

BIBLIOTECA
CICESE

GEOS



BOLETIN

UNION

GEOFISICA

MEXICANA



INDICE

Editorial- - - - -	2
Actividades de la mesa directiva - - - - -	3
Dr. Sergio Serra C. Los Huracanes en México- - - - -	4
Luis Leclerc, Conde de Buffon. Pruebas de la Teoría de la Tierra- - - - -	10
Dr. Servando De la Cruz-Reyna La Arquitectura de la Tierra - - - - -	21
Noticias - - - - -	34

Comité Editorial

F. Medina
S. Bravo
S. Salazar

Apoyo Editorial

D.A. Gloria
L. Pérez
G. García
J. Ruiz
A. Domínguez

Correspondencia: Comisión Editorial UGM, Instituto de Geofísica,
UNAM, México 20, D.F.

VOLUMEN I

NUMERO 3

ENERO 31 1981



EDITORIAL.

En el presente número hemos publicado la primera parte del discurso "Pruebas de la Teoría de la Tierra", artículo leído ante la academia de Ciencias de París por su autor Luis Leclerc Conde de Buffon en el año de 1745. La Segunda parte de este artículo aparecerá en un número próximo.

Al publicar este tipo de escritos, es nuestra intención hacer del conocimiento general, las primeras ideas que fueron poco a poco conformando el cuerpo de conocimientos que actualmente da una base científica a la Geofísica. Pensamos que escritos de esta clase, hechos por científicos mexicanos en siglos pasados deberían también ser conocidos, por lo que invitamos a nuestros lectores que tengan conocimiento de alguna clase de estos escritos a enviarlos a la redacción de este boletín.

Paralelamente, publicamos el artículo Arquitectura de la Tierra, escrito por el Dr. Servando De la Cruz, que discute las últimas teorías de la Tectónica Global. Aportaciones similares en otras áreas de la Geofísica serían necesarias, por lo que reiteramos la invitación a nuestros lectores a enviarnos sus valiosas aportaciones.

La Comisión Editorial

ACTIVIDADES DE LA MESA DIRECTIVA.

Estamos próximos a celebrar la Reunión 1981 de la UGM en el Instituto Oceanográfico de Manzanillo. Dado el enorme interés que existe por parte de muchos investigadores en participar, hemos considerado conveniente invitar a destacados científicos internacionales a presentar trabajos sobre el estudio de Avance de algún tema particular. Entre estos invitados destacan por su importancia:

Dr. G. Garland	Canadá	Física del Interior de la Tierra
Dr. I. Yokoyama	Japón	Vulcanología
Dr. M. Rodríguez	Cuba	Meteorología
Dr. C. Heiken	U.S.A.	Exploración Geofísica
Dr. H. Zonge	U.S.A.	Exploración Geofísica
Dr. M. Monk	U.S.A.	Oceanografía

La presentación de estos trabajos le imprimirá mayor importancia al evento.

Asimismo, tenemos el ofrecimiento de la AGU de enviar otros 2 trabajos invitados. Los nombres y las áreas de trabajo de estos investigadores nos serán proporcionados en fecha próxima.

Por el momento toda la mesa directiva se encuentra trabajando en la organización de este encuentro, cuya fecha límite para enviar solicitudes de participación y resumen del trabajo a presentar, es marzo 30.

Estos resúmenes serán evaluados y seleccionados por un comité, mismo que se encargará de enviar las cartas de aceptación de los trabajos.

En lo tocante a las mesas redondas que se desarrollarán durante el evento, El Dr. Ismael Herrera está organizando la mesa "Problemática del Sector Productivo en Geofísica" y la M. en C. Silvia Bravo está organizando la mesa "Formación de Recursos Humanos en Geofísica". Cualquier persona interesada en participar en alguna de estas mesas deberá ponerse en contacto con los organizadores del evento.

La mesa directiva continúa en espera de todas las sugerencias que se tengan para elaborar la orden del día de la Asamblea de Miembros Activos de la UGM, que tendrá lugar durante este evento, y en la cual se elegirá a la nueva mesa directiva.

Los Huracanes en México.

Los Huracanes son fenómenos atmosféricos que tienen un papel importante en el régimen pluvial del país. En el presente trabajo abordaremos la descripción elemental de lo que es un huracán, y realizaremos un análisis estadístico para ver cuántos huracanes han afectado a México durante los últimos 25 años tanto en el Océano Atlántico como en el Océano Pacífico.

