

# ¿Qué es lo que ha movido la Tierra?

What has the Earth moved?

Carlos Garau-Sagristá. Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Ex. Jefe de costas de Cataluña y de Baleares.

Ex. Catedrático de Puertos y Costas de la Escuela Técnica Superior de I.C.C.P. de Barcelona. [cgarsag@ciccp.es](mailto:cgarsag@ciccp.es)

**Resumen:** Como decía Alfred Wegener, "los desplazamientos continentales, fracturas y compresiones, terremotos y vulcanismo, ciclos transgresivos y deriva polar, se encuentran indisolublemente conectados causalmente a gran escala, (...) pero qué es causa y que es efecto es algo que sólo el futuro desvelará. Sin embargo, la deriva polar ha pasado al olvido y los movimientos de placas se han convertido en una deriva de los continentes deshaciendo y reconstruyendo macrocontinentes a lo largo de la historia geológica, asumiendo que unos presuntos movimientos convectivos del magma los mueven a modo de una cinta transportadora, aunque no está claro como funciona y retorna tal cinta. El presente artículo pretende mostrar que los efectos derivados de impactos significativos han sido la causa de la deriva polar que evidencian los registros fósiles, y que: fracturas, compresiones, ciclos transgresivos, ciclos regresivos, tendido de puentes continentales, extinciones de especies, migración de especies, cambios climáticos rápidos, inversiones magnéticas, y otros procesos, se derivaron de los efectos inducidos por tales impactos, a corto, largo y muy largo plazo (como el actual movimiento de los continentes, por ejemplo). También pretende mostrar que el núcleo sólido de la Tierra no gira sincronizadamente con el manto, y que su rápida rotación ha aportado y aporta la energía que genera el campo magnético terrestre, así como la aceleración interna que actualmente (con el sentido de giro coincidente) compensa en una pequeña parte la deceleración mareal astronómica. Estas y otras consecuencias de lo que llamo Teoría Unificada de los Impactos (UTI) conducen a un nuevo marco interpretativo de algunos aspectos de la Geología, la Geofísica, la Geodinámica y el Geomagnetismo que aquí, en el marco de un artículo, tan sólo se pueden insinuar.

**Palabras Clave:** Impactos significativos, Eje interno o del núcleo sólido, Eje externo o del manto, Deformación geoidal, Excentricidad del interior terrestre

**Abstract:** In the words of Alfred Wegener "Continental displacement, fracture and displacement, earthquakes and volcanoes, transgressive cycles and polar drift, are currently inextricably connected on a large scale, (...) though the cause and effect is something only the future can reveal". However, polar drift has since been forgotten and the movement of plates has been transformed into continental drift which has separated and reconstructed macro-continentes throughout geological history. This when assuming that certain convective movements of magma move these land masses in the manner of a conveyor belt, though it is not clear how this belt is supposed to work or return. The present article attempts to show that the effects of significant impacts has led to polar drift as shown by fossil records, and that: fractures, compressions, transgressive cycles, regressive cycles, continental drift, extinction of species, migration of species, rapid climate change, magnetic inversion and other processes are all derived from the effects of these impacts in the short, long or very long term (such as the current movement of continents). The article also aims to demonstrate that the solid core of the earth does not turn in a synchronized manner with the mantle and that its rapid rotation has provided and continues to provide energy which generates the earth's magnetic field and that internal acceleration (in the coinciding direction of gyration) slightly offsets astronomic tidal deceleration. This and other consequences of what is referred to as the Unified Theory of Impacts (UTI) leads to a whole new understanding of certain aspects of geology, geophysics, geodynamics and geomagnetism which can only be touched upon in this article.

**Keywords:** Significant impacts, Solid core or Internal axis, Mantle or external axis, Geoidal deformation, Eccentricity of inner earth

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de septiembre de 2005. Recibido: febrero/2005. Aprobado: marzo/2005

## Introducción

En *"El origen de los continentes y océanos"*, (reedición de Editorial Pirámide, 1983, Capítulo 9, p. 160) decía Alfred Wegener: *"Me gustaría creer que en esta deformación de la forma de la Tierra debida a la deriva polar tenemos una fuente de energía completamente suficiente para producir los plegamientos"*, y terminaba el Capítulo con las siguientes palabras: *"Nuestra discusión habrá mostrado al lector que el problema de las fuerzas que han producido y producen los desplazamientos de los continentes se encuentra en sus comienzos, (...) Podemos, sin embargo aceptar algo como seguro: las fuerzas que desplazan los continentes son las mismas que producen las grandes cadenas de montañas plegadas. Los desplazamientos continentales, fracturas y compresiones, terremotos y vulcanismo, ciclos transgresivos y deriva polar, se encuentran indudablemente conectados causalmente a gran escala. Su intensificación común a determinados períodos de la historia de la Tierra demuestra la validez de este aserto. Pero qué es causa y que es efecto es algo que sólo el futuro desvelará"*.

Por extraño que parezca, a pesar de que el actual paradigma venera a Alfred Wegener como el padre de la moderna visión de una litosfera desplazada "a la deriva" por movimientos convectivos internos (mecanismo que, como otras ideas rechazadas, ya exponía Wegener), se ha olvidado de su *deriva polar* y de su expresado deseo. Por supuesto que la energía no se debe a la deriva polar, sino que ésta es producto o transformación de la energía cinética aportada por grandes meteoritos.

Wegener no podía ni imaginar en su época que un impacto pudiese causar la *deriva polar*, es decir, el cambio de posición geográfica del eje de rotación y por tanto la modificación del geode. Hoy, la exploración del sistema solar, en lo que ya se denomina la era espacial, tenemos las pruebas suficientes para comprender que en la historia geológica ha sido determinante la incorporación de la energía cinética de grandes bólidos, la cual se añadía a la Tierra en diversas formas, capaces de producir todos los efectos que enumera Wegener en la anterior cita, y otros muchos que aún hoy carecen de explicación adecuada.

El presente artículo tiene por objeto presentar un breve resumen de algunos aspectos de lo que yo llamo Teoría Unificada de los impactos (UTI). Aunque concebida en el año 1983, no he podido dedicarme a su desarrollo hasta hace poco más de tres años. El tema afecta a tantas disciplinas que sólo he podido enfocar el nuevo marco interpretativo desde una visión generalista. Soy consciente de los probables fallos, necesarias correcciones y obligados reajustes del actual estado de mi exposición, pero considero que debo empezar a darla a conocer a fin de

que, desde los múltiples enfoques de las diferentes especialidades, se pueda convertir en un nuevo paradigma en el sentido que Thomas S. Kuhn describe acerca de las revoluciones científicas.

Desde el primer momento es preciso advertir que la UTI presupone dos hechos fundamentales que más adelante presentaré como lógicos y contrastados:

1º. A lo largo de la historia geológica, incluida toda la historia de la evolución de la vida, se han producido innumerables impactos significativos que, al alojarse en el manto terrestre e incorporar a él la energía cinética del bólido en función de su masa y su velocidad de choque, puede alterar el equilibrio interno y las posiciones relativas o absolutas de los ejes de rotación del núcleo sólido (eje interno) y del manto (eje externo que normalmente se denomina simplemente eje de rotación de la Tierra), en sus diferentes aspectos (geográfico, en el espacio, respecto a la eclíptica, o entre ambos ejes).

2º. La rotación del núcleo sólido es independiente de la rotación del manto.

Ambos hechos son, explícita o implícitamente, negados por el paradigma actual, pero el desarrollo de la UTI me ha convencido de que se trata tan sólo de dos prejuicios. La rotación independiente parece que no debería ofrecer problema alguno, toda vez que para explicar el magnetismo se presuponen unos movimientos helicoidales en el seno del núcleo líquido. Con tal presunción, no se ve razón alguna para la igualdad de velocidades angulares del núcleo sólido y del manto. Por otra parte, mientras los movimientos helicoidales implican turbulencias difícilmente asumibles, el giro diferente del núcleo sólido implica tan sólo movimientos laminares del núcleo líquido, capaces de generar el campo magnético terrestre. La energía cinética de rotación del núcleo sólido, derivada de su proceso genético, da cuenta sobrada de la generación del campo magnético terrestre a lo largo de toda su historia desde la temprana estructuración interna.

En cuanto al primer hecho, como se verá, el análisis de los impactos lunares deja clara la lógica presunción de los impactos significativos en tiempos geológicos; la comparación entre las energías cinéticas de rotación de las diferentes capas de la Tierra y la de los grandes bólidos deja clara su plausibilidad; y el análisis de los efectos de tales eventos, que trata de describir la UTI, conduce a la comprensión de todos los procesos requeridos por los registros geológicos que tanta polémica han generado a lo largo de los últimos siglos.

Junto a los hechos primarios, el desarrollo de la UTI ha conducido a otros no menos importantes.

3°. El eje de rotación del núcleo sólido coincide sensiblemente con el eje magnético terrestre.

4°. El núcleo sólido, al igual que los de Júpiter y Urano, está descentrado.

5°. El núcleo sólido gira con velocidad angular varias veces superior al manto, al igual que lo hacen todos los núcleos del Sol y los planetas cuyo núcleo no es solidario con sus capas superiores.

6°. En la Tierra, actualmente el núcleo sólido gira en el mismo sentido que el manto, pero no siempre ha sido así. Las situaciones del campo magnético terrestre inverso corresponden a épocas en que el sentido de giro ha sido contrario.

7°. Dado que la superficie terrestre no acusa excentricidad apreciable, la compensación de la excentricidad del núcleo sólido debe hacerse internamente. El análisis de los estudios de espesores de la capa D'' (Jeanloz y Lay, 1993) conduce a la comprensión de que tal compensación se realiza por la infiltración del núcleo líquido en el manto, de forma que la superficie de infiltración es una esfera (o geoide) simétricamente descentrada en sentido contrario al núcleo sólido.

8°. La situación excéntrica, junto con la diferencia de velocidades angulares entre el núcleo sólido y el manto, implica mayores rozamientos en el seno del núcleo líquido que la situación centrada. Por consiguiente entre el núcleo sólido y el manto se está desarrollando un lento proceso tendente a la centración. Proceso que implica la migración secular del eje magnético (a un ritmo de una revolución cada 1800 años) y la precesión de los equinoccios (migración del eje externo en el espacio). Ambos movimientos se atribuyen generalmente (y en mi opinión erróneamente) a desconocidos efectos gravitatorios de la Luna, el Sol, y otros planetas.

9°. El anterior proceso implica por tanto la migración geográfica de la excentricidad del núcleo sólido y de la forma del límite superior de la capa D''. Dado que la modificación de la esfera de infiltración del núcleo líquido en el manto implica a su vez desplazamiento de masas del manto en sentido contrario, este proceso, a causa del comportamiento reológico más lento de los materiales del manto, produce contracciones en un lado del geoide y expansiones en el contrario. Ello explica las expansiones que actualmente acusan su máximo en un meridiano situado entre la dorsal pacífica oriental (unos 15 cm/año) y la dorsal atlántica (unos 2 cm/año), más cerca de la primera, así como contracciones en el lado contrario del meridiano, es decir en las áreas de Indonesia y Japón. Ello supone que dentro de 900 años las situaciones se habrán invertido, y dentro de 1800 años se volverá a una situación similar a la actual, si bien a la larga todo el pro-

ceso se irá ralentizando al tiempo que se reduce la excentricidad y el ángulo de los ejes interno y externo.

10°. Mientras la energía que ha generado y genera el campo magnético terrestre es la energía cinética de rotación del núcleo sólido, el cual en su proceso genético adquirió una velocidad angular muy superior a la del manto, la energía que causa el proceso de centrado es la energía potencial del descentrado causado por los últimos impactos significativos.

### Diferente comportamiento de las 6 capas de la Tierra

Como se sabe, la Tierra se compone de diferentes capas a lo largo de su radio. Aquí nos interesa especialmente su movilidad en respuesta a posibles alteraciones del equilibrio interno del planeta.

La atmósfera, de naturaleza gaseosa, tiene un espesor de unos 100 km que no se cuenta generalmente al hablar del radio de la Tierra. Éste, variando entre 6378,15 km en el ecuador y 6356,76 km en los polos, tiene un valor medio de 6371,012 km correspondiente al nivel del mar. La masa de la atmósfera apenas cuenta respecto a la total del planeta, pero es determinante para la vida y contiene los principales agentes de los procesos de erosión. Su interacción con la hidrosfera, y los movimientos convectivos inducidos por la energía solar, determina las corrientes fluviales que transportan los productos de la erosión y que finalmente conducen a su sedimentación. La atmósfera es muy sensible al descentrado rápido del núcleo sólido o al cambio de la posición geográfica del eje de rotación del manto, a causa de la lenta respuesta del magma.

