Fig 1).

En esto, la señorita Ilse Lehmann, sismóloga danesa de la generación de Gutenberg y Jeffreys, anunció un descubrimiento original: el núcleo de la tierra posee a su vez otro núcleo más pequeño pero sólido. De este modo, hace diez años el centro de la Tierra dejó de ser líquido y se encuentra en tierra firme, para gran alivio de todos los aprensivos. La explicación es menos fácil, y sin embargo es lógica.

Ya hemos visto que las ondas S no se propagan en los fluidos. Hay, eso sí, otro tipo de ondas que sí se propagan tanto en fluidos como en sólidos: son las llamadas "ondas P", más conocidas como ondas sonoras. Un sonido se propaga por un mecanismo de compresión y dilatación del material, en que interviene otra constante elástica además de la rigidez. Así se explica el hecho sabido de que el sonido atraviesa tanto fluidos como sólidos, por supuesto que con una velocidad de propagación distinta de la de las ondas S.

Un temblor presenta el mismo caso de un relámpago, en que un mismo evento instantáneo genera dos tipos de ondas que se propagan a velocidades diferentes. Supongamos a tres observadores A, B, C (fig. 2), que miden simultáneamente el intervalo de tiempo entre rayo y trueno. Como este intervalo es proporcional a la distancia de propagación, se pueden calcular las distancias OA, OB, OC y con ayuda de un compás, estimar el punto geográfico en que ha caído el rayo. Este es el método que se usa

para determinar el epicentro de un temblor. Si A', B', C' son tres estaciones sismológicas que registran las ondas P y S de un temblor, la diferencia entre éstos dos tiempos de llegada es proporcional a la distancia epicentral de cada estación. Entonces, conociendo las velocidades respectivas de las ondas P y S es posible calcular el epicentro o punto geográfico bajo el cual se originó el temblor.

Ilse Lehmann, observando pacientemente los diferentes tipos de ondas que se registraban cerca de las antípodas de los temblores, había descubierto una "fase" nueva (fig. 3). El sismograma a tales distancias es muy complejo, debido a que cada onda, al pasar de un medio a otro, genera simultáneamente ondas P y S. Además, ambos tipos de ondas se reflejan en la superficie y en las diversas discontinuidades internas de la Tierra. La nueva fase descubierta por la Srita Lehmann se explicaba por el hecho de que las ondas P volvían a generar una onda S en el núcleo interior ("inner core"), que se atrasaba a la onda P y luego regeneraba una onda P al abandonar el núcleo interior. Tales refinamientos de métodos de observación y de cálculo representaban la cúspide de la sismología clásica. Con el arte laborioso de este tipo de investigaciones se han logrado despejar las principales incógnitas acerca de la estructura interna del planeta.

El origen del fondo submarino.

Hacia 1964 parecía que no iban quedando ondas sísmicas nuevas por observar: aparentemente se había agotado el repertorio de reflexiones, refracciones y combinaciones de ondas P y S que podía ofrecer la estructura terrestre. En esa misma época, los gobiernos y especialmente el de Estados Unidos comenzaban a perder interés en la sismología, debido a que la detección sísmica de explosiones nucleares ya no ofrecía grandes dificultades. En cosa de cinco años que los sismólogos habían dedicado a este problema, se habían quitado el pan de la boca: habían trabajado demasiado bien. Dos acontecimientos imprevistos vinieron entonces a rescatarlos del hambre y del aburrimiento: el temblor de Alaska, y los descubrimientos sobre el origen del fondo submarino.

