

# LA FORMA DE LA TIERRA

Antonio Sarmiento Galán  
Instituto de Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de México  
Avenida Universidad 2000, Chamilpa 62200, Morelos. México.  
[ansar@matcuer.unam.mx](mailto:ansar@matcuer.unam.mx)

## Resumen.

Descubrimientos recientes sobre la forma de la Tierra a través de su campo gravitacional.

## Introducción.

A manera de introducción, una prueba para el lector. Recordemos lo que sabemos de la forma de la Tierra e intentemos responder, sin premura alguna, a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el sitio más alto de la Tierra?

La mayoría de las respuestas mencionan invariablemente al Monte Everest, una montaña caliza (carbonato de calcio) situada en los Himalayas orientales entre Nepal y Tibet a  $27.6^\circ$  de latitud N, cuyo pico está a 8,872 metros. Su nombre en tibetano es, utilizando nuestros caracteres, Qomolangma y quiere decir: diosa madre del mundo.

Pocos son los que contestan con Mauna Kea (Montaña Blanca), un volcán durmiente en la isla mayor de Hawaii ( $19.5^\circ$ N), cuya cima está a 4,205 metros y su base a 5,547 metros bajo el nivel del mar. Su mención se debe, esencialmente, a que es un excelente sitio para la observación astronómica.

Y raro es que se mencione al Chimborazo, un pico volcánico en los Andes de Ecuador ( $1.3^\circ$ S), cuyo cráter está cubierto por una gruesa capa de hielo que al derretirse en verano, desciende por la pendiente oriental hacia el Amazonas. Su cima se encuentra a 6,267 metros sobre el nivel del mar.

Ahora, se recordará que la pregunta se hizo precedida por la sugerencia de recordar lo que sabemos de la forma de la Tierra. Por lo general, en las escuelas se enseña que la Tierra es un esferoide oblato, algo así como una esfera que es un poco más ancha que alta. En la Figura 1 se muestra dicha figura, exagerando la diferencia entre lo ancho y lo alto, y con la posición aproximada de los tres sitios mencionados en cuanto a la latitud geográfica de los mismos.

Con la ayuda de esta figura vemos claramente que la respuesta correcta dependerá de la base que se tome para medir la altura; es decir, si medimos respecto del nivel del mar, el Everest es el punto más alto en la atmósfera, pero si medimos desde la base de las montañas, el sitio más alto es el Mauna Kea, pues su altura desde el fondo del océano es de 9,752 metros. Finalmente, si queremos ser precisos, debemos medir desde el centro de la Tierra y entonces el sitio más alejado de dicho punto, es el Chimborazo. La razón es evidente si volvemos la vista a la Figura 1, pues la superficie de la Tierra se aleja más del centro mientras más se acerque uno al Ecuador.

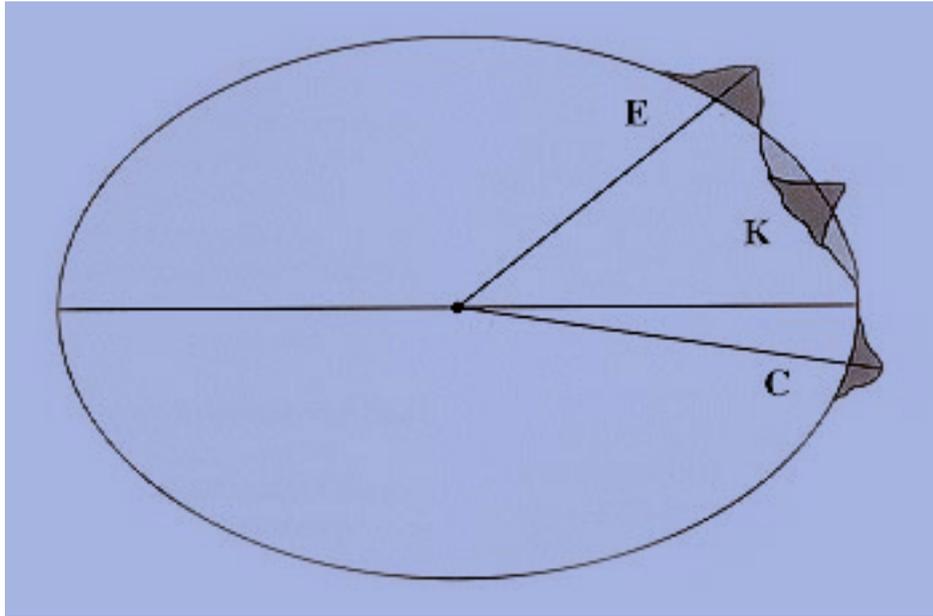


Figura 1. Everest (E), Mauna Kea (K) y Chimborazo (C), de acuerdo a su latitud en un esferoide oblatado exagerado.

### Un poco de historia al margen.

Como es usual en la historia occidental, donde el crédito de descubrimientos o logros se otorga a una sola persona, en pocos sitios se ha registrado el nombre del sherpa que llevó a Edmund Hillary a la cima del Everest el 29 de Mayo de 1953: Tenzing Norgay (Mayo 1914 – Mayo 9, 1986), nacido Namgyal Wangdi y conocido como Sherpa Tenzing, Indo-nepalí (Figura 2). Tampoco es frecuente que se mencione a Lhakpa Tenzing Sherpa, conocido como Sherpa Apa, quien en Mayo del 2010 subió por vigésima vez al Everest; un récord que debería estar entre los más mencionados y conocidos en todo el mundo.



Figura 2. Tenzing Norgay (Mayo, 1914 - Mayo 9, 1986). Se dice que los tanques de oxígeno sólo fueron usados para la toma fotográfica, no así para la ascensión.

### Las primeras mediciones.

Sabemos entonces que la Tierra es un esferoide oblató, pero ¿A qué se debe dicha forma? La rotación de la Tierra genera una fuerza inercial a la que llamamos fuerza centrífuga; ésta no es una fuerza real, sino que aparece por el hecho de que la Tierra está girando, es decir, en un sistema no inercial (de ahí el nombre de fuerza inercial) y su dirección es hacia afuera a partir del centro de la Tierra. Como en los polos atraviesa el eje de rotación, éstos no giran y por lo tanto, la fuerza desaparece en ellos; su intensidad, sin embargo, va aumentando a medida que nos alejamos de dichos polos y alcanza su máximo valor en el Ecuador. Esta variación de la fuerza centrífuga con la latitud ha hecho que después de algunos miles de millones de años de rotar alrededor de su eje, la Tierra haya adquirido la forma de esferoide oblató (o esfera aplanada).

Las medidas precisas de la forma oblató de la Tierra indican que el eje ecuatorial es 21.4 km (0.33%) mayor al eje polar. La Figura 3 muestra esta diferencia exagerando el aplanamiento. Este tipo de medidas se deben a programas ya discontinuados, como el *World Geodetic System* (WGS, 1984).

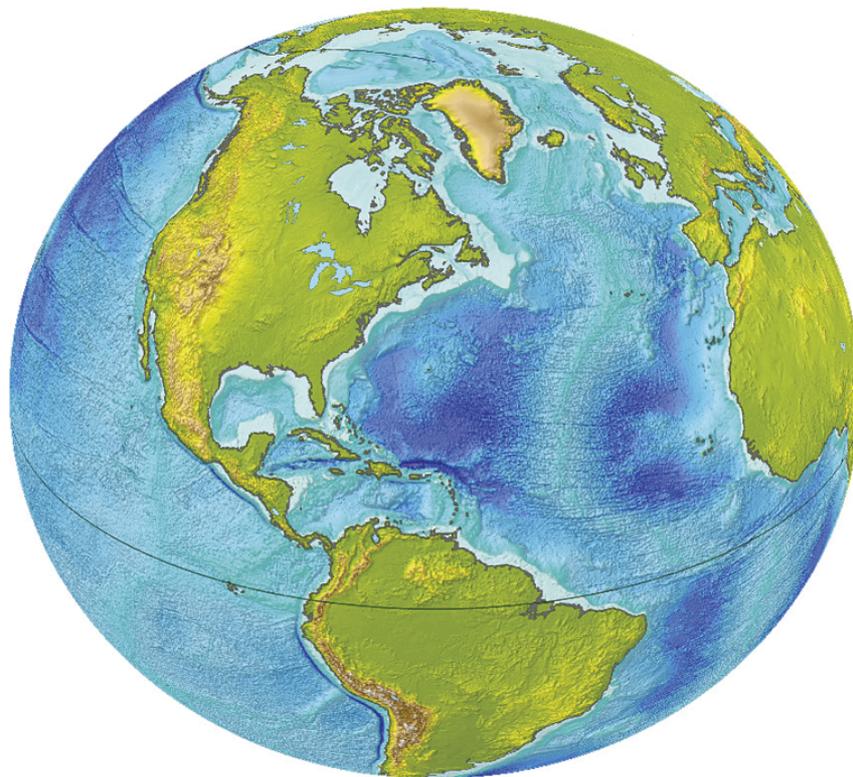


Figura 3. Exageración de la diferencia entre los ejes ecuatorial y polar del esferoide oblató. La diferencia entre ambos es de sólo 21.4 km (0.33%) a favor del primero (Fraczek, 2010).