Un huracán involucra energías equivalentes a 100 y los intensos a 1000 megatones, cantidad de energía que en la actualidad no estamos capacitados para producir ni mucho menos a controlar. Los huracanes generalmente se forman sobre aguas calientes de los océanos tropicales, y pertenecen a la escala que en Meteorología se denomina sinóptica por tener una dimensión de cientos de kilómetros y varios días de duración.

Desde el punto de vista físico, los huracanes tienen una rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj, o sea lo que se conoce como circulación ciclónica, esto es característico de las regiones de la tropósfera baja, sin embargo, en la tropósfera superior por razones de continuidad hay una circulación anticiclónica o sea la circulación de un alta, lo que indica una circulación del sentido de las manecillas del reloj, claro, aquí estamos refiriéndonos a un huracán maduro, pero antes de llegar a esa etapa pasa por ciertos pasos preliminares que en términos generales son los siguientes:

Primero, disturbio o perturbación, la cual se caracteriza por la abundancia de nubes convectivas de gran desarrollo, por eso en ciertas ocasiones se llama esta etapa zona de inestabilidad convectiva, o sea una zona que propicia la formación de nubes, pero en esta etapa una característica es que no se observa una circulación.

La segunda etapa, es la conocida como "tormenta tropical" en la cual se observa algo de circulación y empieza a adquirir cierta intensidad, realmente esta etapa se caracteriza por vientos máximos de 30 a 63 nudos o sea más o menos 60 a 115 Kms por hora. Es muy importante recalcar que todavía estamos hablando de una etapa previa a la formación del huracán y es necesario darnos cuenta que esto no es un huracán todavía.

La etapa final o sea la culminación, es cuando se forma el huracán volvemos a recalcar que esos fenómenos son de dimensiones bastante grandes y realmente necesitamos estar conscientes de los datos disponibles para poder detectar si realmente es un huracán o todavía no.

Los huracanes casi siempre son bastante destructivos sobre todo por las lluvias que traen que llegan a alcanzar los 300 a 600 mm. En todo el mundo se considera que estas lluvias son bastante dañinas por su inten

sidad y de acuerdo con ciertos reportajes periodísticos proporcionan varias muertes, sin embargo, en México que es una región en varias partes semiárida, las lluvias podían ser muy benéficas siempre y cuando se tomen todas las precauciones, con respecto al paso del huracán. Cuando un huracán entra a tierra se debilita mucho porque no está sobre el agua que es su fuente de energía.

El camino que siguen los huracanes se conoce como trayectoria y hemos buscado en México el mayor número de trayectorias posibles, pensamos que los datos que tenemos de esas trayectorias están bastante bien documentados desde hace 25 años cuando ya se tenían datos de los sondeos y de datos de avión.

Hemos podido comprobar que los huracanes son bastante destructivos para ciertas regiones, por ejemplo en Estados Unidos son muy perjudiciales porque llegan a regiones hoteleras y causan muchos destrozos ahí. Sin embargo para México pensamos que los huracanes son benéficos porque aunque traen varios desastres por vientos intensos y también lluvia muy intensa, sin embargo, la lluvia que traen esos huracanes es muy benéfica para el País.

En la Universidad Nacional Autónoma de México, concretamente en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, estamos elaborando un Atlas de Trayectorias, el cual confiamos esté listo en el transcurso del año.

Hemos llegado a la conclusión de que las trayectorias de los huracanes que pasan a menos de 200 Km. son benéficas, es decir, este criterio de 200 Km quizá no sea el mejor pero pensamos que es muy útil, ya que los huracanes no tienen siempre la misma extensión. Pero si sabemos la trayectoria podemos determinar hasta que punto aproximadamente el huracán puede afectar ó beneficiar una región.

Los datos que hemos conseguido llegan únicamente hasta el año de 1975. Entonces los 25 años a que me refiero son de 1950 a 1975 y tenemos los datos enumerados por mes y después la suma total de cada año.

Como se puede notar los huracanes que afectaron a México son más los que se recibieron en el Océano Pacífico en promedio 13 huracanes por año que los que se recibieron en el Golfo que son únicamente 9 por año.

Una vez más necesitamos recalcar la importancia que tienen estos fenómenos para México sobre todo la lluvia que traen y que es muy benéfica en muchas regiones del País. Desde luego que el lugar específico de la llegada de estos fenómenos debe vigilarse y tomar las precauciones del caso, afortunadamente ya en México contamos con la tecnología para prevenir esos fenómenos.