La hidrosfera. La masa líquida de océanos y mares se considera prácticamente como parte inamovible de la corteza terrestre, contenida en sus cuencos. Sin embargo, es muy sensible a los cambios rápidos, ya sea al descentrado del núcleo sólido o al cambio en la posición geográfica del eje externo producidos por un impacto significativo. Mientras el alojamiento del bolido en el manto es cuestión de escasos minutos, lo mismo que el descentrado interno y el cambio de posición del eje externo, la respuesta reológica del manto es muy lenta y se desarrolla en múltiples fases. En consecuencia, las masas acuosas responden en horas, sólo limitadas en su velocidad de traslación por las escasas profundidades relativas en que deben desplazarse. Ello implica: desecación de océanos con tendido de puentes continentales y migración de especies; inundación de continentes con extinción de especies, su atrapado en las formaciones sedimentarias y su posterior fosilización. Finalmente, cuando a largo plazo se produce el nuevo equilibrio interno con la adecuada

respuesta de todas sus capas, incluido el magma del manto, las aguas vuelven a sus placas oceánicas.

**La corteza.** Se trata de la capa dura que representa la zona solidificada de la parte superior del manto, con características y espesor que la hacen capaz de regular la transmisión de la cantidad de calor que se genera en el interior de la Tierra, si bien en muchas áreas ha sufrido procesos de transformación y diferentes procesos genéticos. En las placas oceánicas puras se trata generalmente de magma solidificado. En las placas continentales y oceánicas menos profundas, su espesor ha sido determinado por los procesos transformadores, entre los que destacan los sedimentarios, los orogénicos, los metamórficos, y los vulcanismos intrusivos o extrusivos. A pesar de estos procesos y del variable espesor, el flujo de calor en las placas continentales apenas se diferencia del correspondiente a las placas oceánicas, salvo en las áreas de éstas sujetas a expansión y formación de nueva corteza. En estas zonas el flujo aumenta ligeramente por el ascenso del magma, pero no es el calor lo que mueve las placas. El comportamiento de la corteza bajo los efectos de un impacto significativo, además de su perforación y sustitución por nuevo magma solidificado, consiste en fracturarse y abrirse en las zonas de expansión y plegarse en las de compresión, y también experimentar el vulcanismo intrusivo o extrusivo que pueden inducir los materiales corticales arrastrados con el bolido, una vez fundidos en el seno del manto y elevados hacia su equilibrio isostático.

**El manto.** Se trata de la capa de mayor masa de la Tierra (66 %, incluida la corteza), con un espesor de unos 3115 km, aunque infiltrada en su parte inferior por materiales del núcleo líquido hasta un radio variable que deja un espesor medio, libre de infiltración, de unos 2665 km. En su tramo superior, hasta profundidades de unos 40 km está constituido principalmente por silicatos aluminicos (sial) y magnésicos (sima), en estado de fluidez debido a las altas temperaturas y relativamente escasa presión (astenosfera). La respuesta del manto a los desequilibrios internos causados por impactos, y que requieren desplazamientos de masas, es muy lenta (miles de años). Su respuesta a la infiltración del núcleo líquido, necesaria para compensar la nueva excentricidad del núcleo sólido, es relativamente más rápida. A causa de este comportamiento reológico, ambos procesos implican distorsiones en la corteza terrestre, compresiones en unas zonas y expansiones en otras, así como los desplazamientos de las masas de aire y agua antes mencionados. La zona de infiltración, de espesor variable en la actualidad, constituye la denominada capa D'' por los geofísicos. (Ver Figura 8).

**El núcleo líquido.** Es la capa líquida exterior del núcleo, constituida por materiales férricos, y que separa el manto del núcleo sólido. En su límite superior se infiltra en

el manto. A lo largo de la historia geológica la esfera de infiltración ha variado constantemente de excentricidad, en respuesta contraria a la excentricidad del núcleo sólido. Las sucesivas infiltraciones y desinfiltraciones han creado una zona del manto agrietada, susceptible de experimentar tales procesos. En la actualidad la esfera (o geóide) de infiltración está descentrada en unos 225 km. El núcleo líquido está sometido a un movimiento laminar entre sus capas, adaptándose la superior a la velocidad angular del manto y la inferior a la del núcleo sólido. Tales movimientos relativos al núcleo sólido generan el campo magnético terrestre. (Ver Figura 8).

**El núcleo sólido.** Es el núcleo interno constituido por materiales férricos. En su rotación, hoy en el mismo sentido que el manto, gira a una velocidad angular varias veces superior a la del manto. La coincidencia aproximada de su eje de rotación con el eje magnético presupone una excentricidad de unos 900 a 1000 km. Tal excentricidad se debe a los últimos impactos significativos, pues de no ser así, a lo largo de los 4500 Ma de su existencia (presumiblemente centrada genéticamente), o al menos desde hace 3100 Ma en que se supone terminaron los impactos significativos (en realidad hubo un cambio de ritmo de los impactos, pero no se anuló como se verá), se habría alcanzado la perfecta centricidad. La excentricidad del núcleo sólido produce las anomalías en la transmisión de las ondas sísmicas que han llevado a los geofísicos a la introducción de la capa F entre el núcleo interno y el externo.

---

### **Fuerza viva de las tres capas principales**

---

Dado que raramente un meteorito puede alcanzar el núcleo, su energía cinética se transmite al manto en diversas formas. Si bien los pequeños meteoroides ceden toda su energía cinética en forma de calor (meteoro), los grandes bólidos la ceden prácticamente en su totalidad en forma de energía potencial, ya sea alterando la posición geográfica del eje de rotación externo, o bien alterando la excentricidad del núcleo sólido. Estas alteraciones producen los efectos que nos muestran los registros geológicos y que la UTI trata de describir. Es por tanto muy importante conocer la energía cinética de rotación de las tres capas principales desde este punto de vista: manto (incluida la corteza rocosa, la hidrosfera, y la atmósfera), núcleo líquido y núcleo sólido.

En función de las densidades asumidas en la literatura para estas tres capas, y habida cuenta de su variación a lo largo del radio terrestre, en la Tabla 1 se representan los valores de sus volúmenes, masas y energía cinética de rotación. Respecto a esta última, se indica una estimación del valor en función del tiempo T en Ma, utilizándose la expresión  $Iod_m(T)$  y  $Iod_{ns}(T)$  para la duración de la rota-

**Tabla 1. Valores del volumen, la masa y la fuerza viva E(T) de las tres capas de la Tierra**

Capa	Volumen (10 <sup>21</sup> m <sup>3</sup> )	Masa (10 <sup>21</sup> Tn)	E(T) (10 <sup>29</sup> julios)	E(0) (10 <sup>29</sup> julios)
Manto	0,90804	3,923	$1,092 \cdot (86400 / lod_m(T))^2$	1,092
Núcleo líquido	0,16183	1,877	$0,0678 \cdot (lod_m(T) / lod_{ns}(T))^{1,2716}$	0,5249
Núcleo sólido	0,01333	0,180	$0,0036859 \cdot (86400 / lod_{ns}(0))^2$	0,092148
<b>Total</b>	<b>1,08320</b>	<b>5,980</b>		<b>1,709</b>
1	2	3	4	5

ción (asimilable a la "duración del día" = length-of-day) del manto y del núcleo sólido, respectivamente. En la actualidad se estima que la relación entre ambos valores debe estar entre 5 y 10, mientras se presume que hace unos 4500 Ma era algo superior a 20 veces. En la última columna de la tabla se indican los valores actuales (T=0) para  $lod_m / lod_{ns} = 5$ .

**Energía cinética o fuerza viva de grandes meteoritos**

Para tener una idea del orden de magnitud de la energía cinética que puede incorporar el impacto de un meteorito al chocar con la Tierra y alojarse en el manto, se confecciona la Tabla 2 en la que se presentan diversos tamaños y se asumen las siguientes características del meteoritoide y de su velocidad: a) se admite una densidad de 4,5 Tn/m<sup>3</sup>, como valor intermedio entre un cuerpo condrítico o metálico; b) se admite una velocidad de 72 Km/s, sabiendo que la Tierra recorre su órbita a una velocidad media de 29,79 Km/s y que tal velocidad se ha medido en algunos meteoritos (lluvia de Leónidas, aproximadamente el 16 de noviembre, con abundancia máxima a intervalos de 33 años, y que se mueven en sentido sensiblemente opuesto al movimiento de traslación de la Tierra). En la primera columna se presenta el diámetro del

**Tabla 2. Valor de la fuerza viva del meteoritoide (V=72 Km/s; d= 4,5 Tn/m<sup>3</sup>).**

Diámetro (Km)	Diámetro (m)	E = 1/2M*V <sup>2</sup> (julios)	(E <sub>meteoritoide</sub> )/(E <sub>manto</sub> )
10	10 <sup>4</sup>	6,107*10 <sup>24</sup>	0,000056
25	2,5*10 <sup>4</sup>	9,543*10 <sup>25</sup>	0,000874
50	5*10 <sup>4</sup>	7,634*10 <sup>26</sup>	0,006991
100	10 <sup>5</sup>	6,107*10 <sup>27</sup>	0,055925
200	2*10 <sup>5</sup>	4,886*10 <sup>28</sup>	0,447436
265	2,65*10 <sup>5</sup>	1,1366*10 <sup>29</sup>	1,04083
1	2	3	

cuerpo celeste; en la segunda columna la fuerza viva del meteorito que debe incorporarse a la Tierra; y en la columna tercera la relación entre la fuerza viva del manto terrestre y la cantidad de movimiento del meteorito. Puede observarse que un bólido de 265 Km de diámetro puede incorporar en su choque mayor fuerza viva que la que tiene el manto debida a su rotación.

**Nuestros testigos: La Luna, los demás planetas, y el Sol**

Los cuerpos de nuestro sistema solar nos ofrecen su testimonio sobre cuatro hechos fundamentales: la realidad e importancia de los impactos; la excentricidad del núcleo; la variable inclinación del eje de rotación sobre su plano orbital; y el giro más rápido del núcleo cuando no es solidario de las capas superiores.

**La Luna: Realidad e importancia de los impactos**

Todos los planetas téreos y sus grandes satélites nos muestran huellas de notables impactos. Sin embargo, subsiste la creencia de que los impactos significativos en la Tierra terminaron hace unos 3.100 Ma. El estudio de los cráteres lunares pone en evidencia que esto no es así. En la Fig. 1 se reproduce la representación de la densidad

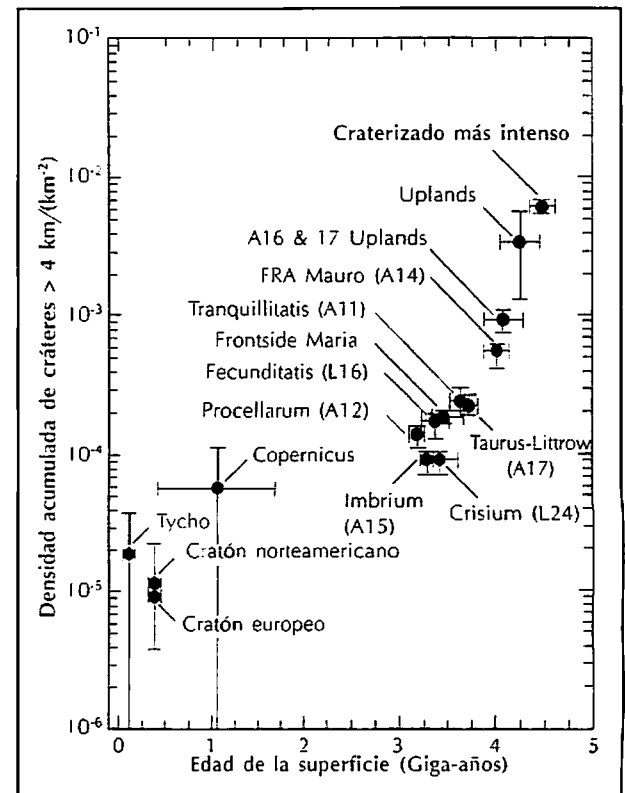


Fig. 1. Densidad acumulada de cráteres en la Luna (adaptada de BVSP, 1981).

acumulada de cráteres existentes en la Luna, con diámetros de más de 4 km de diámetro, en base a la edad de diversos y grandes cráteres, cuyo nombre y edad del impacto se indica (en Ma), y al número de impactos posteriores, del tipo indicado, que aparecen en su interior. (Adaptada de BVSP, 1981, según J. M. Trigo, El origen del sistema solar, 2001).

