

INFORME

“La Corteza Terrestre”

por

D. Vicente Inglada Ors

Folleto en 4.º de 94 páginas, impreso en los Talleres del Instituto Geográfico, 1923

PONENTE: J. M. DE MADARIAGA

Después de exponer el concepto antiguo que admite que el globo terráqueo está formado por un núcleo y una corteza, y de consignar la vaguedad de este concepto, recuerda el autor que Fouqué asigna a esta corteza un espesor de 50 a 60 kilómetros, a cuya profundidad la temperatura podrá ser de unos 2.000°, y la materia en estado de licuefacción o volatilizada da por su fluidez el límite inferior de la envuelta sólida del globo. Más prudente parece, para fijar este espesor, atenerse a los resultados de las observaciones geodésicas, que con sus medidas de intensidad de la gravedad y desviaciones de la vertical tratan de determinar la profundidad de la *superficie* llamada de *compensación* en la fecunda concepción *isostática* de Pratt, y asignar a la corteza 100 a 120 kilómetros de espesor, según resulta de trabajos meritorios a que van unidos los nombres de Helmert, Hayford, Tittman, Bowie...

Para fijar el espesor de la costra exterior de nuestro globo pueden tenerse en cuenta diferentes condiciones físicas: el estado físico ordinario de la materia puede hacer que la corteza tenga un débil espesor por encontrarse debajo de ella la substancia en estado líquido o gaseoso; puede también admitirse que la corteza terrestre flota sobre una capa magmática fundida o pastosa de mayor densidad, como parecen indicar algunas investigaciones geológicas o geofísicas; podría aceptarse la hipótesis de la continuidad que admite en nuestro globo, de un modo gradual y sucesivo, todos los estados posibles de agregación de la materia, desde el sólido superficial hasta el de los gases en estado de absoluta disociación, existen-

te en el centro; renunciando a las diferencias que se fundan en el estado de los cuerpos, podría limitarse aquel espesor basándose en las condiciones del equilibrio hidrostático o elástico de las capas, como parecen probar las modernas investigaciones gravimétricas; podría aun recurrirse a examinar las condiciones de propagación de las ondas elásticas que atraviesan todas las capas del globo al producirse los temblores de tierra; abandonando la consideración de las propiedades físicas que caracterizan los estados de la materia en los experimentos de Física, por hallarse aquélla en las capas profundas del globo en un estado de agregación que no se concibe y que tiene su razón de ser en las elevadísimas temperaturas de miles de grados y en las presiones enormes de cientos y miles y aun millones de atmósferas, que reinan entre inaccesibles regiones, podría admitirse, como algunos lo hacen, que el globo sea un cuerpo sólido en todo su conjunto desde la superficie al centro.

Difícil es decidir si deben admitirse una u otra, o acaso varias, de estas consideraciones. Sálvase la dificultad formulando hipótesis, que, sometidas al contraste de la observación de los resultados, permiten formar concepto bastante claro acerca del punto de que se trata y formular teorías aceptables.

El autor del libro que examinamos hace un análisis de estas diferentes consideraciones, estudiando y explicando el aumento de la densidad terrestre con la profundidad, la rigidez de la tierra deducida del movimiento de sus polos, de la influencia de las mareas y de la atracción lunisolar, aduciendo en este análisis argumentos y cálculos de diferentes investigadores para poner en claro el valor de cada uno de los conceptos apuntados.

Cita la hipótesis cosmogénica de La Place, habla de la formación de la corteza por el enfriamiento más rápido de las capas exteriores, estudia el valor del grado geotérmico, rechaza con fundamento la teoría del fuego central, hoy inadmisible, y, aludiendo a la viscosidad, consigna que las condiciones físicas extraordinarias de la materia en las capas profundas del globo hacen imposible aplicar a ellas los resultados de los experimentos realizados en la superficie terrestre; viniendo a deducir que el estudio de las propiedades físicas ordinarias no sirve para fijar el espesor de la corteza terrestre, y que hay necesidad de acudir al estudio de las condiciones gravíticas y de propagación de los sismos para lograr tal objeto, justificando así la importancia grande que hoy tienen las nuevas ciencias *Gravimetría y Sismología*.

Tratando de la gravedad y de su medida, estudia las anomalías que ofrece y menciona las hipótesis formuladas para explicarlas.

Consecuencia de estos preliminares es la deducción que hace de la dis-

posición hidrostática de las capas del globo, según la cual la distribución de la gravedad en la superficie de nuestro planeta, deducida de las observaciones pendulares efectuadas en unas cuatro mil estaciones repartidas en todo el mundo, corresponde, según ha demostrado Helmert, a esta disposición hidrostática de las capas del globo, ley valedera para toda la masa de éste, excepto para la pequeña parte que representa la costra exterior, que se extiende desde la superficie terrestre hasta la profundidad de unos 120 kilómetros por debajo del nivel del mar, o sea hasta la llamada *superficie de compensación*.