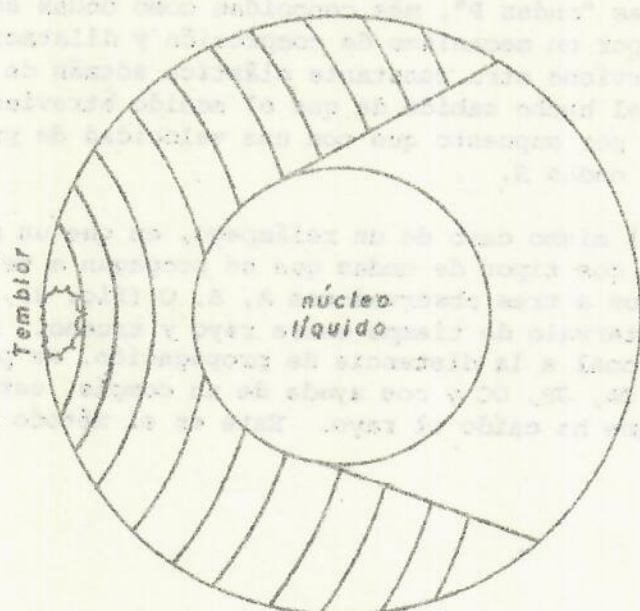


Fig. 1

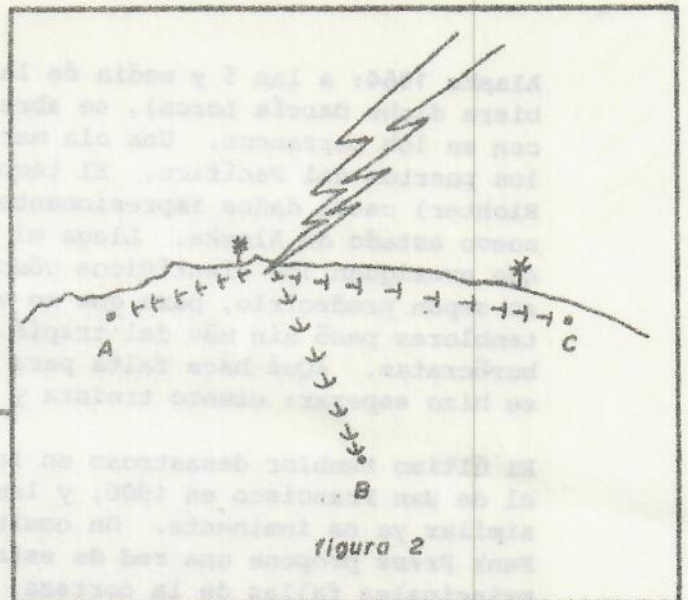


figura 2

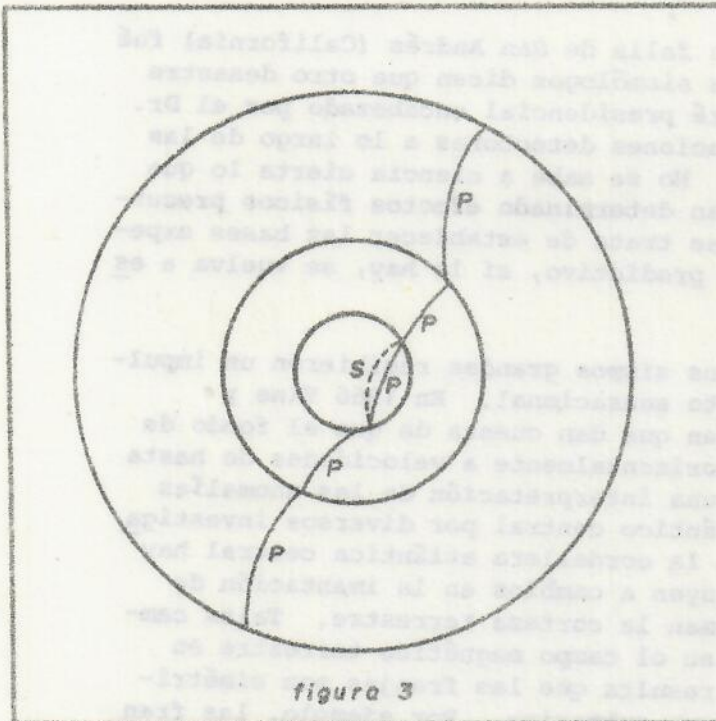


figura 3

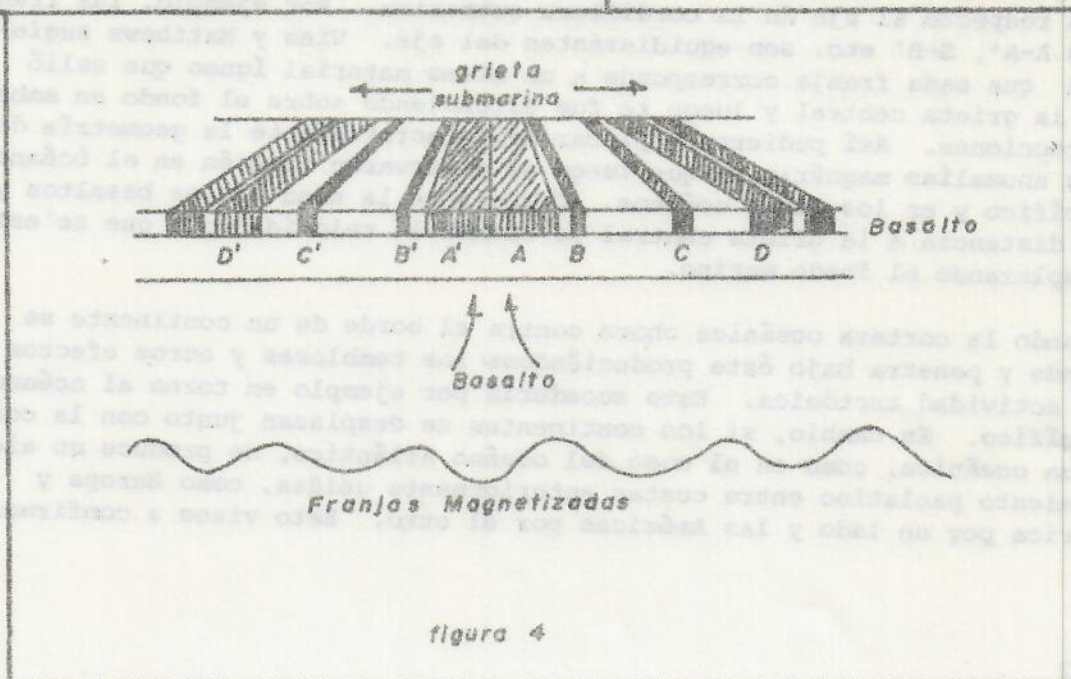


figura 4

Alaska 1964: a las 5 y media de la tarde en todos los relojes (como hubiera dicho García Lorca), se abre la tierra, poblados enteros desaparecen en los barrancos. Una ola marina de diez metros de alto barre con los puertos del Pacífico. El temblor (magnitud 8.4 en la escala de Richter) causa daños impresionantes en Anchorage, principal ciudad del nuevo estado de Alaska. Llega el presidente Johnson y expide órdenes: que averiguan los científicos cómo pudo suceder aquello; que en el futuro sepan predecirlo, para que no vuelva a suceder. Y la predicción de temblores pasó sin más del tripié de los adivinos al escritorio de los burócratas. ¿Qué hace falta para predecir temblores? La respuesta no se hizo esperar: ciento treinta y siete millones de dólares.

El último temblor desastroso en la falla de San Andrés (California) fue el de San Francisco en 1906, y los sismólogos dicen que otro desastre similar ya es inminente. Un comité presidencial encabezado por el Dr. Fank Press propone una red de estaciones detectoras a lo largo de las principales fallas de la corteza. No se sabe a ciencia cierta lo que éstas registrarán, ya que no se han determinado efectos físicos precursores de los sismos. Pero ahora se trata de establecer las bases experimentales para que ningún efecto predictivo, si lo hay, se vuelva a escapar sin ser detectado.