En primer lugar hay que señalar que, si bien la mayoría de los cráteres en cuya superficie se efectúa el conteo superan los 3.100 Ma de antigüedad, Copérnico ( $\phi = 90$  km) y Tycho ( $\phi = 60$  km) tienen edades de 1.050 y 120 Ma. En segundo lugar debe observarse que carece de sentido la inclusión de las densidades de impactos identificados en los cráteres norteamericano y europeo, asignándoles una edad de unos 300 Ma, puesto que en la Tierra los cráteres

de impacto se borran generalmente en muy pocos centenares de miles de años. A título orientativo, puede afirmarse que la edad media (teórica a estos efectos) de los cráteres continentales es del orden de 1 Ma, en el sentido de que el número de cráteres identificados con edad superior no supera el número de cráteres no identificados con edad inferior al millón de años. En tercer lugar, a los efectos de comparar lo ocurrido en la Luna con lo que ha debido ocurrir en la Tierra, debe tenerse en cuenta que cualquier bólido cuya trayectoria se acerca al sistema Tierra Luna, con probabilidad de choque, es atraído por el centro de masas de tal sistema, el cual se sitúa, en cada instante, en la alineación de ambos cuerpos y a 4.849 km del centro terrestre. Un sencillo tanteo de la probabilidad relativa entre un impacto en la Tierra y un impacto en la Luna, pone en evidencia que por cada uno que recibe el satélite el planeta debe recibir más de 2500 del mismo tipo o superior intensidad.

Hechas estas aclaraciones, en la Figura 3 se representa el resultado del análisis de los cráteres lunares de la Figura 1. Puede observarse que tras una evolución exponencial de la densidad acumulada (evolución lineal de la tasa de impactos por Ma) desde los orígenes del sistema hasta hace unos 3650 Ma, se pasa a una evolución lineal (tasa constante de impactos por Ma).

La (ec. 3) que se indica en la Figura 3 se expresa en cráteres de impacto ( $\phi > 4$  km) acumulados en la Luna (multiplicando los datos de densidad acumulada/ $\text{Km}^2$  por la superficie lunar en  $\text{km}^2$ ), y en función de los datos adquiere la siguiente forma:

$$Y = 0,0010139 \cdot e^{0,00430035 \cdot X}$$

Siendo Y el número de impactos acumulados en la Luna y X la antigüedad en Ma. La expresión equivalente para los últimos 3.400 Ma es:

$$Y = 1,93 \cdot X$$

lo cual significa una tasa fija de 1.93 cráteres de  $\phi > 4$  km, cada Ma en la Luna y unos 5.000 en la Tierra.

Para mayor claridad en la Figura 2 se indica la evolución del número acumulado de cráteres lunares  $\phi > 4$  km, desde hace 3.480 Ma hasta hoy, con escalas lineales tanto en abscisas como en ordenadas. Puede apreciarse que en el caso de Tycho (120 Ma) el número de cráteres acumulado hasta hoy es de 721, lo cual daría una tasa de 6,01 impactos cada Ma. A pesar de ello, la curva  $Y=1,93 \cdot X$  obedece al ajuste por mínimos cuadrados de todos los datos (incluido  $X=0, Y=0$ ) de los últimos 3.480 Ma.

Sabiendo que cráteres como Tycho y más recientes con igual o superior tamaño debe haber habido muchos.

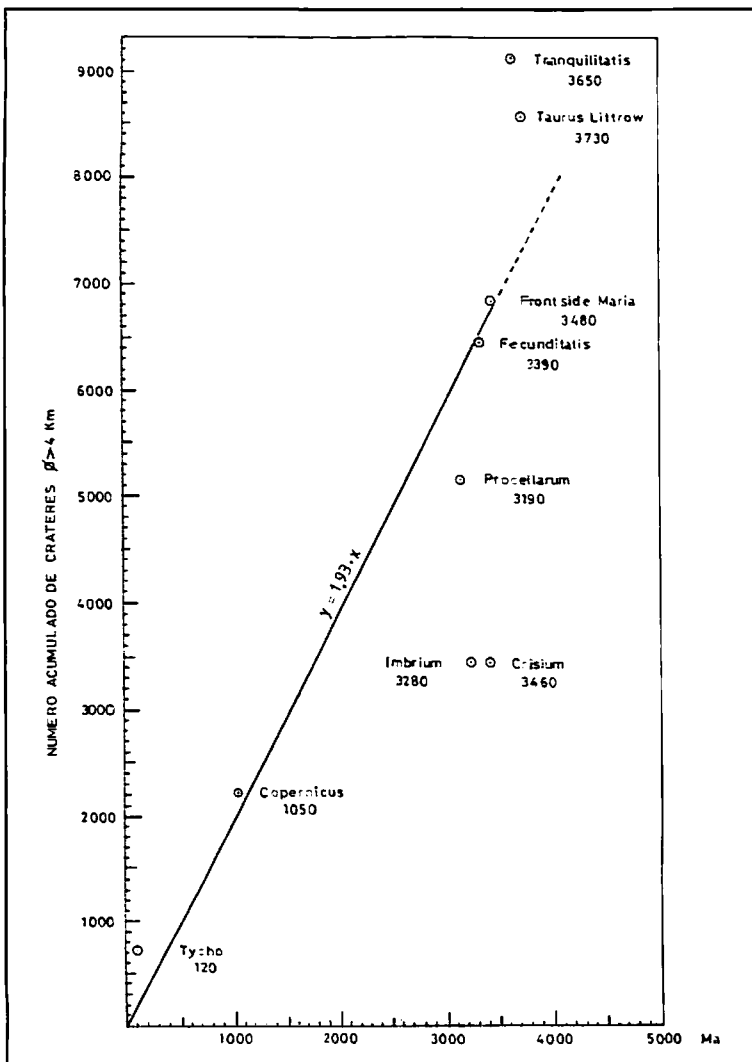


Fig. 2. Representación de los datos de menor edad que 3.730 Ma, correspondientes a densidad acumulada de cráteres de  $\phi > 4$  Km en la Luna, tomados de la Fig. 1, con ambas escalas lineales y expresados en número de cráteres (multiplicando la densidad acumulada por la superficie lunar). Debajo del nombre de cada cráter (ó área de conteo) se indica su edad en Ma.

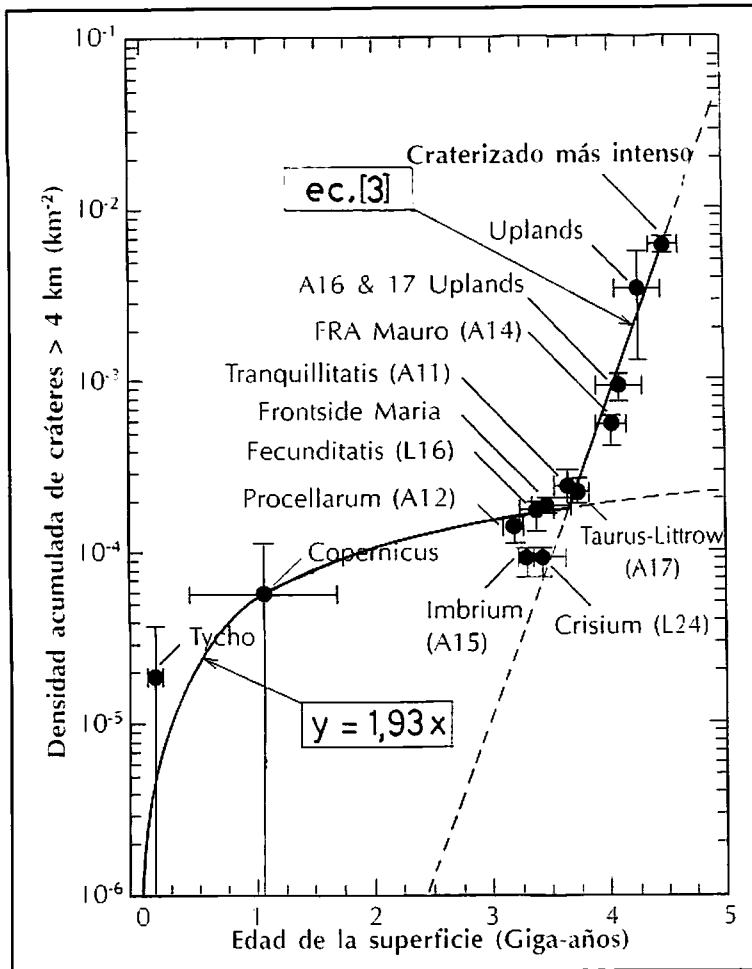


Fig. 3. Representación de las curvas de ajuste de los datos de la Fig. 1. A) exponencial (entre -480 y 3.650 Ma, y que se convierte en recta al ser logarítmica la escala de ordenadas); y B) lineal (desde 3.480 hasta hoy, y que aparenta una exponencial por la misma razón).

y que por cada uno de ellos deben haberse producido más de 2.500 en la Tierra, es obvio que los impactos significativos en la Tierra deben haberse dado con períodos de retorno de un orden inferior al millón de años.

Es oportuno resaltar que, si bien en la Tierra el cráter de 4 km de diámetro corresponde generalmente a un cuerpo de bastante menor tamaño, el cráter producido por un bólido de  $\varnothing > 50$  km (claramente significativo según la Tabla 2), en una corteza de unos 3 a 20 km de espesor, a las altas velocidades de choque ( $\approx 70$  km/s, cuando un proyectil en la Tierra no alcanza 1 km/s), será algo mayor, pero del mismo orden.

**Excentricidad e inclinación del eje magnético**

La excentricidad e inclinación del eje magnético respecto al eje de rotación, es algo corriente en el sistema solar. El núcleo metálico y silíceo de Júpiter, con una ma-

sa 10 veces superior a la del globo terrestre, genera el campo magnético del planeta (20.000 veces más fuerte que el terrestre), que tiene su centro a unos 1200 km al N del centro de Júpiter. (Carroggio, T-15, p. 5.620) y está inclinado respecto al eje de éste en unos 11°. El núcleo de Urano, genera un campo magnético (unas 50 veces mas fuerte que el terrestre) descentrado casi en un tercio del radio del planeta (algo más de 8.000 km) y está inclinado en unos 60° (Enciclopedia del Espacio. Espasa Calpe S. A. 2003; The Times concise Atlas of the World, 2000).

**La variable inclinación del eje de rotación respecto al plano orbital**

Se trata de un hecho general; Mercurio, 0°; Venus, 178°; La Tierra, 23° 26'; Marte, 24°; Júpiter, 3° 4'; Saturno, 26° 44'; Urano 98°; Neptuno 29°; Plutón, 122°. La explicación de tal circunstancia debe atribuirse al eventual resultado de los últimos impactos significativos recibidos por cada planeta, pues el proceso genético tuvo que implicar un eje de rotación perpendicular a dicho plano orbital. Sólo cuando la agregación de materia hubo formado el protoplaneta bajo régimen dominado por las mismas leyes que determinaron el sentido de recorrido de las respectivas trayectorias, se pasó a los efectos aleatorios de impactos procedentes de fuera de la nube de materia originaria de cada planeta. En el caso excepcional de Mercurio, no se trata de que no haya sufrido alteraciones de su posición original, pues por su proximidad al Sol debe ser el planeta que más densidad de impactos ha recibido a lo largo de los 4500 Ma (3.500 Ma si nos referimos al gran cambio de ritmo de los impactos que muestra la Luna). Lo que ha ocurrido es que esta misma proximidad ha conducido al rápido reajuste de cualquier alteración del ángulo de su eje de rotación respecto a la perpendicular al plano orbital.

**El giro más rápido del núcleo sólido**

Respecto a este hecho, hay dos pruebas de que esto es así en la Tierra que expondré a continuación, para después observar que en otros cuerpos celestes se da la misma circunstancia.

La primera prueba la encontré pocos días después de haber observado que la UTI me conducía a tal circunstancia. Consultada la Enciclopedia Carroggio, 1997, al hablar de Astronomía en un Apéndice (T-36, p. 33) dice: ... "Pero el núcleo nos reservaba una sorpresa: las ondas sísmicas atraviesan con mayor rapidez el hueso en la dirección N a S que cuando se propagan de E a O. Xiaodong Song, de la Universidad de Columbia, y Paul Richards, del observatorio de Lamont, tras haber analizado los sismogramas disponibles desde 1968, han comparado

dos a dos los que han seguido el mismo trayecto a 20 ó más años de intervalo y -esa es la sorpresa- han comprobado que el núcleo metálico gira algo más de prisa que el resto del globo". Aunque tan sólo se dice algo más deprisa, debe tenerse en cuenta que las ondas sísmicas se transmiten en su mayor parte a través de las capas exteriores del núcleo líquido que son casi sincronas con el manto y su recorrido por el núcleo sólido es relativamente despreciable.