La primera consecuencia de esta forma de la Tierra, es la variación de la aceleración de la gravedad con la latitud. Recordemos que a primera aproximación, la atracción gravitacional varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, es decir, mientras más cerca del centro, mayor es su valor. De esta manera tenemos que la variación de la aceleración de la gravedad con la latitud, se debe a la disminución de la distancia al centro de la Tierra conforme aumenta la latitud. Los valores extremos son el famoso  $9.78 \text{ m/s}^2$  en el Ecuador y el no tan conocido  $9.83 \text{ m/s}^2$  en cualquiera de los polos terrestres. Esta variación ya ocasionó un famoso y vergonzante problema con un

cargamento de oro enviado de Port Elizabeth (Suráfrica) a Londres (Reino Unido) y cuyo peso cambiaba a pesar de no haberse violado el cofre en el que el metal era transportado. El detalle del problema escapa a la intención de este trabajo y el lector acucioso podrá localizarlo fácilmente.

La demarcación entre continentes y océanos, lo que conocemos como el contorno de elevación cero respecto del nivel del mar, queda determinada por un balance entre dos fuerzas que mantienen un equilibrio muy frágil (Figura 4). Las fuerzas cuyo balance determina el nivel del mar, son: la fuerza centrífuga causada por la rotación de la Tierra (hacia afuera) y la atracción gravitacional terrestre (hacia el centro de la Tierra). Aunque sabemos que el calentamiento global está causando un aumento considerable en el nivel de los océanos, en este trabajo nos restringiremos a la geometría de la Tierra y las enormes cantidades de energía que determinan el nivel de los océanos; los catastróficos efectos del calentamiento global se discuten en una gran cantidad de publicaciones de fácil acceso (IPCC, 2007).

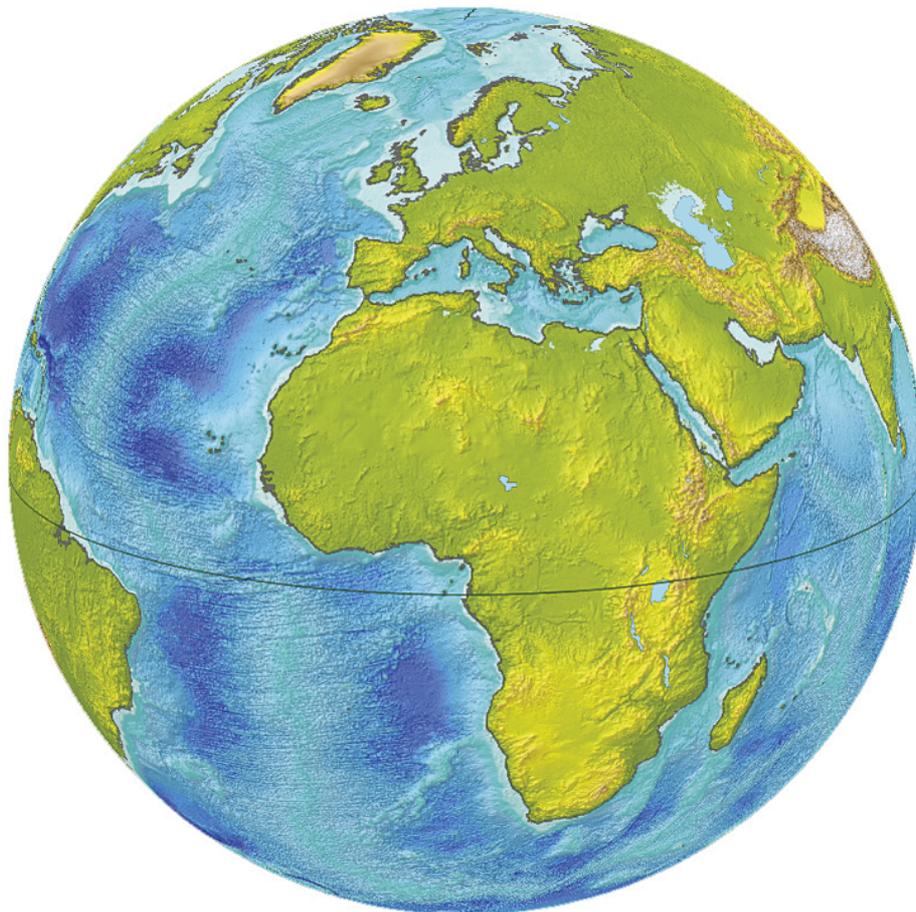


Figura 4. Demarcación entre continentes y océanos dada por el contorno de elevación cero (Fraczek, 2010).

La rotación de la Tierra es muy veloz, su velocidad tangencial alcanza el valor máximo de 1,667 km/h en el Ecuador; ello, a su vez, ocasiona que la profundidad promedio de los océanos en el Ecuador sea de 8 km. Pero ¿Qué pasaría si la Tierra no girase sobre su eje?

**La Tierra estática.**

En la Figura 5 se muestra la Tierra sin rotar, es decir, una vez que la fuerza centrífuga ha desaparecido. La traslación alrededor del Sol y la inclinación del eje terrestre siguen siendo las mismas; en este caso, la duración de un año seguiría siendo la misma, pero un día duraría lo mismo que el año. Los cambios climáticos y geológicos serían catastróficos por la transformación de las superficies equipotenciales, pero su discusión escapa al propósito de este trabajo. Ahora tenemos que la atracción gravitacional es mayor en las regiones polares (en verde en la Figura), intermedia en latitudes meridionales (en amarillo) y menor a grandes altitudes (blanco).

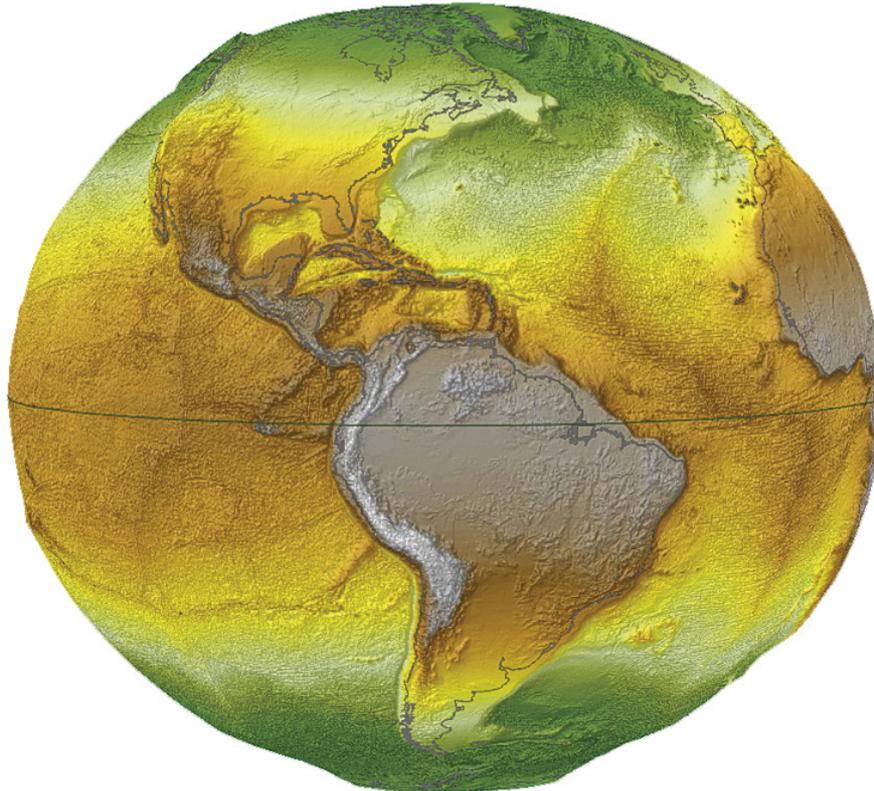


Figura 5. Cambios en la atracción gravitacional terrestre debidos a la eliminación de la fuerza centrífuga (Fraczek, 2010).