De estas observaciones gravimétricas se deduce la interesante conclusión de que la tierra se puede considerar dividida en dos partes: la corteza, de unos 120 kilómetros de espesor, como acaba de decirse, y un núcleo potentísimo que se extiende hasta el centro de la tierra. En éste los puntos situados sobre una superficie de nivel tienen la misma presión y densidad, mientras que en aquélla, de estructura irregular, sometida a perturbaciones locales, la densidad y presión en los puntos de una superficie de nivel varían de uno a otro. Según esta hipótesis, la dicha corteza terrestre, del espesor medio indicado, debe estar constituida por grandes masas o bloques que descansan sobre áreas iguales de la superficie de compensación, teniendo la misma masa global, cualquiera que sea la posición de dichas áreas, a condición de que sus dimensiones lineales alcancen algunos cientos de kilómetros. La concepción de esta ley de equilibrio de los bloques de la corteza terrestre, o *isostasia*, es debida a Pratt: dióle nombre y aplicación en Geología, Dutton, y comprobáronla mediante el cálculo de las observaciones gravimétricas Faye, Helmert y otros. Debe observarse que la isostasia no se cumple para áreas menores de 300 kilómetros cuadrados.

Esta propiedad isostática exige que en los bloques verticales, que desde la superficie de compensación se elevan hasta la superficie exterior del globo, en una región marítima, la menor densidad de las aguas del mar esté compensada por una densidad mayor de las capas que están por debajo del fondo, mientras que en aquellos bloques corticales, cuya superficie exterior pertenezca a una región continental, la parte superior que emerge del nivel del mar no debe ser una acumulación de masas en la corteza, sino que debe estar compensada con otras masas subyacentes de menor densidad, o, como se dice frecuentemente, por defectos de masa situados por bajo del nivel del mar.

El estudio de las desviaciones de la vertical aduce también poderosas razones en favor de la isostasia, pudiendo asegurarse que esta hipótesis de Pratt es la que más se ajusta a las observaciones geodésicas.

No cree el ponente que suscribe necesario seguir paso a paso, en el análisis que hace de esta obra del señor Inglada, los detalles que el autor consigna relativos a la medida de las anomalías de la gravedad en la superficie terrestre y en el mar, en diferentes regiones de nuestro planeta, estudio hecho para señalar y explicar las excepciones que a veces ofrece la ley general de la isostasia. No es aplicable, por ejemplo, la hipótesis de Pratt a la meseta y fosas tectónicas del África oriental, y por esto los sismos observados en esta región encuentran explicación en la perturbación del equilibrio hidrostático, lo cual se ve confirmado por el estudio de las desviaciones de la vertical. Puede decirse que existe acuerdo entre la actividad sísmica y el espesor de la capa perturbadora en esta región, circunstancia de extraordinaria importancia.

Acaso cuando el progreso de la Gravimetría permita disponer de número suficiente de determinaciones de intensidad de la gravedad, el estudio de sus anomalías y el de las condiciones sísmicas permita llegar al conocimiento de las propiedades relativas al equilibrio de los bloques corticales y, por lo tanto, al de la causa y régimen de sus movimientos y explicación de las fracturas que entre sí ofrecen. Podría, entonces, decirse que el péndulo y los sismógrafos modernos darían el medio de determinar la estructura y espesor de la corteza terrestre, proporcionando este triunfo a la Geofísica. A la Geología quedaría encomendado el estudio, bien extenso por cierto, de las capas superficiales.

El incumplimiento de la condición isostática en la región aludida de las fosas tectónicas del África oriental y en algunas otras regiones, hace pensar en una correlación casual entre las fracturas tectónicas y la posición no isostática de las capas, lo que ofrece una cualidad característica para distinguir el origen de los bordes correspondientes a las grandes desigualdades de la superficie terrestre, en virtud de la cual podría afirmarse que no todos los escalones y grietas que surcan el terreno en grande extensión deben considerarse como fracturas y fosas tectónicas propiamente dichas.

Al estudiar la desviación de la vertical se deduce que en general se produce aquélla en la dirección que corresponde a la irregularidad topográfica, principalmente. En cuanto a su magnitud en las regiones de poco relieve y suaves pendientes, la desviación es pequeña, y adquiere gran valor en las zonas irregulares y donde existen pendientes abruptas. Esta desviación sólo puede ser debida a la irregular distribución de las masas en la superficie terrestre (topografía), o a la variación desigual de las densidades debajo de ella, o mejor dicho, a las dos causas.