La segunda prueba procede de los estudios de la aceleración mareal. Kurt Lambeck, en su libro *"The Earth's Variable Rotation. Geophysical causes and consequences"*, 1980, basándose en datos de observaciones astronómicas de los últimos tres milenios, resume los resultados analizados por diversos investigadores con las siguientes ecuaciones:

Aceleración total de la Tierra (p. 319)  

$$\Omega = (-5,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-22} \text{ rad/s}^2 \quad (3.5.11)$$

Aceleración mareal de la Tierra (p. 337)  

$$\Omega_M = (-7,28 \pm 1,50) \cdot 10^{-22} \text{ rad/s}^2 \quad (3.5.12)$$

Aceleración no mareal de la Tierra (p. 338)  

$$\Omega_{NM} = (+1,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-22} \text{ rad/s}^2 \quad (3.5.13)$$

La única explicación razonable del origen de la aceleración no astronómica, y por lo tanto de origen interno a la Tierra, estriba en que el núcleo sólido gire más deprisa que el manto, y en el mismo sentido actualmente.

En lo que respecta a otros cuerpos celestes tenemos:

Júpiter y Saturno, ambos con núcleo sólido y capas exteriores gaseosas (densidades medias de 1,31 y 0,69 gr/cm<sup>3</sup>) presentan la singularidad de que sus zonas ecuatoriales giran con mayor velocidad angular que las zonas polares. La única explicación de tal hecho está en que el núcleo sólido gira más deprisa que sus capas exteriores, y el mecanismo es el siguiente: el núcleo transmite una aceleración a las capas contiguas, y dada su reducido tamaño relativo al total, sólo la induce en las capas ecuatoriales; las capas polares reciben indirectamente tal aceleración a través de las capas ecuatoriales y, por consiguiente, su velocidad es menor.

El Sol presenta la misma característica. Sus zonas polares tardan 35 días en una revolución, mientras las ecuatoriales tardan tan sólo 25. Tal hecho debe interpretarse como consecuencia de que el núcleo solar rota a mayor velocidad que el exterior, pero además, en la Enciclopedia Carroggio, 1988 (T-24, p. 8953, 8954) se dice lo siguiente:

*"Especial interés ha tenido estos últimos años la investigación, a partir de indicios externos, de la existencia y rotación de un núcleo interior del Sol. (...) En 1964 sugirió*

*H. Dicke la posibilidad de que exista una distorsión en el interior del Sol, debida a un núcleo en rápida rotación y que sería reliquia fósil de la que tuvo el astro al principio de su existencia. (...) Según Dicke, los resultados conseguidos hasta ahora permiten sostener razonablemente que el Sol posee un núcleo de radio 0,55 del solar, el cual está dotado de una velocidad angular 20 veces mayor que la de la superficie y que llegó en su evolución a la secuencia principal con la rotación superficial ya disminuida hasta unas cinco veces su valor actual, pero con el núcleo girando uniformemente a 20 veces la velocidad actual de giro de la fotosfera."*

Desconozco si con posterioridad se han obtenido pruebas confirmando la estimación de Dicke. En todo caso debo hacer constar que cuando encontré esta cita la buscaba por entender que debía ser así por el proceso genético del sistema solar, si mis deducciones para la Tierra eran correctas. Es incuestionable que la separación de un núcleo de materiales más densos, respecto a unas capas exteriores más ligeras y que pueden girar con independencia, en un cuerpo celeste en rotación, el núcleo debe girar a mayor velocidad angular, toda vez que en el proceso de reclasificación (siempre más lento que la incorporación de nuevos materiales que adquieren la velocidad de la zona de su alojamiento) las masas que se aproximan al centro deben aumentar su velocidad angular para mantener su velocidad absoluta y su energía cinética, y lo contrario ocurre a las masas que se alejan del centro. Se trata del conocido efecto del rápido giro de la patinadora, cuando encoge sus brazos, y su ralentización cuando los extiende.

Por otra parte, además de ser más rápido el giro del núcleo sólido por su proceso genético, el efecto mareal frena siempre las capas exteriores líquidas o gaseosas.

### Efectos de los impactos

El objetivo fundamental de la UTI consiste en describir los efectos que pueden derivarse de un impacto significativo. Explicar todos los procesos y mecanismos desencadenados por ellos se escapa de las posibilidades de un artículo, y analizar las relaciones entre estos procesos o mecanismos con los resultados que reflejan los registros geológicos es una tarea por hacer. Aquí me limitaré a presentar un cuadro general donde se indican causas, efectos y estimaciones de los ritmos, correspondientes a las alteraciones de los ejes externo e interno. Evidentemente tan sólo como orientación del posible orden de magnitud de los tiempos implicados. No se incluyen en este cuadro todos los efectos del descentrado del núcleo sólido que pueden ser simultáneos, tener similar importancia y sumarse.

Para su mejor comprensión conviene tener presente las siguientes aclaraciones:

Abreviaturas:

- e.r. eje de rotación del manto, o eje exterior
- e.m. eje magnético, o eje de rotación del núcleo sólido, o eje interno
- cmt campo magnético terrestre
- n.s. núcleo sólido
- n.l. núcleo líquido
- l.o.d. duración del día (length of day)
- km kilómetros
- m metros, o también minutos
- h horas
- $\alpha$  ángulo de variación de la posición del e.r. sobre la corteza, definido por los nortes anterior y posterior al impacto.
- $\delta$  ángulo inicial entre el e.m. y el e.r. tras el impacto; actualmente  $\delta \approx 15^\circ$  (Ver Fig. 7)
- $\gamma$  ángulo del e.r. respecto a la perpendicular al plano de la órbita terrestre (eclíptica).
- $\alpha$  exponente de 10 para expresar los tiempos de los procesos, (en  $10^\alpha$  años).

$\Omega$  velocidad angular del manto terrestre

profund.y superf. = profundos y superficiales

Velocidades:

Se califican las velocidades de los diferentes procesos en seis denominaciones y además se indica con una X si se trata de minutos u horas y a continuación se da el valor de  $\alpha$  que se estima orientativo del orden de magnitud de la duración del proceso. Si tiene un margen amplio se indican los valores mínimo y máximo separados por el signo (/). Se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Descripción de las velocidades o duración de los procesos derivados de un impacto significativo, que se utilizan en el Cuadro General de efectos**

Denominación	Minutos	Horas	$10^\alpha$ años (valores de $\alpha$ )
Ultra rápida	X		-6
Muy rápida		X	-3
Rápida			0/1
Lenta			2/3
Muy lenta			4
Geológica			2/9

**Cuadro general de los efectos de un impacto significativo en eras geológicas. Cronología, causas primera y final, fuente principal de energía, y velocidad.**

Causa Primera	Causa Final	Efecto o Consecuencia	Fuente principal de Energía	Velocidad	m	h	$10^\alpha$ año $\alpha$
I	Ajuste fuerza viva	A. Cambio del e.r. sobre la corteza. ( $\alpha$ )	Fuerza viva del meteorode	Ultra	X		-6
		B. Cambio del e.m. sobre la corteza. ( $\delta$ )		rápida	X		-6
		C. Cambio del e.r. en el espacio. ( $\gamma$ )				X	
	A	A.1. Cambios locales de clima	Variación local acción solar	Muy rápida		X	-3
M	A.1	A.1.1 Congelación de especies vivas	mengua local acción solar	Muy rápida		X	-3
	A.1	A.1.2 Formación de hielos + posible bajada del nivel del mar (<300 m) no eventual	Id.id. + polo en continente	Lenta			+3
	A.1	A.1.3 Fusión de hielos + posible elevación del nivel del mar (<300 m) no eventual	Aumento id. + polo en océano	Lenta			+3
	A	A.2 Cambios de radio. 1ª Fase: variaciones rápidas del nivel del mar (<11,57 km) $\pm 30\%$	Fuerza viva del bóllido convertida	Muy rápida		X	-3
	A.2.	A.2.1 Inundaciones de continentes		Muy		X	-3

Causa Primera	Causa Final	Efecto o Consecuencia	Fuente principal de Energía	Velocidad	m	h	10 <sup>α</sup> año α
P	A.2.1	A.2.1.1 Extinción de especies terrestres	en energía potencial ± variación de la fuerza centrífuga local	rápida		X	-3
	A.2.1	A.2.1.2 Fusión de hielos + grandes icebergs + transporte de grandes bolos y su posible depósito en cumbres montañosas al encallar		Rápida			1
	A.2	A.2.2 Deseccación de océanos		Muy		X	-3
	A.2.2	A.2.2.1 Extinción de especies marinas		rápida		X	-3
	A.2.2	A.2.2.2 Inicio colonización nuevas tierras		Rápida			0
A	A	A.3 Cambios de radio 2ª Fase: adaptación del nivel teórico del magma (<21.39 km)	Id. id. id.				
C	A.3	A.3.1 Colonización de las nuevas tierras por flora y fauna durante lento retorno del agua	comportamiento reológico del magma	Muy lenta			3/4
	A.3	A.3.2 Migración de especies terrestres					
	A	A.4 Cambios de longitud de placas					
	A.4	A.4.1 Compresiones en áreas de reducción de radio: orogenia y plegamientos + terremotos + vulcanismo					
	A.4	A.4.2 Expansiones en áreas de aumento de radio: fracturas + formación de nueva corteza generalmente oceánica					
T	B	B.1 Reorientación inicial con un ángulo δ entre el eje interior (núcleo sólido) y exterior (manto), que implica nuevo e.m.	Fuerza viva del bolido + inercia núcleo sólido	Ultra rápida	X		-6
O	B.1	B.1.2 Reajuste del e.m. y el e.r.. Si δ > 90°, hay inversión del cmt. La inversión implica freno de la Ω del manto y aumento de la l.o.d. (el giro actual acelera el manto)	Id, id + viscosidad del núcleo líquido	Lenta			1/2
	B.1	B.1.3 Ajuste final, migración secular e.m.		Muy lenta			4
	C	C.1 Si γ = 90° extinciones masivas especies	Fuerza viva bolido	Ultra rápida	X		-6
S	C	C.2 Acoplamiento inicial eje núcleo a la Ω	Id, id	Lenta			1/2
	C	C.3 Ajuste final ejes n.s. y manto. (Precesión de los equinoccios, actualmente)	+ inercia n.s. + viscosidad n.l.	Muy lenta			4
	Masas ligeras D	D. Alojamiento de masas ligeras (corticales o del bolido) en profundidades indebidas D.1 Elevación id. para ajuste isostático: terremotos profund. y superf. + vulcanismo	Fuerza viva del bolido Energía potencial	Ultra rápida Muy lenta	X		-6 0/4
Erosión Sedimentación	Isostatismo	E.1 Elevación de las placas descargadas E.2 Subsistencia de nuevas placas sedimentarias. En ambos: + terremotos superficiales + activación y desactivación del vulcanismo	Solar + Potencial, relieve Potencial, Isostatismo	Geológica Geológica Geológica			4/9 4/9 4/9

## El Geomagnetismo

El mecanismo generador del campo magnético terrestre es uno de los problemas no resueltos, y muy especialmente el origen de la energía que lo produce. Desde el punto de vista de la UTI, ambos problemas se derivan del prejuicio de una supuesta rotación sincrónica del núcleo sólido y el manto, y olvidando tal prejuicio tienen una solución sencilla. Por otra parte, las inversiones del campo que registran los testigos fósiles resultan incomprensibles si se prescinde de la falta de solidaridad entre dichas capas de la Tierra y de la posibilidad de que un agente externo pueda alterar la orientación sideral del eje de rotación externo, y esto, como se viene mostrando, es también otro prejuicio.

El mecanismo generador es similar al de un solenoide. En éste, el sentido de la corriente determina el polo N magnético por la regla de la mano derecha (los dedos rodeando el solenoide indican la dirección de la corriente y el pulgar la dirección del N). En el campo magnético terrestre, al que podemos asimilar a un gran electroimán, el polo S magnético (que atrae el polo N de la brújula) está próximo al Norte geográfico. Por lo tanto, las posibles corrientes capaces de generar dicho campo deben girar en el mismo sentido que las agujas del reloj, vistas desde la estrella polar. La rotación de la Tierra tiene el sentido contrario al anteriormente indicado. Sin embargo, lo que aquí interesa son las corrientes relativas del núcleo líquido respecto al núcleo sólido. Éste último gira actualmente en el mismo sentido que el manto, aunque más deprisa y, por consiguiente, respecto a unos ejes fijos a él los movimientos de las diferentes capas del núcleo líquido, que en su límite superior deben acoplarse a la velocidad angular del manto, implican movimiento de giro en el sentido de las agujas del reloj, vistas desde la estrella polar. Igual ocurre con todos los materiales del manto y de la corteza.