La Figura 5 no muestra el agua para que se puedan observar los detalles (exagerados). El agua sin embargo, migrará siempre hacia los sitios en donde la atracción gravitacional es mayor, es decir, a los sitios más cercanos al centro de la Tierra: las regiones polares. Ello, en esta situación hipotética, causaría que toda la zona ecuatorial emergiese, dando origen a un continente ecuatorial enorme y a dos océanos polares. En las líneas que siguen se desprecia el efecto sobre el nivel de los océanos debido a los cuerpos celestiales prominentes, como la Luna o el Sol, debido a la poca masa de la primera y a la gran distancia que nos separa del segundo.

La Figura 6 muestra el resultado de las suposiciones hechas en el párrafo anterior. Si la Tierra fuese un esferoide perfecto, entonces la línea que delinearía las áreas que hidrológicamente contribuirían a cada uno de los océanos, debería seguir al ecuador. Sin embargo, el relieve tanto de los continentes como del fondo de los océanos, hace que dicha línea se desvíe notablemente (línea marrón en la figura).

Volviendo a la pregunta de la introducción, en esta situación hipotética tendríamos que las altitudes de los dos volcanes ecuatoriales, el Chimborazo (Ecuador) y el Kilimanjaro (Tanzania) serían de 13,615 y 12,786 metros, respectivamente. La Figura 7 muestra el detalle de lo que sería el nuevo continente alrededor de nuestro país; curiosamente, la gráfica recuerda nítidamente la imagen de la Nueva España antes de las invasiones norteamericanas.

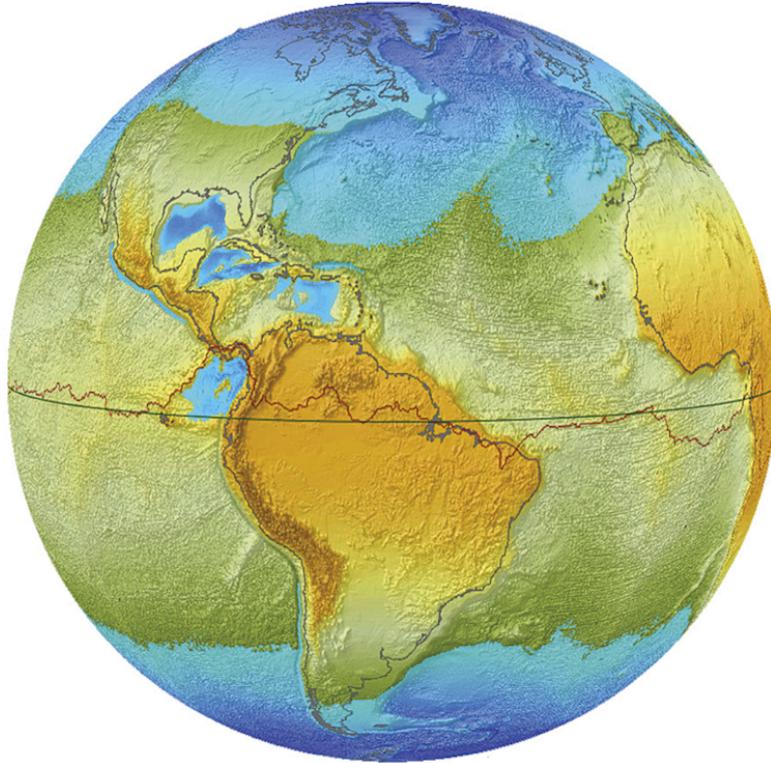


Figura 6. Aparición de los dos grandes océanos circumpolares y el enorme continente Ecuatorial (Fraczek, 2010).



Figura 7. El hipotético océano circumpolar norte; el color naranja indica áreas con altitudes mayores a los 3,000 metros sobre el nivel del mencionado océano norte (Fraczek, 2010).

En la Figura 8 se muestra la proyección del enorme continente ecuatorial y los dos océanos inconexos; las zonas cercanas al continente son someras mientras que las polares son muy profundas. Las antiguas planicies abisales y las trincheras oceánicas se convierten en mares interiores al nuevo continente.

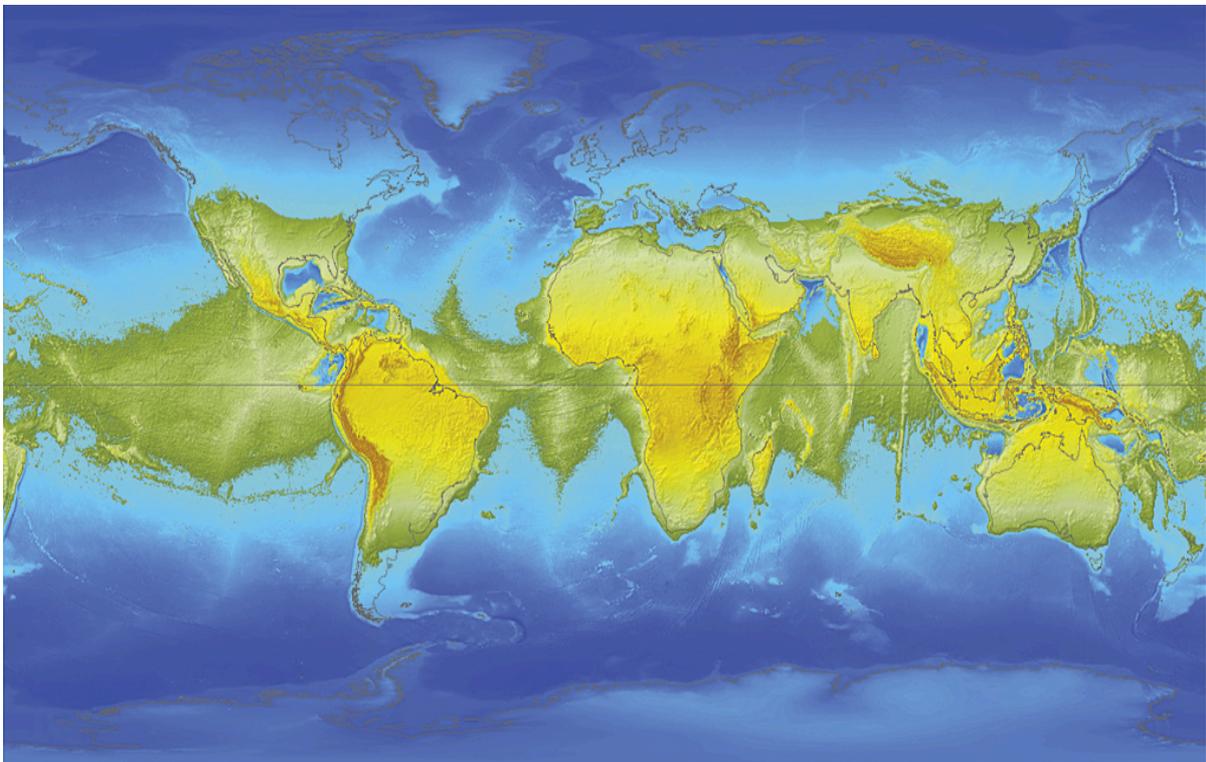


Figura 8. En esta situación hipotética, no existe conexión alguna entre los dos grandes océanos circumpolares; el enorme continente ecuatorial los divide (Fraczek, 2010).