Hayford aplica el concepto de la compensación isostática al estudio de

la desviación de la vertical y halla la fórmula para su cálculo, para diversas profundidades de la superficie de compensación, y observa que los valores así calculados se aproximan más a las desviaciones observadas que las desviaciones topográficas propiamente tales, y si se admite que la compensación es completa y está uniformemente distribuida hasta una cierta profundidad, el valor más probable de ésta será el que haga mínima la suma de los cuadrados de las diferencias entre las desviaciones calculadas y las realmente observadas. Este valor resultó de 113 kilómetros en una primera investigación, y de 122 en la segunda.

La hipótesis de Pratt explica la condición isostática del modo más racional admitiendo una contracción irregular de la corteza durante el enfriamiento del globo, por lo cual la perturbación en la disposición de las masas debe atribuirse solamente a movimientos verticales de éstas. En los bloques corticales donde no ha podido establecerse todavía el equilibrio isostático, la existencia de los fenómenos sísmicos y volcánicos muestra la inestabilidad del suelo y la tendencia a ese equilibrio por medio de movimientos cuyo carácter depende de la forma y posición del bloque, y de las fuerzas que sobre él actúan a través de los bloques contiguos.

La Sismología, que proporciona antecedentes acerca del estado de equilibrio de los bloques corticales, los da también relativamente a la formación de la corteza y distribución de la densidad en las capas más profundas. Opina el autor que la formación de catálogos sísmicos es de gran fecundidad para clasificar las regiones del globo, estableciendo al hacerlo una nueva ciencia: la Geografía Sísmica.

Las investigaciones sísmicas de carácter geológico o estadístico confirman las conclusiones de la Gravimetría al estudiar la repartición de las anomalías de la gravedad en la superficie terrestre, y las de carácter físico fundadas en el conocimiento de las condiciones de propagación de las ondas, lo que ha dado lugar a importantes resultados acerca de la constitución de las capas terrestres. Al hacer esta demostración considera el autor, sucesivamente, las fases de los sismogramas, el aspecto de éstos, las ondas sísmicas, la aplicación del cálculo de las amplitudes de los *preliminares* al estudio del interior de la tierra, para venir a deducir que la división de antiguo admitida de corteza y núcleo en nuestro globo, es hoy mejor conocida porque ha sido más racionalmente estudiada.

El contraste entre estas dos partes separadas, como se ha dicho, por la superficie de compensación es perfectamente marcado, y ofrece fundamento científico para precisar el límite de la corteza terrestre o litosfera, de unos 120 kilómetros de espesor; la parte interior, o núcleo, propiamente tal, se extiende hasta el centro del globo.

Fundado en trabajos de otros investigadores, Sieberg admite que la potente masa del globo que se extiende por bajo de la superficie de compensación se subdivide en tres partes: la *barisfera*, que desde dicha superficie alcanza un espesor de 1.080 kilómetros y llega, por lo tanto, hasta la profundidad de 1.200 por bajo del nivel del mar; una capa intermedia de 1.700 kilómetros de espesor, y el núcleo propiamente dicho, región central del globo, formado por una esfera cuya superficie se encuentra a los 2.300 kilómetros de profundidad. Las condiciones que caracterizan estas partes profundas de la masa terrestre han sido deducidas de observaciones sismométricas.

La corteza o *litosfera* se distingue por estar constituida por rocas inactivas (ya formadas) con intrusiones relativamente pequeñas de productos de la destrucción del magma activo, y de estructura tal que yacen en contacto masas de distinta composición y propiedades físicas. A mayor profundidad las diferencias van desapareciendo gradualmente, y al llegar a la superficie de compensación se borran del todo.

En la litosfera pueden aún considerarse dos zonas distintas: la masa exterior que se llama de fractura (*Bruchzone*, de los alemanes) y otra de igual espesor, plástica o fluída (*Flieszone*). La exterior o de fractura que se extiende hasta una profundidad de 50 a 60 kilómetros, según el cálculo de Mohorowicié, está formada por una sucesión de capas en que la roca presenta su estado ordinario sólido y quebradizo, y en ella se producen los fenómenos que la Geología estudia. No obstante la complejidad de su constitución, predominan las rocas ligeras que Suess designa por *Sal* o *Sial*, como son los granitos, sienitas, pórfidos cuarcíferos, traquitas, gneis y sedimentos, con una densidad media, aproximada, de 2,6.

Confirman la conclusión apuntada de la división de la corteza terrestre en dos capas, de fractura y plástica, respectivamente, los resultados del cálculo de la profundidad hipocentral de los sismos. La energía sísmica sólo puede actuar en las capas de las zonas de fractura, y por lo tanto los valores de la profundidad hipocentral no pueden exceder del que corresponde el límite inferior de dicha zona. Los resultados obtenidos confirman esta conclusión.