Vemos por lo tanto que el giro relativo de las partículas que constituyen la enorme masa férrica del núcleo líquido de la Tierra reproduce, para cada una con carga eléctrica, una espira del solenoide; que giran a velocidades relativas muy superiores a las de la rotación terrestre; y que el sentido de su giro coincide con el que requiere el actual campo magnético terrestre. También vemos que la existencia de una masa férrica constituyente del núcleo interior sólido, reproduce la intensificación del campo de un electroimán. Por consiguiente, la consideración de la rotación del núcleo externo líquido (y también el manto) respecto al núcleo interno sólido, constituidos por materiales férricos en su mayor parte, y la asimilación del conjunto a un electroimán, conduce a un modelo sencillo de la génesis del campo magnético terrestre.

Las inversiones del campo resultan incomprensibles para el paradigma actual. Así lo expresaban Takeuchi, Uyeda y Kanamori en su libro *"¿Qué es la Tierra? El problema de la deriva continental"* (Bosch, Casa Editorial, 1978, p. 114): *"De acuerdo con Blacket, el campo geomagnético es debido a la rotación de la Tierra. Si tanto la idea de Blacket como la inversión del campo geomagnético fuesen correctas, esto significaría que mientras el campo magnético tenía un sentido opuesto al actual, la Tierra giraba también en sentido contrario al que hoy gira. No sólo estaban invertidos el norte y el sur, sino también el este y el oeste. ¿Pudo la Tierra haber girado primero en un sentido y luego en otro? El sugerirlo sería absurdo."*

En primer lugar, no es simplemente la rotación de la Tierra la causa del campo magnético, sino la relativa rotación del núcleo respecto al manto. Si éste se parase (fijando su cara al Sol como hizo la Luna hacia la Tierra hace unos 8,72 Ma), el campo aumentaría ligeramente de intensidad (puesto que hoy gira en el mismo sentido). En cuanto a la inversión, los impactos de cierta importancia y características adecuadas (masa del bóido, velocidad, dirección, distancia de la trayectoria al centro de la Tierra) pueden alterar la orientación del eje externo, máxime cuando el centro del sistema Tierra Luna queda a unos 4.849 km del centro terrestre. Dado que el núcleo sólido mantiene su orientación espacial instantánea, ello produce una variación del ángulo entre el eje del núcleo sólido y el de rotación, que posteriormente sufren un lento proceso de reajuste. Si, en casos extremos tras un impacto, el ángulo entre ambos supera los 90°, el reajuste posterior conduce a una inversión magnética. Recuérdese que hoy los planetas presentan diferentes ángulos entre ambos ejes magnético y de rotación: unos 15° en la Tierra, unos 11° en Jupiter, unos 55° en Urano). A lo largo de la historia de la Tierra, pueden haberse dado situaciones en que tanto el este y el oeste se han intercambiado, como los polos magnéticos, y todo ello sin variar la velocidad de rotación del manto del planeta. El problema se deriva de entender como sinónima la rotación de la Tierra con la rotación de todas sus capas, y entre ellas su núcleo. Por otra parte debe tenerse en cuenta que por la igual probabilidad de que un impacto disminuya o aumente la velocidad angular del manto, los impactos no la han variado. Sin embargo el efecto de las mareas astronómicas la han ralentizado sustancialmente.

**Origen de la energía.** La energía que produce el campo magnético terrestre procede de la rotación del núcleo sólido. Según los autores antes citados, (TUK, p. 102), la energía consumida por la dinamo del núcleo se estima en  $2 \cdot 10^{10}$  cal/s. En base a esta estimación, la energía consumida por la dinamo nuclear en el transcurso de estos 4.500 Ma ha sido:

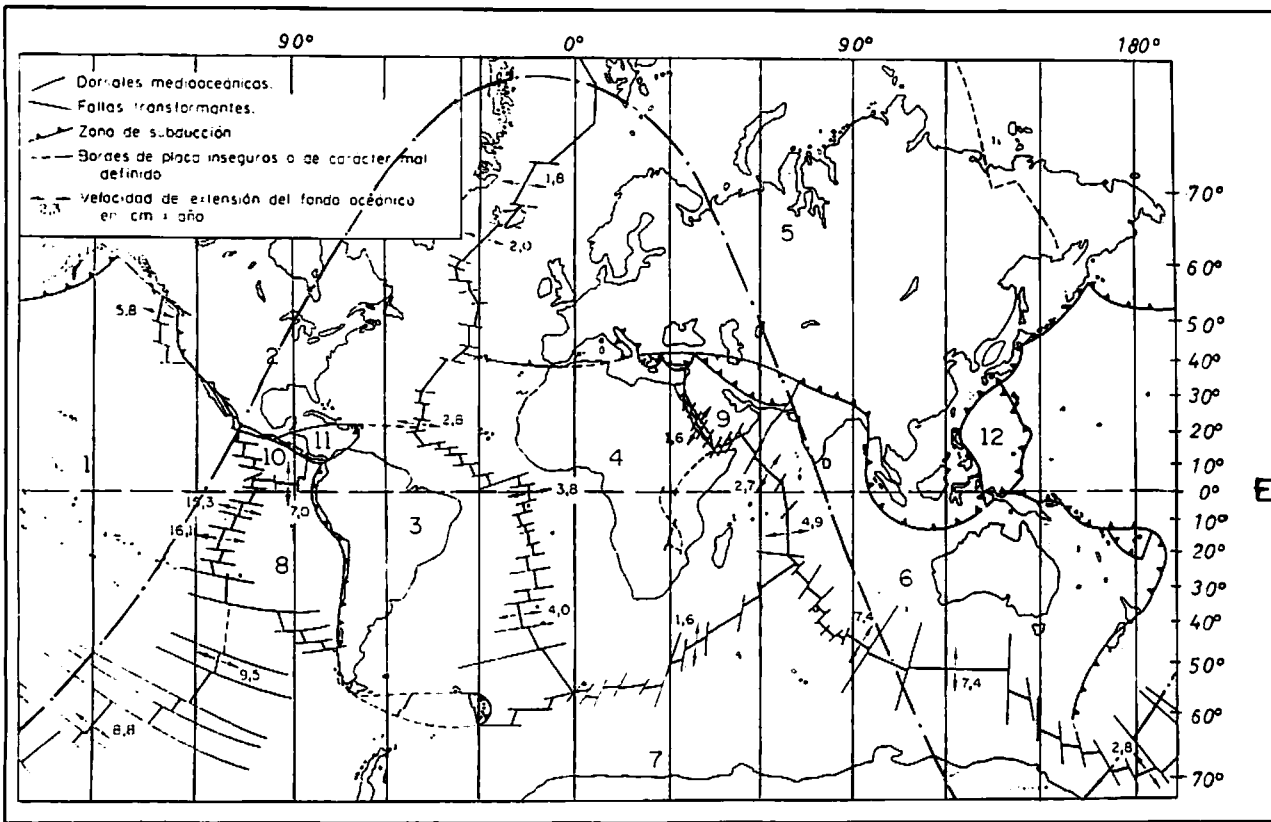


Fig. 4. Las principales placas y sus movimientos (Tomada del Epílogo de F. Anguita a la reedición del libro de Wegener, citando a Agüeda et al.)

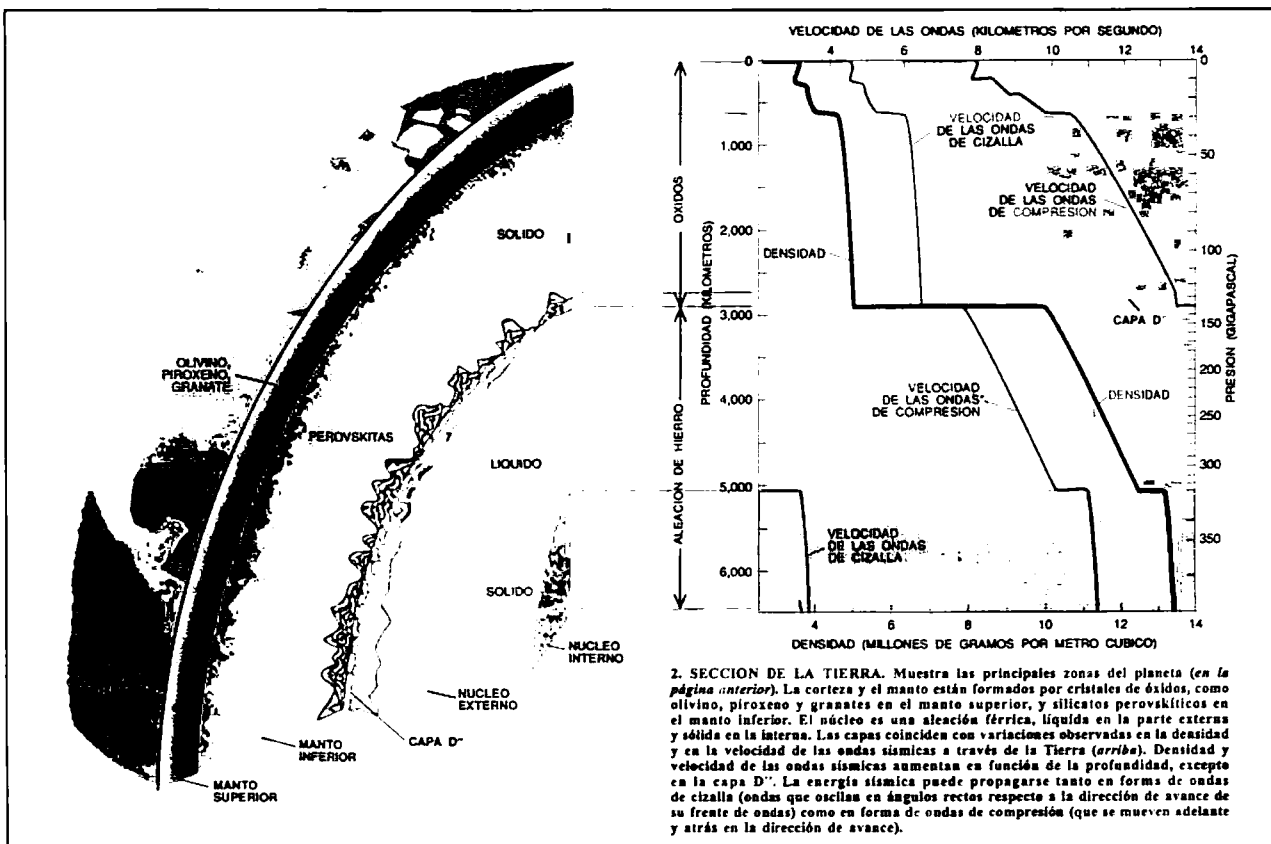


Fig. 5. Densidad y velocidad de las ondas sísmicas en las distintas capas de la Tierra. Singularidad en la capa D\* en el contacto entre el núcleo líquido y el manto. (Tomada de Jeanloz y Lay, Investigación y Ciencia, julio, 1993, p. 16-17)

$$E_{\text{dinamo}}(4.500) = 2 \cdot 10^{10} \cdot 86400 \cdot 365 \cdot 4.500 \cdot 10^6 = 2,838 \cdot 10^{27} \text{ cal}$$

Para pasar a calorías las energías calculadas en julios para el núcleo (según Tabla 1 y asumiendo que hoy el núcleo sólido gira con velocidad angular 5 veces la del manto y que hace 4.500 Ma esta relación era del orden de 20 veces mientras la velocidad angular del manto era 2,5 veces la actual), tenemos que multiplicar por 0,2388 (paso de julios a calorías), y por tanto tendremos:

$$E_n(0) = 1,5 \cdot 10^{28} \text{ cal}$$

$$E_n(-4.500) = 2,9 \cdot 10^{29} \text{ cal}$$

Por lo tanto la energía cinética del núcleo consumida durante la historia geológica de la Tierra, es de aproximadamente  $2,75 \cdot 10^{29}$  cal. Como vemos, la energía consumida por la dinamo nuclear en toda esta historia es prácticamente despreciable (del orden del 1 %). La mayor parte de la pérdida de energía cinética del núcleo ha sido cedida al manto terrestre, unas veces compensando la deceleración mareal (como en la situación actual), y otras sumándose al efecto mareal (en las situaciones de inversión), o bien en forma de calor.