Con este experimento ficticio quedan, esperemos, más que claras la influencia y la magnitud de las fuerzas que en frágil equilibrio determinan el nivel de los océanos, así como la enorme cantidad de energía involucrada en dicho equilibrio.

### **El geoide determinado vía satelital.**

El geoide es una superficie imaginaria sobre la cual el potencial gravitacional terrestre tiene un valor único, es decir, constituye la superficie horizontal definida como la superficie donde la atracción gravitacional terrestre en cualquiera de sus puntos es perpendicular a ella; el geoide se puede pensar como el nivel de un océano global imaginario en ausencia de mareas, corrientes y vientos. Significa un sistema de referencia crucial para medir con precisión la circulación de los océanos, el cambio en su nivel y la dinámica del hielo –todos afectados por el Calentamiento Global.

Recientemente, dada la obsolescencia del *World Geodetic System (WGS, 1984)* y por la necesidad de conocer en detalle las diversas condiciones de nuestro planeta ante el Calentamiento Global, se han puesto en órbita varios satélites que nos permiten conocer, entre muchas otras cosas, la forma de la Tierra. El más reciente, conocido como Explorador del Campo Gravitacional y la Circulación Oceánica Estacionaria (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer, GOCE*), fue lanzado el 17 de Marzo del 2009 por la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés). Su misión ha logrado un nuevo nivel en el conocimiento de una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza: el campo gravitacional terrestre (GOCE, 2009).

La misión del GOCE es medir el campo gravitacional terrestre y con los datos, modelar el geoide con una precisión y resolución espacial sin precedente alguno. El satélite no tiene partes móviles que pudiesen afectar su estabilidad al momento de realizar las mediciones del campo gravitacional; su órbita es la más baja jamás sostenida por un satélite durante lapsos grandes, 254.9 km y obedece al hecho ya mencionado, de que las variaciones gravitacionales son tanto más fuertes cuanto más cerca se esté del centro de la Tierra. El aire residual a esta altitud causa que la órbita decaiga rápidamente; sin embargo, GOCE nulifica en forma continua la fricción mediante un motor que expulsa iones de xenón a velocidades superiores a los 40 km/s, acelerando o no para mantener una altitud fija; además, su forma es la de un cuerpo delgado, de sección octagonal, de 5m de longitud por 1m de ancho, configurado para reducir al mínimo tanto el arrastre aerodinámico del aire residual como la torca sobre el mismo (Figura 9). Con todo ello se asegura que los sensores gravitacionales vayan en caída libre y que sólo registren el campo gravitacional y no las perturbaciones de otras fuerzas.

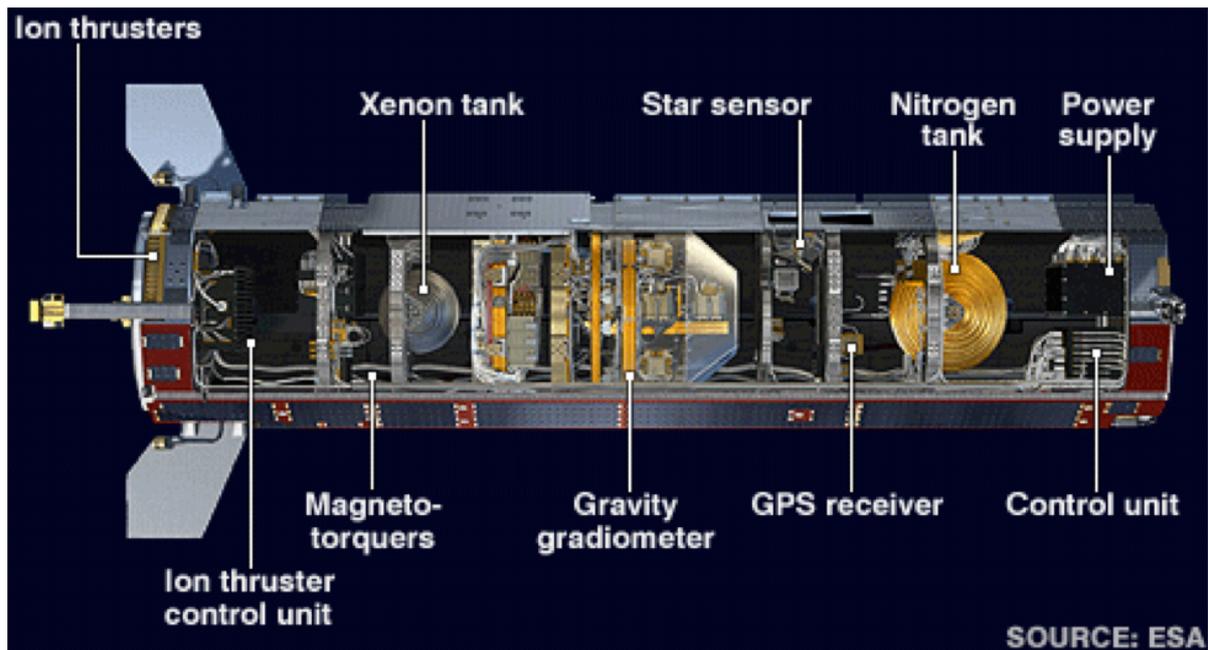


Figura 9. Detalles del satélite GOCE. Las partes mencionadas en la parte superior, en el orden acostumbrado, son: impulsores iónicos, tanque de xenón, sensor estelar, tanque de nitrógeno y fuente de poder; en la parte inferior: unidad de control de los impulsores, controles magnéticos de torca, gradiómetro gravitacional (el sensor principal), receptor del sistema de posicionamiento global y unidad de control general (GOCE, 2009).

La Figura10 muestra esquemáticamente la información derivada de las mediciones del satélite. Se ilustran tanto la superficie del esferoide (línea azul, 1 en la Figura) como el geoide (línea roja, 3 en la Figura) determinado por las mediciones realizadas por el GOCE (2 en la Figura); el hecho de que esta última superficie esté determinada por un único valor del potencial gravitacional se muestra con una pelota que permanecerá estacionaria a pesar de que aparezca como si el geoide tuviese una pendiente en donde se ha colocado dicha pelota (4 en la Figura).

La dinámica de los océanos (5 en la Figura) se logra medir actualmente, vía satélite, con precisiones sorprendentes (IPCC, 2007) y si recordamos que el geoide muestra el nivel que los océanos tendrían en ausencia de mareas, corrientes y vientos, tenemos entonces que con sólo restar el geoide al comportamiento observado de los océanos, lograremos obtener la influencia de estos efectos sobre la dinámica de los océanos (6); ésta es información crítica para los modelos de circulación global de los océanos donde se intenta representar la forma en la que se realizan las enormes transferencias de energía alrededor del planeta (IPCC, 2007).