En el caso de lluvias intensas podemos recurrir a la Dirección de Con-

trol de Ríos y Seguridad al teléfono 535-70-71, en el cual se nos informará cual es la situación y en caso de regiones afectadas por la intensidad de estos fenómenos debemos de recurrir al Servicio Meteorológico Nacional, al teléfono 515-15-54. Ambas instituciones están asesoradas científicamente por el Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Los huracanes ó tormentas tropicales han existido desde tiempos inmemorables, sin embargo, no ha sido hasta épocas recientes cuando se les ha dado la importancia que tienen, y debido a esa importancia es que ya la ciencia moderna dispone de los medios para pronosticar adecuadamente la trayectoria esperada.

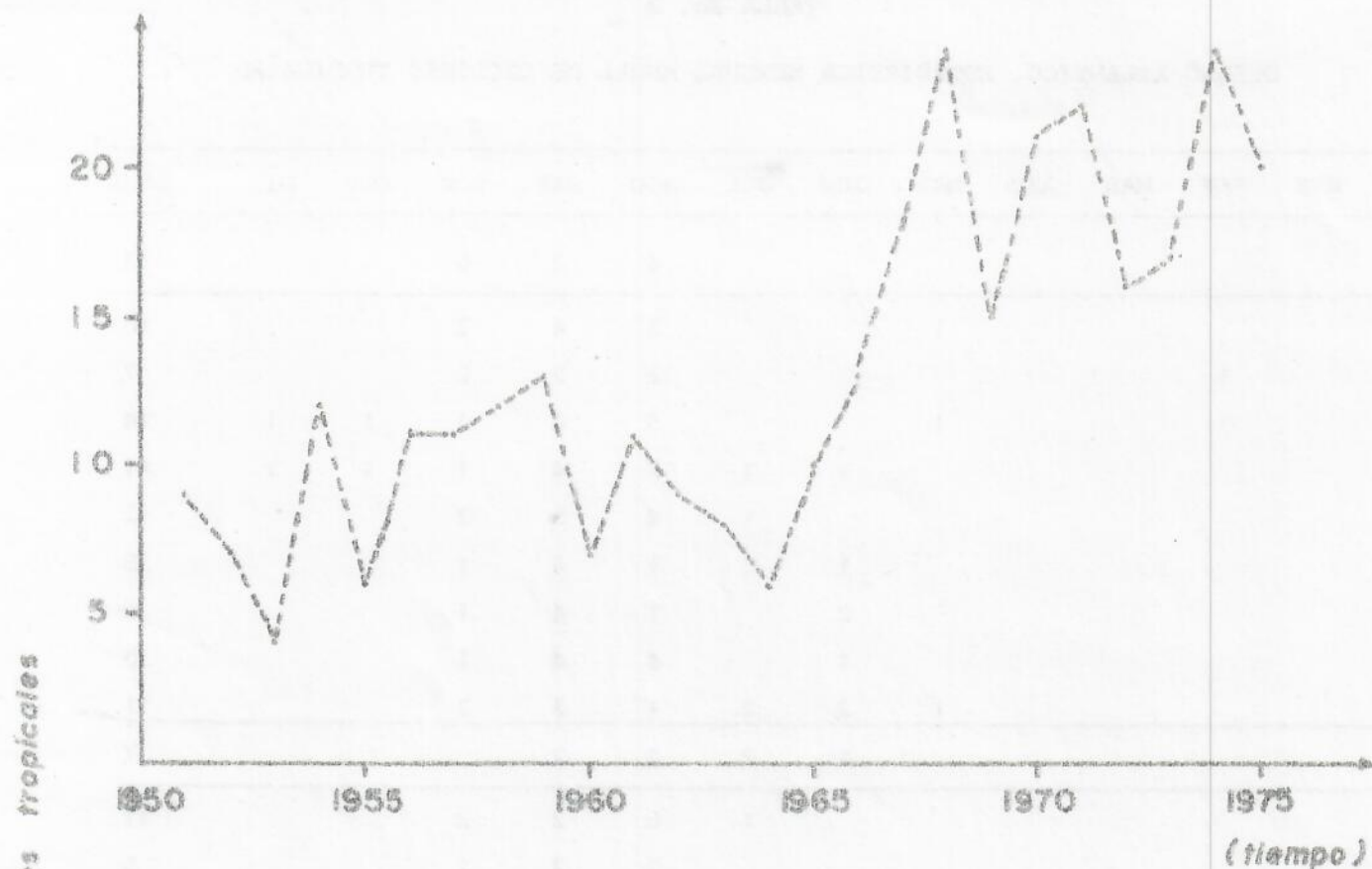
De hecho la temporada de huracanes en la región del Pacífico empieza oficialmente el 1o. de mayo y termina a finales del mes de octubre, mientras que en el Golfo la temporada se inicia los primeros días de junio y termina en los últimos días de octubre. Durante esa época las personas interesadas deben de tener mucha precaución para saber cuál será el comportamiento de los huracanes.