Finalmente, conviene señalar que lo expuesto justifica el hecho de que en muchos casos de magnetismo fósil se observe una intensidad superior a la actual. En efecto, la diferencia de velocidad angular entre el núcleo sólido y el manto era mayor en remotos tiempos geológicos.

### **El actual movimiento de los continentes y el reajuste de los ejes interno y externo**

#### **Movimientos de las placas**

Uno de los hechos fundamentales que se supone apoyan la teoría de la *deriva continental*, en adelante DC, consiste en la constatación de que las placas se separan en unas zonas y se juntan en otras, según puede apreciarse en la figura E2 de Anguita que se reproduce en la Figura 4. La cuestión no estriba en la realidad de tales movimientos, sino en la asignación de su causa. Según la DC se debe a desconocidos movimientos internos de los materiales magmáticos que constituyen ciertas capas del manto terrestre, debidos al calor interno. Según la UTI se trata del actual proceso de reajuste de los ejes interno y externo.

#### **Excentricidad del interior terrestre y su compensación**

Anteriormente hemos visto que la identificación del eje del núcleo sólido con el eje definido por los polos magnéticos, asumida por la UTI, explica las paradojas

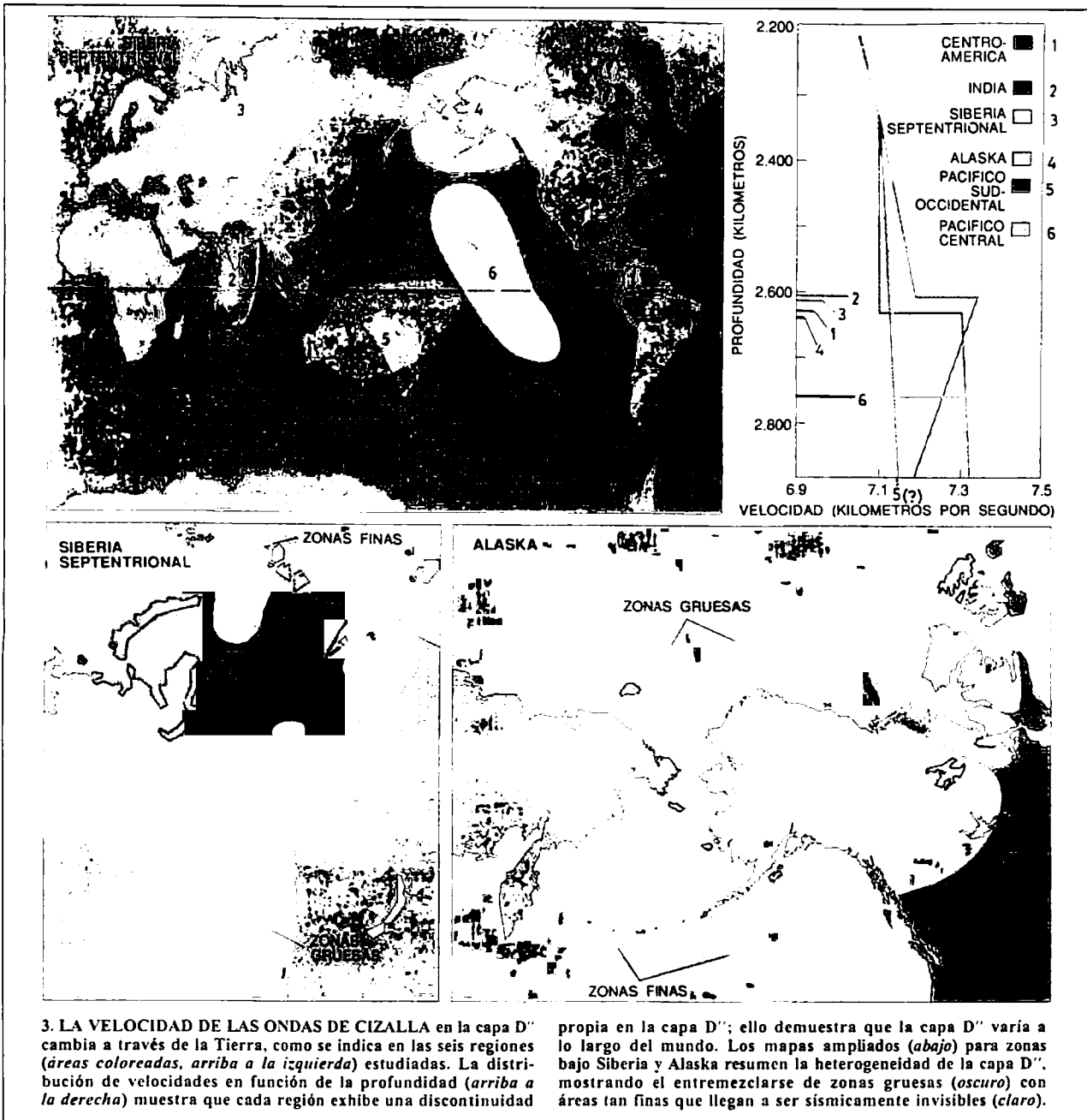
que presentan los registros geológicos del paleomagnetismo. También se ha visto que nuestro compañero Júpiter tiene un campo magnético descentrado (1.200 km hacia el norte del planeta y formando un ángulo de  $11^\circ$  con su eje externo), y además que las características del campo magnético joviano se ligan a la rotación de su núcleo (Enciclopedia Carroggio, T-15, p. 5620), lo cual supone que éste está descentrado.

También se ha indicado que las irregularidades encontradas en el espesor de la capa D'', que representa la infiltración del núcleo líquido en el manto, se corresponden con las excentricidades de las dos capas superiores necesarias para compensar la excentricidad del núcleo sólido. Para la mejor comprensión de este hecho, en las Figuras 5 y 6 se reproducen dos figuras de Jeanloz y Lay, 1993, y para comprobar si los datos de estos investigadores concuerdan con la explicación de la UTI, se superponen sobre la sección-proyección por el ecuador de la Figura 7, cuyo contenido y significado se expone a continuación.

1. En la Figura 7 se representan tres secciones, con objeto de mostrar gráficamente la posición del núcleo sólido. Dos corresponden a meridianos y la inferior al ecuador.

Se escoge el meridiano  $177^\circ\text{E}; 3^\circ\text{O}$ , por ser aproximadamente el que contiene el centro del núcleo sólido (máxima excentricidad). La sección por el meridiano  $118^\circ\text{E}, 62^\circ\text{O}$  se escoge por ser plano paralelo al eje magnético y en ella se proyecta de puntos el contorno del núcleo sólido. En las otras dos proyecciones no se hace así por la escasa diferencia entre sección y proyección del contorno.

2. En las tres secciones se representa, además del contorno exterior, la circunferencia de trazo continuo (y radio  $\approx 3.710$  km) que equivale al límite superior de la zona de infiltración del núcleo líquido en el manto, y que corresponde al límite superior de la denominada capa D''. Como puede apreciarse, está descentrada en unos 225 km y corresponde a la compensación del descentrado del núcleo sólido, y por tanto con centro alineado con los centros geográfico y del núcleo sólido. También se indica en línea de trazos la circunferencia de radio  $\approx 3.260$  km y centrada, que corresponde al límite inferior del manto infiltrado o límite inferior de la capa D'', la cual según Jeanloz y Lay penetra en el núcleo líquido, si se supone que su radio es de 3.485 km (la estimación de la penetración es mía). Tal descentrado actual implica que el espesor del manto sin infiltrar varía entre 2.890 km y 2.440 km (una variación máxima de unos 450 km). Esta deformación responde a la presunta forma excéntrica que adoptó el límite superior del núcleo líquido para



compensar la excentricidad inducida en el núcleo sólido (por su inercia) tras el último o los últimos impactos significativos, y tras su primer ajuste consistente en acoplar el movimiento en trompo a la velocidad angular de la rotación terrestre. Hoy nos encontramos en el ultra lento proceso de reajuste final entre los ejes externo e interno (decenas o centenas de miles de años).

3. Sobre la sección por el ecuador, de la Figura 7, se representan las proyecciones de las seis áreas estudiadas por R. Jeanloz y T. Lay, indicándose para cada

una el espesor obtenido por dichos investigadores como valor medio de cada área. Los números y los datos se resumen en la siguiente Tabla 4.

**Conclusión**

El examen de la sección por el ecuador de la Figura 7 deja muy claro que la distribución de los espesores de la capa D'' responde a la excentricidad del límite superior del núcleo líquido que compensa la excentricidad del

**Tabla 4. Resumen de los datos de espesores de la capa D'', según R. Jeanloz y T. Lay. Coordenadas del centro de cada área y espesor en km.**

Nº	Descripción geográfica	Latitud centro	Longitud centro	Espesor (km)
1	América central	20° N	90° O	275
2	India	5° N	75° E	300
3	Siberia septentrional	65° N	80° E	290
4	Alaska	65° N	155° O	265
5	Pacífico sudoccidental	10° S	170° E	0
6	Pacífico central	15° N	160° O	140

núcleo sólido, según asume la UTI al identificar el eje de este último con el eje magnético. Se observa que la zona 5, cuyo centro queda muy próximo (casi coincidente) con el punto de máximo alejamiento del centro geográfico, tiene espesor nulo, e incluso la figura 3 (superior) de Jeanloz y Lay sugiere que puede ser negativo (profundidad superior a 2.900 km, ya que no aparece la correspondiente horizontal del aumento brusco de la velocidad de las ondas sísmicas). Y también se observa que todas y cada una de las zonas estudiadas aumentan de espesor a medida que se alejan de la zona 5.

Llama la atención el hecho de que no hay datos de espesor en la zona opuesta a la zona 5. Las zonas más alejadas (la 2 con 300 km de espesor hacia poniente y la 1 con 275 km hacia levante) dejan un abanico de 145°, comprendido entre los meridianos 65° E y 80° O, sin información. El presente análisis sugiere que si se investigan estas áreas, es presumible que se encuentren espesores superiores a 450 km en el entorno del meridiano de Greenwich, en latitudes próximas a la Isla de Santa Elena. La confirmación de tal predicción podría ser una clara confirmación de la UTI.

**Los actuales desplazamientos continentales**

Por otra parte, se ha mencionado que, según la UTI, los actuales movimientos de "migración del eje magnético" y de la "precesión de los equinoccios" (derivada de la migración del eje de rotación en el espacio), son el reflejo del lento proceso de reajuste de la excentricidad del núcleo sólido y su desfase de ángulo, respecto al eje de rotación terrestre. Queda pendiente la justificación o explicación de la relación que existe entre tal proceso de reajuste y los movimientos entre placas. Se trata del comportamiento reológico diferencial entre la respuesta a tal ajuste del núcleo líquido y la del manto.

**Descripción del proceso :**

1.a) Los movimientos en el seno del núcleo líquido deben compatibilizar la velocidad angular de su capa

inferior (ajustada a la rotación del núcleo sólido) y la de su capa superior (ajustada a la rotación del manto). La viscosidad del núcleo líquido hace que parte de la energía cinética de rotación del núcleo sólido se transfiera al manto y al propio tiempo induce el ajuste de los movimientos interno y externo, tendiendo a reducir la excentricidad y el ángulo.