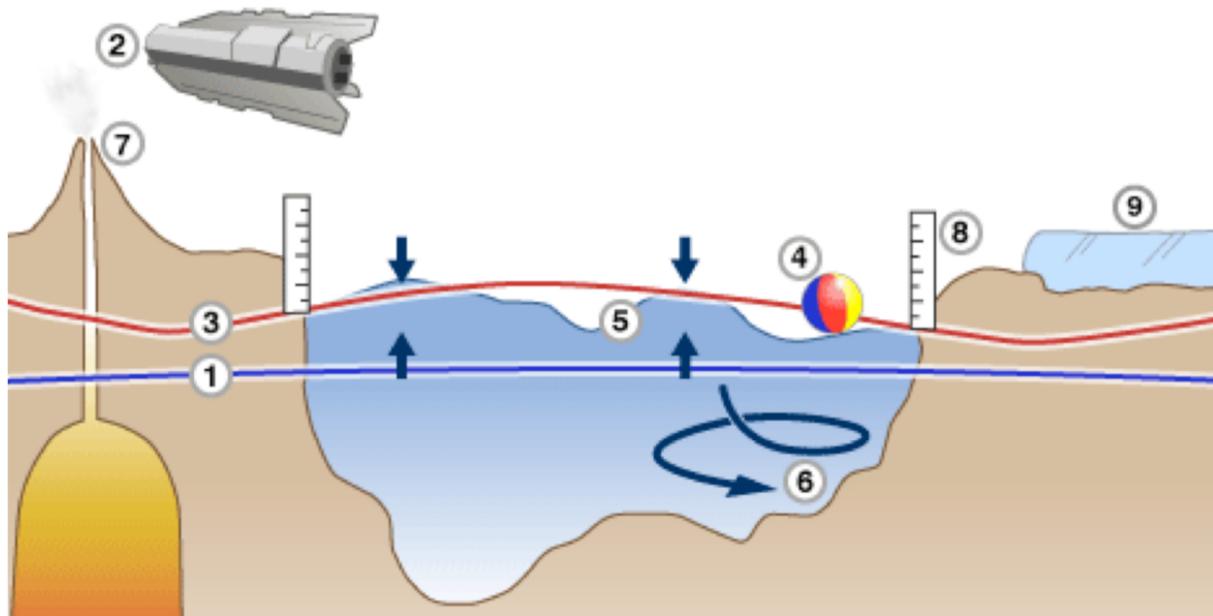


Figura 10. Esquema del conocimiento derivado a partir de las mediciones del GOCE. La línea azul (1) indica la forma del esferoide, la roja (3) indica el geoide construido a partir de las mediciones del satélite (2); una pelota colocada sobre el geoide (4) permanecerá estática. El nivel conocido de los océanos (IPCC, 2007) (5) al compararse con las mediciones del GOCE (sin los efectos de las mareas, de las corrientes o de los vientos) revela el comportamiento de los océanos bajo la influencia de dichos efectos (6). Las mediciones también detectan el movimiento de magma (7) o la pérdida de hielo en los glaciares (9). Finalmente, contaremos con un sistema global para medir alturas, incluyendo la de los océanos (8) (GOCE, 2009).

En Geofísica, la información derivada de los mediciones del GOCE podrá utilizarse para detectar lo que ocurre a grandes profundidades, sobre todo, en sitios propensos a terremotos o erupciones volcánicas (desplazamientos de placas tectónicas, flujos subterráneos de lava, 7). Uno de los beneficios más importantes de los datos obtenidos, será el contar con un sistema universal que permita la comparación de alturas en cualquier lugar de la Tierra (8); en la construcción de grandes obras, por ejemplo, permitirá saber en que dirección fluirá de manera natural el contenido de un ducto.

En sitios de acceso difícil, como los Himalayas o los Andes, las mediciones proporcionan nueva información; para la Antártida en particular, donde no es fácil medir las variaciones del campo gravitacional que son vitales para conocer el flujo de hielo y su dinámica ante el Calentamiento Global (9), la información es de importancia primordial (intentar medir las variaciones de muy alta frecuencia por medio de aviones, no sólo es imposible por la benéfica carencia de suficientes aeropuertos, sino indeseable por las consecuencias adicionales de la gran cantidad de vuelos que se realizarían sobre la dinámica glacial).

La impresionante precisión de los gradiómetros gravitacionales, variaciones de una parte en diez billones ( $1/10,000,000,000,000$ ) de la gravedad terrestre, se logra con el uso de bloques de platino extremadamente uniformes que permiten la medida simultánea de seis desplazamientos (Figura 11). Estas seis mediciones corresponden a los desplazamientos de los bloques en las direcciones usuales de los sistemas de referencia y a los desplazamientos en las direcciones perpendiculares a ellas (recuadro en la Figura 11).

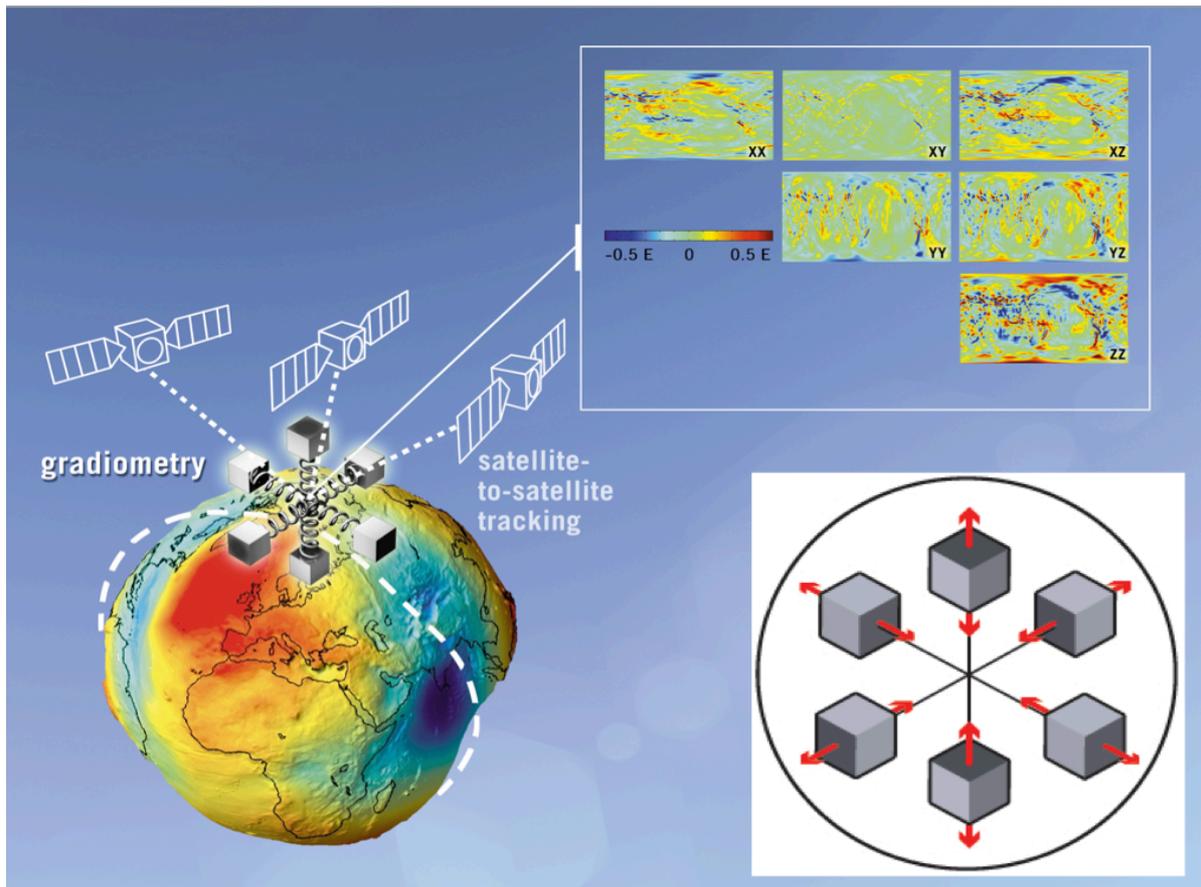


Figura 11. Esquema del funcionamiento del gradiómetro gravitacional mediante bloques de platino (GOCE, 2009).

Los resultados de las mediciones preliminares, realizadas durante los meses de noviembre y diciembre del 2009, se muestran en la Figura 12. En ella se muestra la escala de colores que indica en metros, la diferencia entre el geoide y el esferoide; encontramos que, por ejemplo, en el Atlántico Norte, cerca de Islandia, el geoide está a 80 metros por arriba del elipsoide (zona en rojo), mientras que en el Océano Índico, se encuentra a 100 metros por debajo del elipsoide (zona en azul marino). Como las variaciones no se pueden apreciar en la proyección, en la Figura 13 se incluyen dos imágenes con las medidas preliminares exageradas para resaltar las variaciones.

Otro de los resultados preliminares de las multitudinarias mediciones, esta vez en el área de la Geología submarina, se muestra en la Figura 14. En ella se puede observar claramente que las islas de la Gran Bretaña, Irlanda, *etc.*, no son en realidad islas, sino que se encuentran unidas a Europa. Esta imagen muestra también el porqué fue posible construir en 1994 el túnel submarino que une a Inglaterra con Francia en el Estrecho de Dover y cuya profundidad máxima es de sólo 75 m.