En la zona fluída de la litosfera se encuentran las rocas que Suess llama *Sima* (contracción de silicio y magnesio, que entran en la composición de estas capas), de una densidad media de 2,9 a 3. En general, la materia debe estar en esta zona formando capas, de tal modo, que a medida que se acerca la superficie de compensación, van disminuyendo la proporción de sílice, el oxígeno, los álcalis y la cal, mientras que el magnesio y el hierro aumentan proporcionalmente. Se encuentran, pues,

en el sentido de la profundidad creciente, en series sucesivas, magmas que tienen la composición de los basaltos, diabasas, gabros y peridotitas.

Como la influencia de las anomalías gravíficas alcanza hasta la superficie de compensación, el régimen de distribución de la densidad debe subsistir en la zona plástica o fluida, aunque las fallas y grietas de la zona de fractura, que sirven de separación a los bloques o capas corticales, no pueden existir a las profundidades de dicha zona plástica.

Se deduce de todo lo expuesto que la superficie de compensación separa de la masa del globo una capa exterior de 120 kilómetros, a la que puede llamarse litosfera o corteza terrestre, en sentido lato. Una superficie de discontinuidad, acusada por las observaciones sismométricas, ha dividido esta capa en dos zonas de espesor aproximadamente igual: la exterior, o de fractura, en que la materia por su fragilidad ofrece campo adecuado para la manifestación de los fenómenos geológicos, y por lo tanto, de la actividad sísmica y volcánica; y la profunda, o zona plástica o de fluidez, en que la materia cede sin ruptura a las fuerzas que actúan sobre ella y transmite a la zona exterior las fluctuaciones de compensación isostática.

Este es, en resumen, el análisis de la obra del señor Inglada, titulada *La Corteza Terrestre*. Como puede por él juzgarse, esta obra es una enumeración razonada de las investigaciones, hipótesis y opiniones de los geodestas y geofísicos que se han ocupado, en estos últimos años principalmente, en el estudio del geóide. Dedúcese de este estudio que, según las ideas hoy admitidas, la tierra está compuesta de un núcleo central potentísimo, en estado de magma, de condiciones isótropas, en el cual el equilibrio es completo. Limitale la *superficie de compensación*, sobre la cual descansan los bloques corticales. La presión que éstos ejercen sobre esta superficie, cuando para tener una media aceptable se consideran áreas suficientemente grandes, es igual para todos, como lo es también la densidad media; por esto la superficie, bien llamada de compensación, está en equilibrio; se cumple en ella la condición isostática. La parte exterior o corteza terrestre, muy delgada relativamente al núcleo—tiene 120 kilómetros de espesor de los 6.300 que tiene la longitud media del radio terrestre—es de propiedades anisótropas; en ella el equilibrio es inestable, y los bloques que la forman tienden a adquirirle estable, originando sus movimientos, genéricamente designados con el nombre de sísmos, las fracturas y fosas tectónicas, y produciendo también a veces manifestaciones volcánicas.

En esta parte de la corteza pueden distinguirse dos regiones de igual espesor aproximadamente, la exterior o de fractura en donde principal-

mente se manifiestan los fenómenos apuntados y todos los de carácter propiamente geológico que se acusan en la parte de ella más externa; y otra más interior que tiende más gradualmente al equilibrio, con porciones aún no solidificadas, y que en conjunto, por esta razón, puede suponerse en estado de una relativa fluidez. En el núcleo admite Sieberg, en un trabajo reciente, tres zonas: la *barisfera*, que desde la superficie de compensación alcanza un espesor de 1.080 kilómetros; una capa intermedia de 1.700 kilómetros, y el núcleo propiamente dicho, región central del globo, que empieza a los 2.900 kilómetros de profundidad.

La detallada bibliografía que al final de este folleto se consigna es de gran valor; unida al contenido de aquél suministra datos interesantes acerca de las condiciones de la corteza terrestre, y da el medio de profundizar en el estudio de las diferentes cuestiones en la obra tratadas.

El autor ha prestado un excelente servicio a cuantos a estos estudios se dedican, señalando claramente los límites que corresponden al geólogo que estudia los fenómenos más superficiales de la corteza terrestre, y al geodesta y geofísico que, apoyándose en las observaciones y determinaciones gravimétricas y sismométricas, tratan de penetrar en las regiones más profundas de nuestro planeta para descubrir sus condiciones de constitución.

Merece por lo mismo el señor Inglada, en opinión de la Academia, la aprobación y los plácemes de ésta por el trabajo que ha sometido a examen de la misma, titulado *La Corteza Terrestre*.