1.b) Como consecuencia de tal ajuste y la consiguiente migración del núcleo sólido, ciertas masas del núcleo líquido deben desplazarse para compensar la nueva excentricidad. Dada la escasa viscosidad del núcleo líquido, respecto al manto y a la fracturación de éste en la zona de infiltración, la respuesta de tal

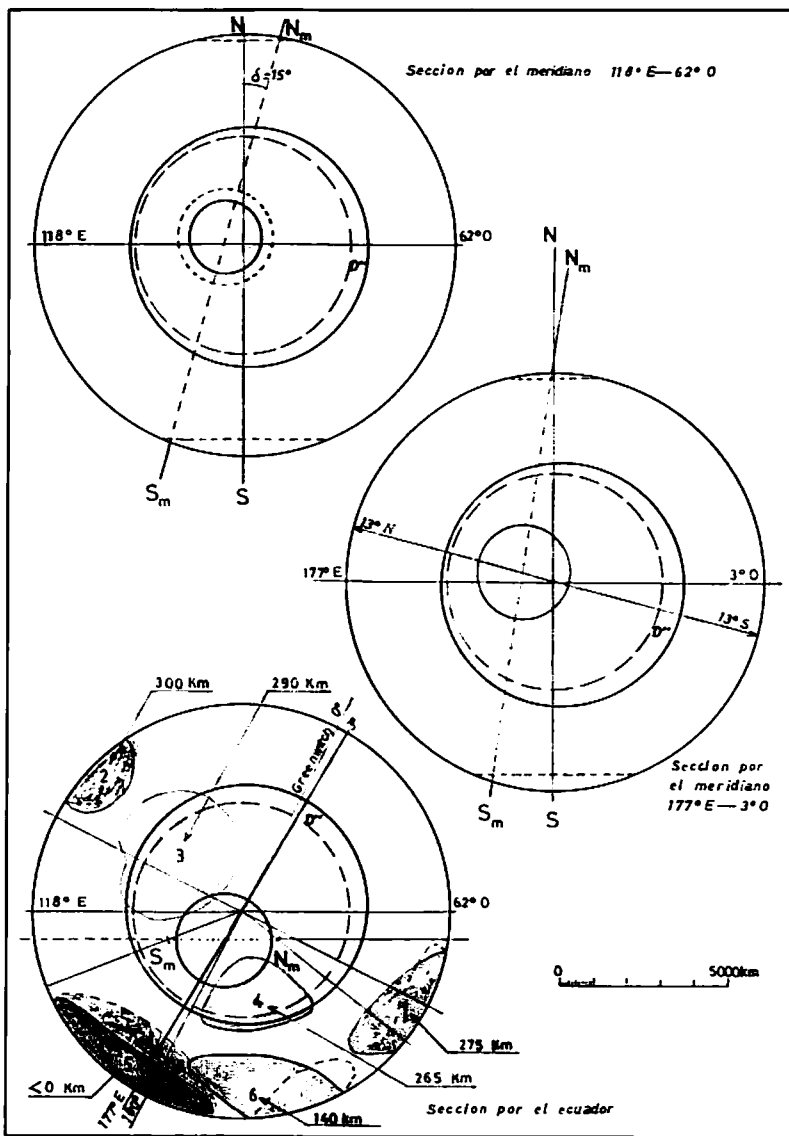


Fig. 7. Secciones del globo terráqueo según la UTI. Proyecciones del núcleo sólido y su eje. Distribución de espesores de la capa D'' tomada de los datos de Jeanloz y Lay; cada zona se proyecta sobre la sección por el ecuador, y puede interpretarse como una visión zenital.

desplazamiento de masa líquida es relativamente rápida.

1.c) A consecuencia del mismo ajuste, ciertas masas del manto deben desplazarse para corregir, paso a paso, la excentricidad (aumentar o disminuir el espesor según las zonas). Dada la elevada viscosidad relativa respecto al núcleo líquido, la respuesta de sus masas es mucho más lenta.

1.d) El resultado del proceso reológico se traduce en una falta de material del manto en las zonas donde debe aumentar el espesor, y un exceso donde debe disminuir.

1.e) De este proceso de reajuste, la Figura 7 (central e inferior) nos muestra la máxima excentricidad actual, que corresponde aproximadamente al meridiano 3° Oeste y al ecuador. Sin embargo, como se ha dicho, la posición del núcleo sólido migra de manera que, siguiendo el movimiento secular de los polos magnéticos, recorre los 360° alrededor del eje externo en unos 1.800 años. Por consiguiente la sección de la Figura 7 (central) gira a razón de unos 0,2 grados al año. La deformación del manto debe seguir este ritmo y de ahí que se produzca el retraso y la deformación a que nos venimos refiriendo.

1.f) Resumiendo lo anterior: La sección de máxima excentricidad de las tres capas se desplaza, a un ritmo de unos 0,2 grados al año, hacia el oeste. Dado que la respuesta de los desplazamientos de los materiales del manto es mucho más lenta que los del núcleo, se producen expansiones en las zonas de la semiesfera donde el radio exterior del núcleo líquido aumenta, y compresiones en las zonas de la semiesfera donde dicho radio disminuye. Las zonas de máxima expansión actualmente, deben pasar a ser de máxima compresión dentro de unos 900 años, y viceversa. Y dentro de otros tantos años se volverá a una situación similar a la actual, aunque habiendo disminuido las tres excentricidades.

1.g) En la Figura 8 se muestra la diferente visión del interior terrestre entre la DC (sección válida para cualquier círculo máximo) y la UTI (sección sólo válida para cada círculo máximo, en este caso el meridiano 5° oeste). Esta sección se aproxima bastante a la correspondiente al círculo máximo de mayor variación del espesor de la capa D'', aunque no exactamente. El plano perpendicular a la alineación de los tres centros de gravedad: núcleo sólido, núcleo líquido con su infiltración y corteza (y por tanto sensiblemente perpendicular a la sección de la Figura 8 y al diámetro en ella indicado con sus radios), representa la separación de las semiesferas en que el espesor del manto es mayor o menor que su valor medio, según se trate del lado de la excentricidad del núcleo sólido o del contrario. En consecuencia

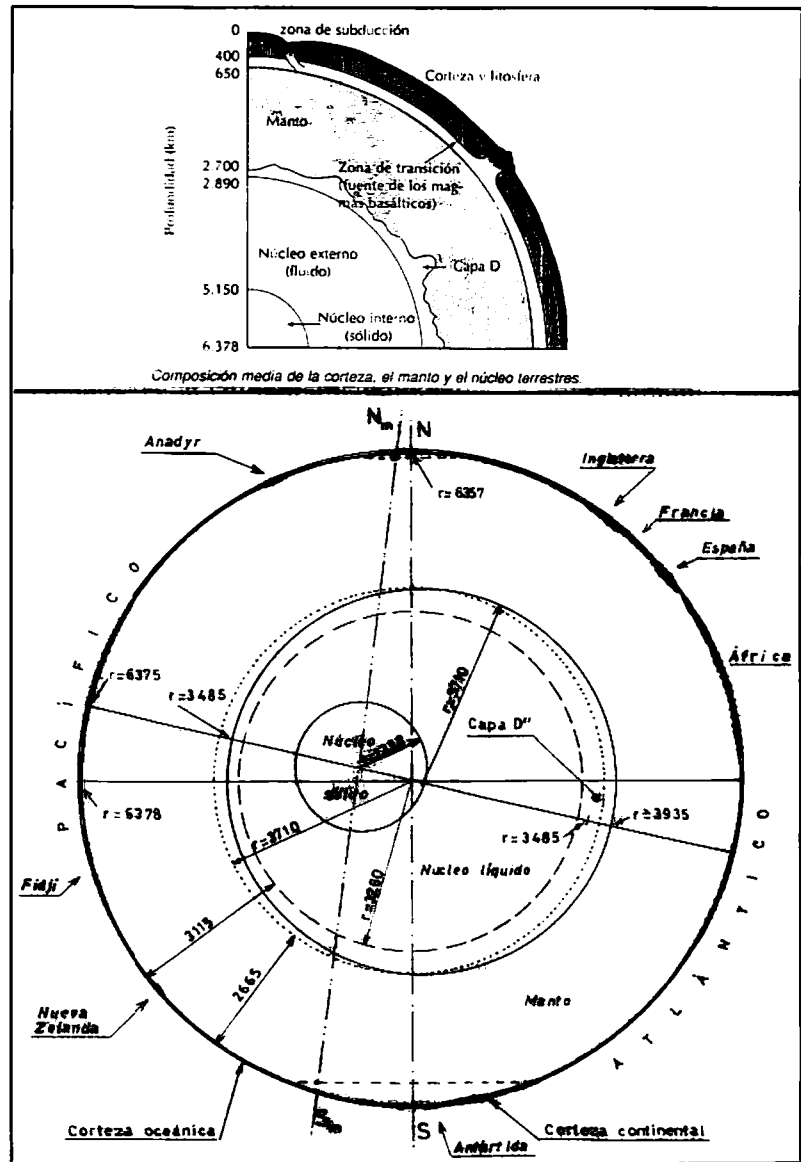


Fig. 8. Sección del globo terráqueo. Arriba: válida para cualquier círculo máximo sobre la Figura 4. El resultado, como separación de las áreas de expansión y de compresión, es casi perfecto, a excepción de las supuestas subducciones en la costa oriental de América del Sur y Central y en las costas del Mediterráneo oriental y Golfo Arábico, que la UTI pone en cuestión como hecho actual por otras razones.

se ha dibujado, en línea de trazo y punto, el correspondiente círculo máximo sobre la Figura 4. El resultado, como separación de las áreas de expansión y de compresión, es casi perfecto, a excepción de las supuestas subducciones en la costa oriental de América del Sur y Central y en las costas del Mediterráneo oriental y Golfo Arábico, que la UTI pone en cuestión como hecho actual por otras razones.

1.h) Sin embargo se plantea un nuevo interrogante, pues al desplazarse hacia el oeste la excentricidad (recorrido retrógrado del núcleo sólido), el círculo máximo definido por el plano perpendicular al diámetro de los tres centros representa la línea cuyos puntos no precisan modificación de radio, y por tanto parece que los de mayor variación deberían estar en las zonas de ma-

Tabla 5

Período	Fecha	Expansión (cm/año) entre América y Europa	Expansión (cm/año) entre Asia y América
1913-1927	1920	32 ± 8	?
?	1983	3	16

por cambio de radio, o sea aproximadamente en el meridiano de la Figura 8. Ello significaría que la bondad del ajuste del círculo máximo representado en la Figura 4 se debe a un retardo de respuesta del manto equivalente a unos 90° (unos 450 años).

1.) Debe tenerse en cuenta que a medida que avanza el proceso de reajuste de la excentricidad del núcleo sólido, el ritmo de la migración secular del Norte magnético disminuirá, y se irá igualando a la velocidad de respuesta del magma. La alternancia de expansiones y compresiones en cada lugar geográfico, que hoy se producen con un período de unos 1.800 años, alargará su período y disminuirá la intensidad de dichas expansiones o compresiones.

Si estos razonamientos son correctos, el buen ajuste del círculo máximo perpendicular al diámetro correspondiente a la alineación de los centros de gravedad de las tres capas (núcleo sólido, núcleo líquido, y manto-corteza), puede conducir a la determinación aproximada del tiempo de respuesta del manto, ante la migración del eje magnético resultante del proceso de centrado del núcleo sólido y de todo el interior terrestre. Y, a través de ello, contrastar el valor de las viscosidades de sus capas.

### La última palabra de A. Wegener

En la última edición en vida de *"El origen de los continentes y océanos"*, Alfred Wegener incluía un breve apéndice a su capítulo 3 sobre Argumentos Geodésicos. Si bien es cierto que en los datos del mencionado capítulo se recogían indudables errores, en el apéndice se daban datos recogidos por F. B. Littell y J. C. Hammond obtenidos entre 1913 y 1927 y publicados en *"The Astronomical Journal"* del 14 de agosto de 1928. Si comparamos estos datos con los recientes, sobre el ritmo de separación entre Europa y Norteamérica, vemos que en 1920 era de unos 32 cm/año, mientras hace poco era de tan sólo unos 3 cm/año. Si bien no hay datos antiguos de separación entre América y Asia, en 1983 era de unos 16 cm/año. Ello parece confirmar la predicción de la UTI sobre la migración de todos estos movimientos de la corteza terrestre. ¿Es

compatible con un ritmo anual de unos 0,2 grados hacia el oeste?

En los 63 años transcurridos, las máximas expansiones deberían haberse desplazado 12,6° hacia el oeste (Tabla 5). Si bien esta diferencia de longitud pueda parecer escasa, hay que tener en cuenta (ver Figura 4) que:

- a) La separación entre los 2,8 cm/año en la dorsal Atlántica y los 15,3 cm/año en la dorsal Pacífica es tan sólo de unos 60°.
- b) La separación máxima inducida en un momento dado en una determinada zona no se traduce en una ruptura en aquel punto, sino que induce sus efectos en los límites de placas más próximos. Es decir, los puntos de máximo retardo entre estímulo y respuesta que implican máxima expansión, no coinciden exactamente con los bordes de placas, y normalmente habrá mayor expansión en los más próximos.
- c) Es muy probable que en 1920 la zona de máximo retardo en la reducción de espesor del manto, y por tanto de máxima expansión, estuviese al oeste de la dorsal Atlántica, mientras en la actualidad quede a levante de la dorsal Pacífica.
- d) Nótese que el actual ritmo en la dorsal Pacífica es muy inferior al de la dorsal Atlántica en 1920.
- e) Aunque ya se ha comentado anteriormente, debo aclarar que la presunta compresión actual (o subducción) en el borde continental oeste de América del Sur, situada entre las dos dorsales próximas (Pacífica oriental y Atlántica) y en expansión contrastada, cuyo variable ritmo estamos analizando, carece de sentido. Se trata de una mera hipótesis de la DC convertida en verdad incuestionable, a pesar de no haberse podido contrastar de forma alguna, ni ser contrastable. Ello no niega que probablemente se haya producido compresión y subducción en algún momento del pasado geológico.