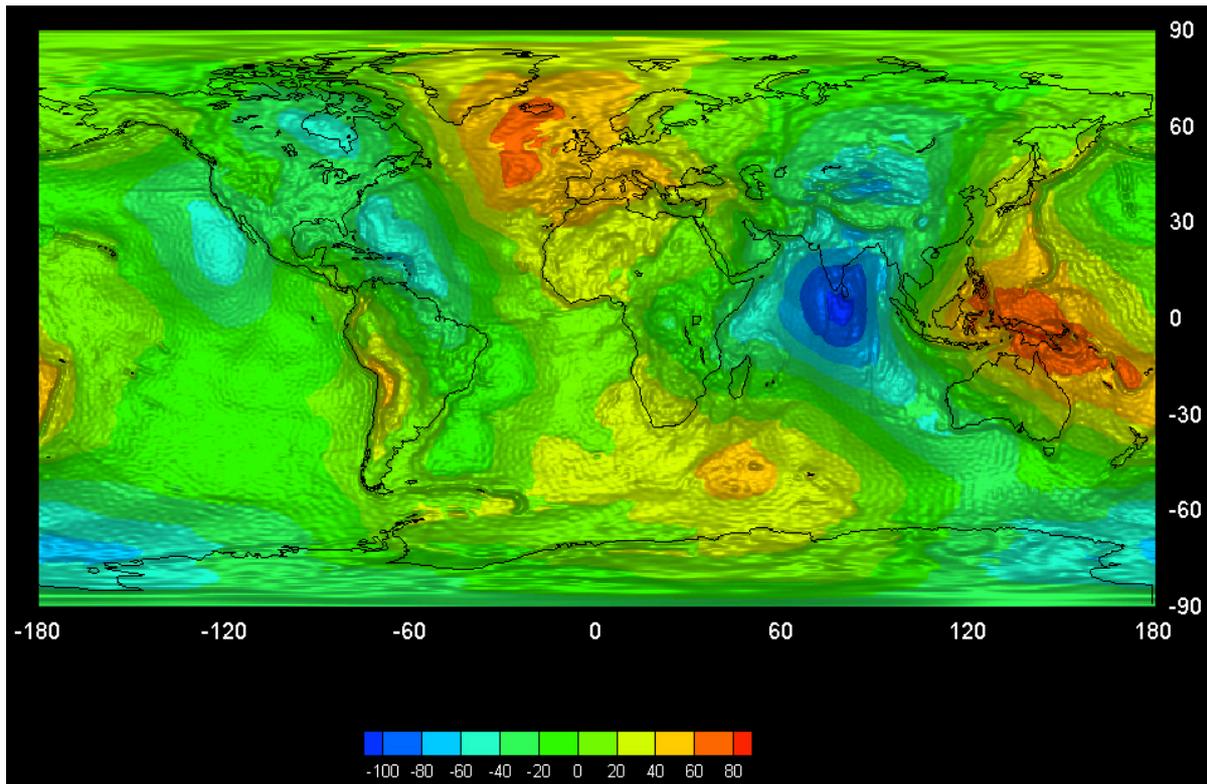


Figura 12. Proyección en el plano de los resultados derivados de las mediciones del satélite GOCE (GOCE, 2009) realizadas durante sus dos primeros meses en funcionamiento.

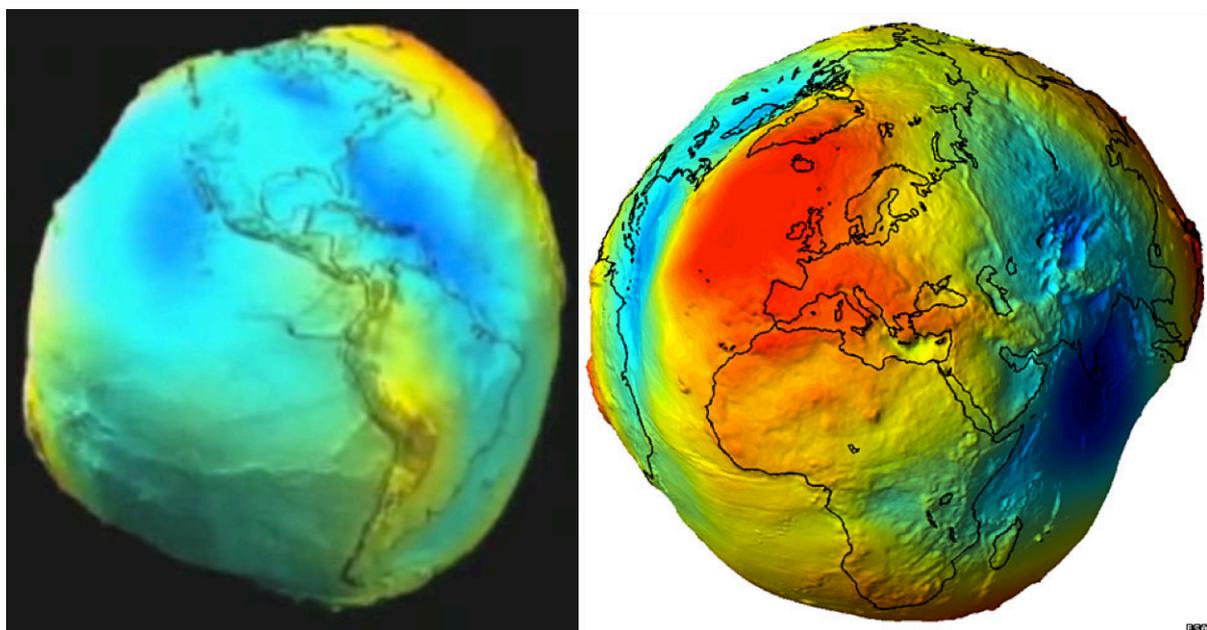


Figura 13. Resultados de las mediciones preliminares del gradiómetro en el satélite GOCE (GOCE, 2009), exagerando las variaciones. En la imagen de la izquierda se nota la 'prominencia' detectada por el GOCE alrededor de Islandia y en la de la derecha se ve claramente la 'depresión' detectada en el Océano Índico, ambas respecto del nivel del esferoide.