Desde luego que en México ya contamos con varios métodos entre ellos: Métodos numéricos, Cálculo de vorticidad relativa, Estimación de la temperatura del mar, y sobre todo la existencia y seguimiento de todos los fenómenos tropicales que pueden llegar a originar un huracán. También en México contamos con la recepción de fotografías de satélite y mapas que se transmiten por medio de facsimil.

No solamente tenemos interés sino que recibimos muchas publicaciones de personas ó instituciones que en el mundo se dedican al estudio de estos fenómenos, y como dato complementario y para que se vea la importancia que en México se da a los huracanes el año en curso ó sea 1980, se reunieron en la Ciudad de México el Comité de Huracanes de la Región IV de la Organización Meteorológica Mundial. Esperando que esa reunión haya traído la presencia de varios científicos encargados del estudio de huracanes, y sobre todo que haya traído beneficios para el País.

* Artículo original escrito por el Dr. Sergio Serra C., investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Huracanes en el Océano Pacífico (promedio 13 por año)



Huracanes en Océano Atlántico (promedio 9 por año)

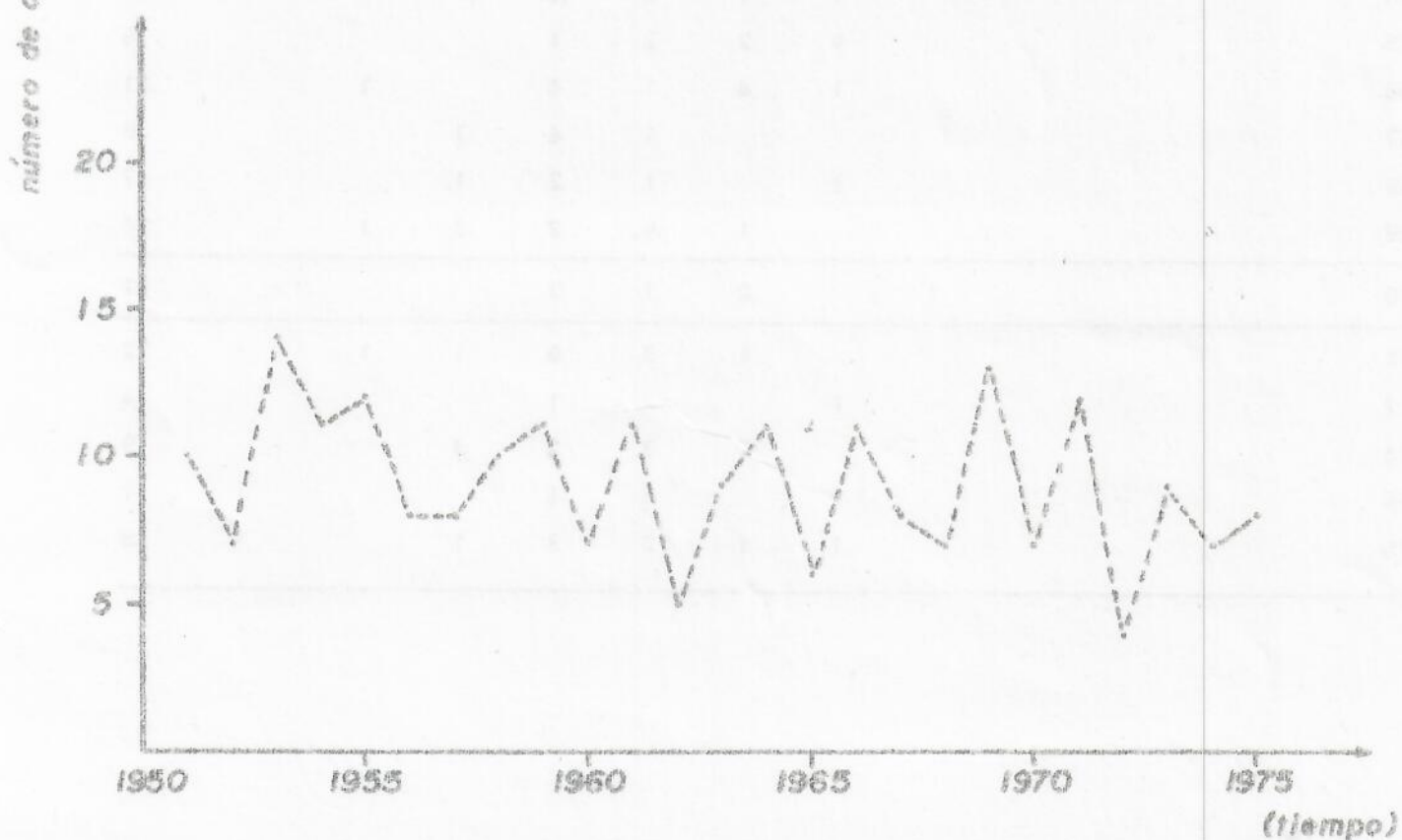


TABLA No. 2

OCEANO ATLANTICO. ESTADISTICA MENSUAL ANUAL DE CICLONES TROPICALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1950								4	3	6			13
51					1			3	4	2			10
52		1						2	2	2			7
53					1			3	4	4	1	1	14
54						1	1	2	4	1	1	1	11
1955							1	4	5	2			12
56						1	1	1	4	1			8
57						2		1	4	1			8
58						1		4	4	1			10
59					1	2	2	1	3	2			11
1960						1	2	2	2				7
61							1	6	2	2			11
62								2	2	1			5
63							1	1	5	2			9
64						1	1	4	4	1	1		12
1965						1	2	2	1				6
66						1	4	1	4		1		11
67								1	4	3			8
68						3		1	2	1			7
69							1	6	2	3	1		13
1970					1		2	1	3				7
71							1	3	6	1	1		12
72						1		2	1				4
73							2	2	2	3			9
74								3	4				7
1975						1	1	2	3	1			8

TABLA No. 1

OCEANO PACIFICO. ESTADISTICA MENSUAL ANUAL DE CICLONES TROPICALES.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1950						1	2	3		1			7
51					1	2	1	2	2		1		9
52					1	1	2		2	1			7
53								1	2	1			4
54						1	3		6	2			12
1955						2	1		1	2			6
56					1	3	2	1	3	1			11
57							1	2	4	3	1		11
58						2	4	1	3	2			12
59						2	3	4	2	2			13
1960						2	1	2	1	1			7
61						1	4	1	1	2	2		11
62						2	1	2	3	1			9
63						1	2		4	1			8
64							3	2	1				6
1965						4		3	3				10