Si tenemos en cuenta estas observaciones, al contemplar la Figura 4 vemos que cualitativamente se cumple la evolución prevista según la UTI, de que las deformaciones siguen el ritmo de la migración secular del Norte magnético. De todos modos nos encontramos ante una de estas situaciones en que lo único que hace la naturaleza es contestar quizá a nuestra pregunta. Como decía Albert Einstein, *"A las preguntas de la ciencia la naturaleza sólo contesta no o quizá, pero nunca sí"*.

### Comentario final

Expresando la concepción actual del principal mecanismo de la Geología y la Geofísica, en la revista de di-

**Tabla 6. Denominación y cronología de los "al menos seis supercontinentes", según Murphy y Nance (I y C, dlc. 2004).**

EVENTO	Millones de años antes de hoy
Separación de Pangea	200
Formación de Pangea	250/300
Separación de Pannotia	550
Formación de Pannotia	600
Separación de Rodinia	760
Formación de Rodinia	1.100
Formación de Nuna/Columbia	1.800
Formación de Kenorlandia	2.500
Formación de Ur	3.000

ciembre de 2004 Investigación y Ciencia (pp.14-24) J. Brendan Murphy y R. Damian Nance describen "La formación de los supercontinentes". En su primera figura reproducen una fotografía de los golfos Pérsico y de Omán, y su pie dice así:

*"La Tectónica de Placas, la teoría que ofrece una descripción global de las fuerzas que han conformado la Tierra, sostiene que los continentes están en constante movimiento: se escinden, colisionan y se deslizan unos bajo otros. Sabemos ahora que se trata de un fenómeno cíclico: en el transcurso del tiempo geológico, los continentes se han ensamblado en supercontinentes y vuelto a separar como mínimo en seis ocasiones. Este ciclo supercontinental plantea una cuestión compleja: ¿se separan y acercan los continentes como pliegues de un acordeón o se dividen y se dispersan para reunirse de nuevo en el lado opuesto del planeta? Los autores han intentado hallar la respuesta mediante el análisis isotópico. En esta imagen de satélite se observa la colisión entre la placa árabe y la parte iraní de la placa eurasiática: un proceso que, de forma gradual, cierra el golfo Pérsico y levanta montañas."*

Es evidente que la colisión que se observa en una simple fotografía, según los autores, es tan sólo fruto de su imaginación, guiada por las ideas de la deriva continental. También es obvio que la distinción de dos tipos de movimiento en acordeón se refiere tan sólo a la cuestión poco relevante de si los continentes llegan a juntarse en el lado opuesto o no. Pero no menciono aquí este artículo por estas nimiedades. Más adelante se describen los seis presuntos supercontinentes cuya denominación y cronología se reproduce en la Tabla 6.

En relación a la orogenia, que constituye el principal fundamento (junto con la evolución paralela de las especies vivas) para presuponer los supercontinentes, se dice:

(p. 16) *"Los procesos de subducción y las colisiones de litosferoclastos forman orógenos periféricos, llama-*

*dos así porque se constituyen a lo largo de la periferia de los continentes. Si la placa que subduce transporta corteza continental, resulta inevitable la colisión entre continentes. A medida que los continentes chocan frontalmente, el océano entero se cierra y se levantan montañas enormes. La colisión entre la India y Asia, y la del norte de África con el sur de Europa, que originó los Alpes, constituyen ejemplos modernos de este tipo de orogenia. Puesto que ambos episodios se debieron a la total destrucción de los bordes continentales, las montañas así formadas se consideran orógenos interiores."*

Ante esta descripción, salvando la utilización del concepto de choque entre continentes en lugar de empuje y la supuesta actualidad de los procesos de subducción y orogenia, no hay nada que objetar. Sin embargo, no se puede pasar de ahí a la formación de supuestos supercontinentes. Lo que la UTI viene a decir es lo siguiente:

1º Fracturas de placas y separaciones de sus fragmentos con formación de nueva corteza, así como aproximación de placas, empujes entre ellas, y plegamiento de sus bordes, los ha habido no seis veces, sino centenares o miles de veces. La orogenia resultante puede haber quedado en un borde continental o en su interior.

2º La causa de tales procesos no está en la deriva de los continentes, arrastrados por supuestos movimientos convectivos del magma, sino en los efectos derivados de impactos significativos, cuya energía cinética incorporada puede inducir, en cada evento, compresiones en unos sectores de la Tierra y expansiones en otros sectores, además de los innumerables efectos que aquí tan sólo se han podido insinuar.

3º Presumiblemente, y de acuerdo con el paradigma actual, entre la separación y la compresión orogénica del Himalaya, pueden haber transcurrido muchos millones de años y formado nueva corteza en sus bordes, la cual se plegó en tal proceso compresivo local.

4º La existencia de supercontinentes, como Pangea, Pannotia, Rodinia, Nuna/Columbia, Kenorlandia y Ur, es mero producto de la imaginación. No existe el supuesto movimiento cíclico, sino innumerables movimientos aleatorios a resultas de grandes impactos.

5º Los movimientos de los continentes, han existido en notable escala en tiempos geológicos, y existen actualmente en pequeños procesos de reajuste interno, pero su desplazamiento no se debe al calor interno, sino al resultado de sucesivas expansiones y contracciones que afectan diferencialmente a las

placas oceánicas (muy resistentes a la compresión y poco a la tracción en sus bordes) respecto a las continentales (más resistentes a la tracción y mucho menos a la compresión, a causa de los desequilibrios isostáticos debidos a erosión y sedimentación). Por el contrario, la deriva polar de Wegener es un hecho probado por los registros fósiles. Sin embargo, sus evidentes pruebas se han rechazado hasta aho-

ra por los infundados prejuicios sobre los impactos significativos en tiempos geológicos y sobre el movimiento independiente y con mayor velocidad angular del núcleo sólido.

6° La Tectónica de Placas es coherente en su estudio y planteamiento de los movimientos corticales, pero la descripción de sus causas está viciada por las hipótesis de la "deriva continental". ♦

#### Referencias:

-Anguita Virella, F., "Epilogo: La teoría de Alfred Wegener y la nueva geología" en la edición de Ediciones Pirámide S.A., 1983 de "El origen de los continentes y océanos" de A. Wegener, pp. 195-230.  
 -Bursa, M., 1981. On Some Topical Problems of the Dynamics of the Earth-Moon System. Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983, p. 19-28. (Proceedings of Workshop Held at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld).  
 -Clark, J. A., Farrel, W. E., & Peltier, W. R., 1978. Global changes in Postglacial Sea Level: A Numerical Calculation. Quaternary Research, V. 9, pp. 265-287.  
 -Cuerda-Barceló, J., 1975. Los tiempos Cuaternarios en las Baleares. Gráficas Miramar, Palma de Mallorca.  
 -De Bono, E., 1992. El pensamiento Práctico. Ediciones Paidós. (título original: Practical Thinking. Four ways to be right. Five Ways to be wrong. Five ways to understand)  
 -Derruau, M., 1981. Geomorfología. Editorial ARIEL. 527 pp.  
 -Desonie, D., 1996. Colisiones cósmicas. Ediciones Omega S. A., 1999. 122 pp. (Prólogo de D. H. Levy y C. y E. Shoemaker).  
 -Garau-Sagrístá, C., 1985. Littoral Processes on the Maresme Coast: Man's Impact or Natural effects? Thalassas, Revista de Ciencias del Mar, Vol. 4, Nº 1, 1986, (Proceedings/Symposium on: Man's Impact on Coastal Environment, Barcelona, 1985).  
 -Gibllisco, S., 1991. Cometas, Meteoros y Asteroides: Como afectan a la Tierra. McGraw-Hill. 287 pp.  
 -Hallam, A., 1982. Grandes controversias Geológicas. Editorial Labor S. A., 179 pp.  
 -Hapgood, Ch. H., 1958. Earth's Shifting Crust. (La corteza terrestre se desplaza, ELSA, 1960).  
 -Hapgood, Ch. H., 1970. The path of the Pole.  
 -Heirtzler, J. R., 1968. La expansión del suelo oceánico. Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selecciones Scientific American, 1976, p.76-87.  
 -Hide, R., 1981. The Earth's Non-Uniform Rotation. Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983, p. 92-97. (Proceedings of Workshop Held at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld).  
 -Inman, K., 1983. Application of coastal Dynamics to the Reconstruction of Paleocoastlines in

the vicinity of La Jolla, California, Quaternary Coastlines and Marine Archaeology. Academic Press, pp. 1-49  
 -Jeanloz, R., Lay, T., 1993. Donde el núcleo limita con el manto. Investigación y Ciencia, Julio, 1993.  
 -Khun, T. S., 1962. The Structure of Scientific Revolutions. (Trad. de A. Cotín, México, FCE-Breviarios, 1992)  
 -Lambeck, K., 1978. The Earth's Paleorotation. Tidal Friction and the Earth's Rotation I. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978, p. 145-153.  
 -Lambeck, K., 1980. The Earth's Variable Rotation: Geophysical causes and consequences. Cambridge University Press. 449 pp.  
 -Mattauer, M., 1976. Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre. Ediciones Omega, Barcelona.  
 -McSween, H. Y. Jr., 1999. Meteorites and Their Parent Planets. Cambridge University Press. 309 pp.  
 -Mignard, F., 1981. Long Time Integration of the Moon's Orbit. Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983, p. 67-91. (Proceedings of Workshop Held at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld).  
 -Mörner, N., 1971. Eustatic changes during the last 20000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplifted area. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, pp. 153-481.  
 -Mosterin, J., 2001. Ciencia Viva: Reflexiones sobre la Aventura Intelectual de Nuestro Tiempo.  
 -Piper, J. D. A., 1981. Movements of the Continental Crust and Lithosphere-Asthenosphere Systems in precambrian Times. Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983, p. 253-321. (Proceedings of Workshop Held at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld).  
 -Polanco-Masa, A., 2003. Herejes de la ciencia. Ediciones Corona Borealis. 349 pp.  
 -Roy, P. S. & Steeple's, A. W., 1980. Geological controls on processes-response, S. E. Australia. Proceedings 19th. Coastal Engineering Conference, pp. 913-933.  
 -Simpson, G. G., 1983. Fósiles e historia de la vida. Editorial Labor, 240 pp.  
 -Scrutton, C. T., 1978. Periodic Growth Features in Fossil Organisms and the Length of Day and Month. Tidal Friction and the Earth's Rotation I.

Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978, p. 154-196.  
 -Skinner, B., Porter, S. C., 1987. Physical Geology. Jhon Wiley & Sons.  
 -Stephenson, F. R., Morrison, L. V., 1981. History of the Earth's Rotation Since 700 B. C. Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983, p. 29-50. (Proceedings of Workshop Held at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld).  
 -Takeuchi, H., Uyeda, S., Kanamori, H., 1970. ¿Qué es la Tierra? (El problema de la deriva continental). Antoni Bosch, editor, 1978. (Título de la obra original: Debate About the Earth).  
 -Tooley, M. J., 1978. Sea-Level changes in north-west England during the FLANDRIAN STAGE. Oxford Research Studies In Geog. Clarendon Press, Oxford, 232 pp.  
 -Trigo, J. M., 2001. El origen del sistema solar. Editorial Complutense, 227 pp.  
 -Velikovsky, I., 1955. Earth in Upheaval. Dell Publishing Co., Inc. Third Laurel printing-November 1969.  
 -Velikovsky, I., 1950. Worlds in Collision. Dell Publishing Co., Inc. Ninth Laurel printing-February, 1972.  
 -Wegener, A., 1928. El Origen de los continentes y océanos. Ediciones Pirámide S. A. 1983. (Epilogo de F. Anguita).  
 -Zanda, B., Rotaru, M., 1996. Meteorites: Their Impact on Science and History. Cambridge University Press, 2001. 128 pp.

#### Diversos Autores:

-Atlas Universal. Círculo de Lectores, 1981.  
 -Deriva Continental y Tectónica de placas. Selecciones de Scientific American, 1976. (21 artículos de diversos autores, 271 pp.)  
 -Enciclopedia LAROUSE 2000.  
 -Enciclopedia del ESPACIO. Espasa Calpe, S. A. 2003.  
 -Enciclopedia LABOR, 1970.  
 -La Tierra. Estructura y dinámica. Investigación y Ciencia, 1988. (17 artículos de diferentes autores. 228 pp.)  
 -Nueva Enciclopedia Universal. CARROGGIO, 1988-1997.  
 -Shore Protection Manual. U. S. Army Coastal Engineering Research Center, 1977.  
 -The Times concise Atlas of the World, 2000.  
 -Waves, Tides, and Shallow-water Processes. The Open University in association With Pergamon Press.