Estas nuevas preocupaciones con los sismos grandes recibieron un impulso inesperado con un descubrimiento sensacional. En 1966 Vine y Matthews publican una breve nota en que dan cuenta de que el fondo de los océanos se está desplazando horizontalmente a velocidades de hasta 5 cm/año. Este dato se apoya en una interpretación de las anomalías magnéticas registradas en el Atlántico central por diversos investigadores (fig. 4). A ambos lados de la cordellera atlántica central hay franjas magnetizadas que se atribuyen a cambios en la imantación de las rocas basálticas que allí forman la corteza terrestre. Tales cambios se deberían a fluctuaciones en el campo magnético terrestre en ciertas épocas geológicas. Pero resulta que las franjas son simétricas respecto al eje de la cordillera submarina. Por ejemplo, las franjas A-A', B-B' etc. son equidistantes del eje. Vine y Matthews sugieren que cada franja corresponde a un mismo material ígneo que salió de la grieta central y luego se fue extendiendo sobre el fondo en ambas direcciones. Así pudieron explicar satisfactoriamente la geometría de las anomalías magnéticas, que luego se observaron también en el océano Pacífico y en los demás océanos. Calculando la edad de los basaltos y su distancia a la grieta central se estima la velocidad con que se está desplazando el fondo marino.

Quando la corteza oceánica choca contra el borde de un continente se hunde y penetra bajo éste produciéndose los temblores y otros efectos de actividad tectónica. Esto sucedería por ejemplo en torno al océano Pacífico. En cambio, si los continentes se desplazan junto con la corteza oceánica, como en el caso del océano Atlántico, se produce un alejamiento paulatino entre costas anteriormente unidas, como Europa y África por un lado y las Américas por el otro. Esto viene a confirmar

las teorías de Wegener sobre la existencia de un gran continente primitivo llamado Gondwana, que incluyó como mínimo África, Antártica e India durante la época precámbrica.

Estos resultados recientes forman la base para una nueva geofísica global, que abarca la teoría de la deriva continental, el desplazamiento del fondo submarino, y la distribución geográfica de temblores y volcanes. Como mecanismo fundamental de todos estos procesos se propone la idea de una circulación general del manto de la Tierra, con corrientes de convección ascendentes y descendentes que provocan la extrusión de materias ígneas en la grieta central de los océanos y su reabsorción bajo las márgenes continentales. Existe en estos momentos una controversia científica mundial animadísima sobre estos tópicos, con nuevos aportes casi a diario. Hay muchos resultados concordes y no pocos contradictorios a las nuevas teorías. Por ejemplo, existe evidencia reciente de que la península de Baja California se está alejando del continente a razón de unos 5 a 10 cm/año; este movimiento podría contribuir a los desplazamientos en la falla de San Andrés y por lo tanto a la sismicidad del estado de California.

Con tales implicaciones no debe sorprenderse si el problema del origen de los océanos, continentes y temblores, que antes preocupaba a un reducido grupo de visionarios, se ha vuelto el tema central de la geofísica contemporánea. Estamos viviendo una transformación científica de primera magnitud, semejante quizás a la que se produjo en la física teórica bajo el impacto de los trabajos de Planck y Einstein. Una nueva generación de geofísicos, ayudados con computadoras y vehículos espaciales, está cambiando la imagen del planeta en que vivimos. Las preguntas también son nuevas: ¿por qué nuestros continentes y mares son tan diferentes de la topografía lunar? ¿en qué se parece la estructura de Marte a la de Venus?

Cuando sepamos la respuesta a estas preguntas, quizás estaremos en situación de predecir no solamente los temblores, sino la evolución misma de las costas, los ríos, las llanuras y las imponentes cadenas montañosas o volcánicas que han sido objeto de la admiración poética y del paciente estudio del hombre desde que habita la Tierra.

* Tomado de la Revista Física (mayo de 1969).

El trabajo original fué elaborado por el Dr. Cinna Lomnitz, investigador del Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas y profesor de la Facultad de Ciencias, ambas instituciones de la UNAM.