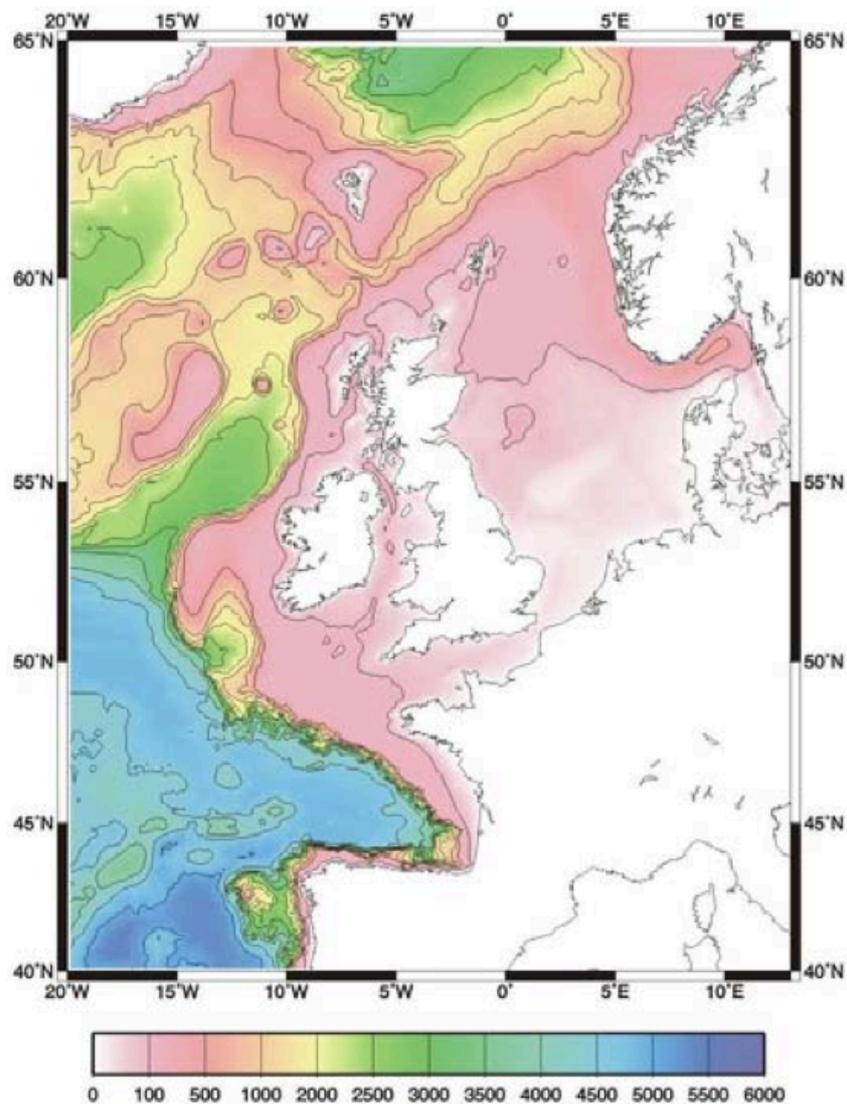


Figura 14. Porción noroccidental de la plataforma europea. Información derivada de las mediciones preliminares del GOCE (GOCE, 2009).

### La confirmación indirecta.

Coincidente en cuanto a la obtención de resultados, contamos con otro experimento que realiza mediciones equivalentes y también lo hace vía satélite. Se trata de un experimento para comprobar las predicciones de la Teoría General de la Relatividad y que ya es biseccular, triseccular si se incluye el experimento de Albert Michelson y Edward Morley en 1887 o la publicación de *La Ciencia de la Mecánica* de Ernst Mach en 1893, ambos íntimamente ligados al experimento.

El experimento llamado *Gravity Probe B*, está diseñado para medir el arrastre del espacio-tiempo alrededor de un objeto en rotación (gravitomagnetismo), propuesto por Josef Lense y Hans Thirring en 1918, un año antes de que ocurriese el eclipse solar que permitió a Frank Watson Dyson, Arthur Stanley Eddington y C. R. Davidson medir la desviación de la luz predicha por Albert Einstein en 1911\*.

---

\* El interés de Eddington no era tanto la confirmación científica del fenómeno como la evasión de su reclutamiento en la primera Gran Guerra.

Si la teoría es correcta, un giróscopo libre de toda interacción y en órbita alrededor de la Tierra, deberá girar en la dirección de la rotación terrestre con una rapidez de 40.9 milisegundos de arco por año, es decir, poco más de 11 millonésimas de grado por año (GPB, 2010; Figura 15). Para tener una idea de lo que ello significa, mencionemos que un milisegundo de arco es el ángulo subtendido por un cabello situado a 16.093 km de distancia, o bien, que si observamos desde París una moneda de un centavo de dólar norteamericano situada en la estatua de la Libertad, un milisegundo de arco es diez veces el tamaño del ángulo subtendido por el ojo de Lincoln en dicha moneda.

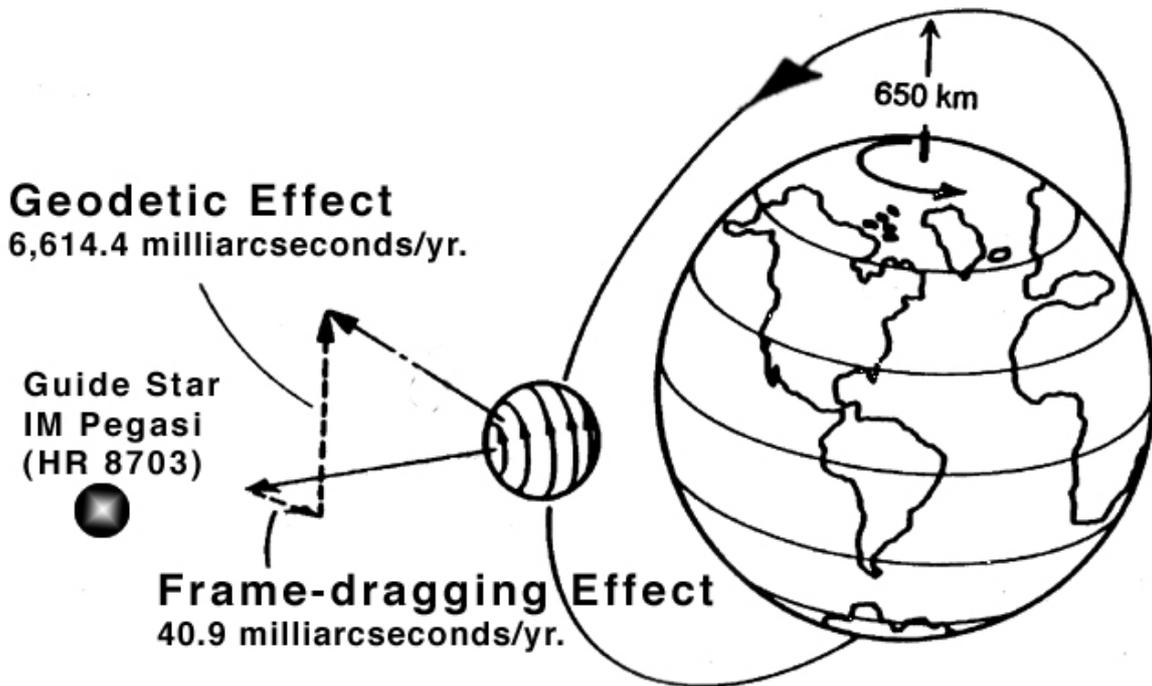


Figura 15. Arrastre gravitacional del giróscopo en caída libre debido a la rotación terrestre (GPB, 2010). También se ilustra el efecto geodésico o desviación del eje de rotación del giróscopo debido a la deformación del espacio-tiempo causada por la presencia de la Tierra.

Las mediciones se llevan a cabo mediante 4 giróscopos de cuarzo fundido con un diámetro de  $3.81 \pm 0.00000762$  cm, cubiertos con niobium y que han sido sometidos a pruebas que garantizan la más alta homogeneidad, esfericidad mecánica y esfericidad eléctrica (dipolo nulo  $\approx 10^{-6}$ ) que jamás se hallan logrado (Figura 16). Se encuentran levitando eléctricamente suspendidos en cavidades que detectan sus desplazamientos ( $10^{-6}$  del centro), al alto vacío ( $10^{-11}$  torr), a muy baja temperatura ( $1.8^\circ$  K) y girando a altas velocidades ( $\omega \approx 5,000$  rpm). El sistema de giróscopos está totalmente aislado del exterior, de manera que no sufra el efecto de alguna otra interacción, ya sea ésta mecánica, eléctrica, magnética, térmica o de cualquier otro tipo conocido.

El satélite que lleva los giróscopos se encuentra en una órbita plana (sistema inercial) definida por el centro de la Tierra, su polo norte y una estrella guía (IM Pegasi o HR8703) respecto de la cuál se miden los desplazamientos; el período orbital es de 97.5 minutos y su altura es de 645.35 km. Al movimiento del satélite en la órbita polar, deben restarse los efectos debidos a las llamaradas y viento solares, los efectos de la traslación de la Luna alrededor de la Tierra, de la traslación de la Tierra alrededor del Sol, del

paralaje de la estrella guía y los movimientos de ésta respecto de las estrellas muy distantes que se consideran fijas (en este caso: el cuasar 3C454.3).



Figura 16. Giróscopos con la mayor perfección en cuanto a homogeneidad y esfericidad mecánica o eléctrica, que jamás se hayan construido (GPB, 2010). Los giróscopos funcionan levitando suspendidos eléctricamente.

Para que pueda realizarse la medición de una magnitud tan pequeña, con la precisión requerida, necesitamos saber con enorme precisión el campo gravitacional generado por la Tierra. De manera que como resultado adicional, el experimento proporciona un mapa detallado de las variaciones en dicho campo. Los resultados se muestran en las Figuras 17 y 18. Aunque en este caso la escala de colores está en unidades de aceleración ( $miliGal = 0.00001 \text{ m/s}^2$ ), causada por las variaciones en el campo gravitacional terrestre, se pueden observar en ambas figuras las coincidencias con las zonas mencionadas en la sección anterior, es decir, la zona en donde el geoide está a 80 m por encima del esferoide alrededor de Islandia que aparece en rojo en el mapa del GOCE (Figuras 12 y 13) y la zona en azul que indica en el Océano Índico una región donde el geoide está a 100 m por debajo del elipsoide, aparecen ambas en los mapas del *Gravity Probe B*.

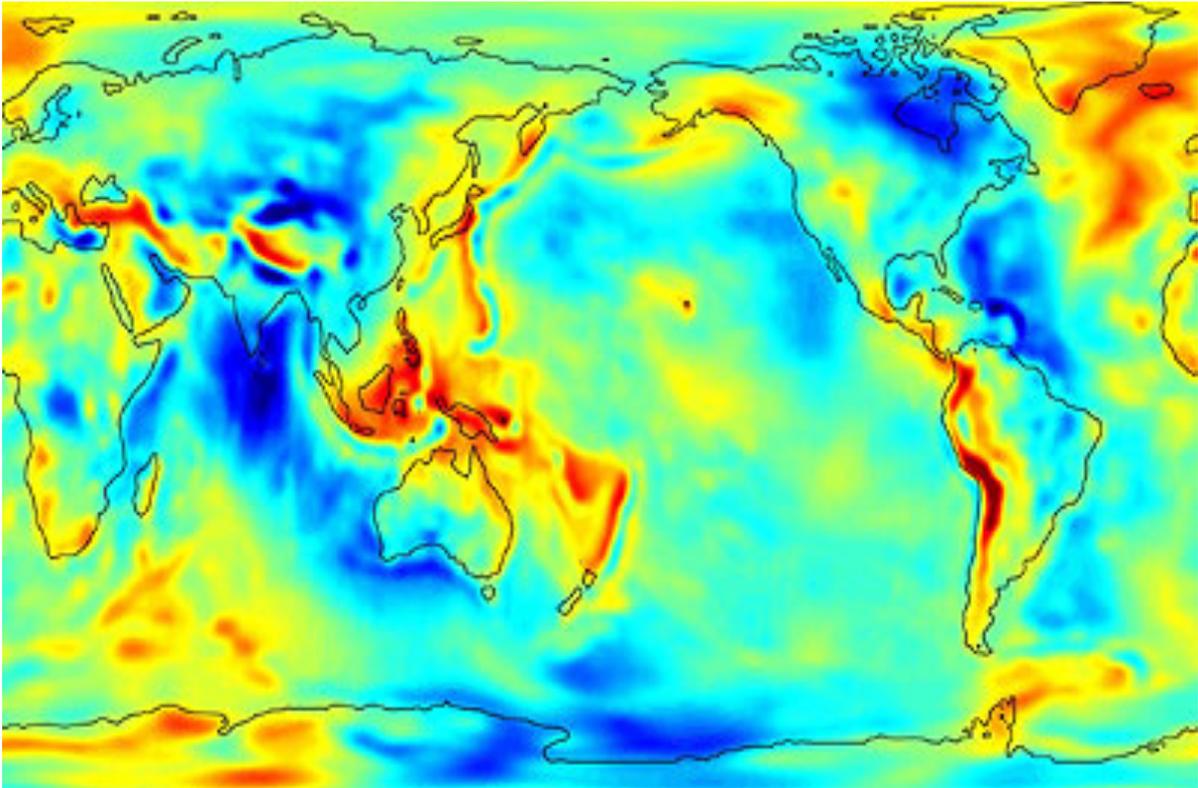


Figura 17. Proyección en el plano de los resultados derivados de las medidas realizadas por el *Gravity Probe B* (GPB, 2010). La escala de colores es semejante a la de las Figuras 12 y 13 aunque las unidades sean distintas, es decir, el rojo indica zonas donde el geoide está por arriba del esferoide y el azul muestra zonas donde el geoide está por debajo del esferoide (Ver Figura 18).

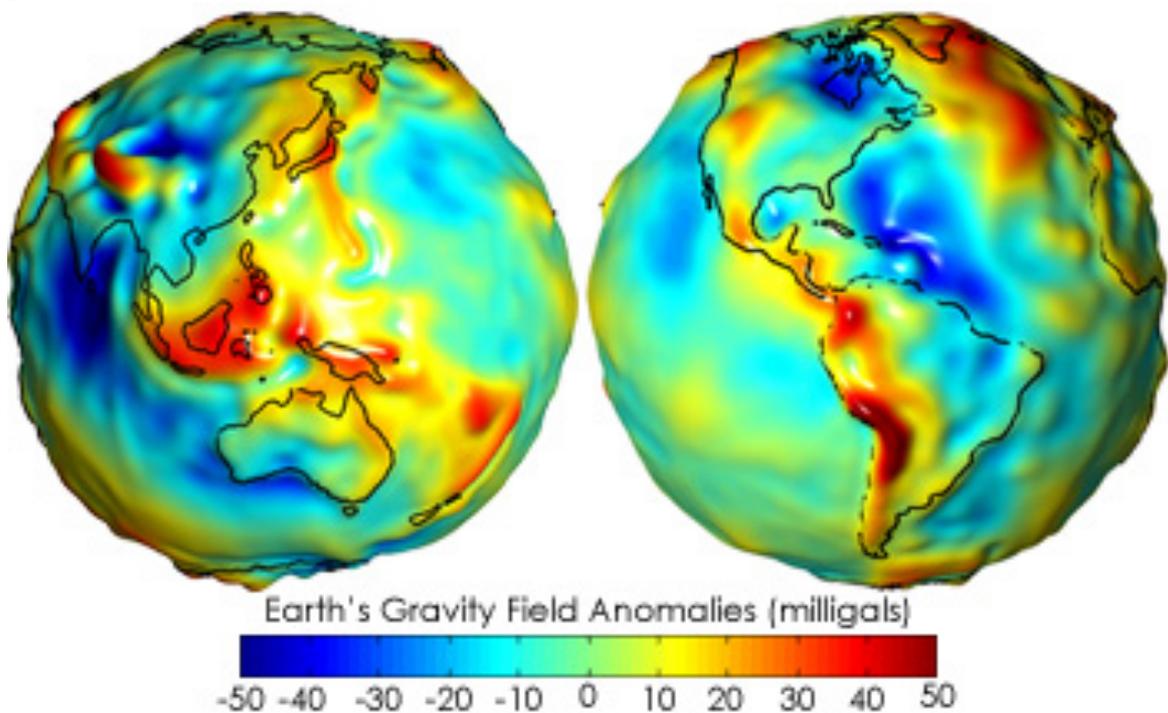


Figura 18. Resultados de las medidas realizadas por el *Gravity Probe B* (GPB, 2010), exagerando las variaciones. En la imagen de la derecha se nota la 'prominencia' detectada por el GOCE alrededor de Islandia y en la de la izquierda se ve claramente la 'depresión'

detectada en el Océano Índico; las unidades en este caso son las correspondientes a la aceleración causada por las variaciones en el campo gravitacional terrestre.

A manera de conclusión y aunque actualmente sólo se conozcan los resultados preliminares de ambos experimentos, podemos ver que las mediciones de ambos se complementan y permiten la mutua corroboración. Esperemos que pronto podamos contar con los datos que permitan la producción de mapas con la precisión necesaria para la planificación de medidas de prevención en las regiones que muestren la mayor vulnerabilidad ante las inevitables consecuencias del Calentamiento Global.

### **Referencias.**

European Space Agency, 2009: Gravity Field and Steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE). Disponible en línea <http://www.esa.int/esaLP/LPgoce.html>.

Everitt, C. W. F., 2011: Gravity Probe B. Disponible en línea <http://einstein.stanford.edu/>.

Fraczek, W., 2010: If the Earth Stood Still, modeling the absence of centrifugal force. *ArcUser*, Summer 2010, 62-68. Disponible en línea <http://www.esri.com>.

IPCC, 2007: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. Disponible en línea [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html).

WGS, 1984: World Geodetic System 1984. Disponible en línea [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_Geodetic\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System).