66						1		4	6	2			13
67						3	4	4	4	3			18
68						2	6	8	3	5			24
69					1	1	3	3	4	3			15
1970					1	4	5	3	4	3	1		21
71					1	1	8	4	3	4	1		22
72					1	1	2	6	2	2	2		16
73						3	5	3	4	3			18
74					1	3	7	7	3	3			24
75						2	5	5	4	2	2		20

PRUEBAS DE LA TEORIA DE LA TIERRA.

Por Luis Leclerc Conde de Buffon.

Artículo I: De la formación de los Planetas.

Como nuestro objeto es la historia natural, de buena gana dejaríamos de hablar de astronomía si la física terrestre no tuviese tanta conexión con la celeste, y no creyésemos a más de esto que para mayor inteligencia de lo que dejamos dicho es necesario dar algunas ideas generales sobre la formación, movimiento y figura de la tierra y los planetas.

La Tierra es un globo de cerca de tres mil leguas de diámetro, situado á treinta millones de leguas del Sol, alrededor del cual hace su revolución en trescientos sesenta y cinco días. Semejante movimiento de revolución es el resultado de dos fuerzas, que podemos representarnos, la una como un impulso de derecha á izquierda ó de izquierda á derecha, y la otra como una atracción de arriba abajo ó de abajo arriba hácia un centro: la dirección de estas dos fuerzas y sus cantidades están combinadas y proporcionadas de modo que resulta de ellas un movimiento casi uniforme en una elipse muy cercana á un círculo (a). La Tierra, semejante á los demás planetas, es opaca, hace sombra, recibe y refleja la luz del Sol, y gira en torno de este astro según las leyes que convienen á su distancia y densidad relativa: también gira con movimiento de rotación, en el espacio de veinte y cuatro horas, sobre su propio eje, el cual está inclinado sesenta y seis grados y medio sobre el plano de la órbita de su revolución. Su figura es de un esferoide, cuyos dos ejes difieren cerca de $\frac{1}{175}$, y la rotación se verifica alrededor del eje mas pequeño.

He aquí los principales fenómenos de la Tierra, y el resultado de los grandes descubrimientos que se han hecho por medio de la geometría, astronomía y navegación. No daremos aquí la explicación minuciosa y circunstanciada, que sería precisa para demostrarlos, ni tampoco examinaremos de que modo se ha conseguido el asegurarse de la verdad de todos estos hechos, por no repetir lo que ya se ha dicho; haremos solo algunas advertencias que podrán servir para aclarar lo que todavía está en duda y en disputa, exponiendo al mismo tiempo nuestro modo de pensar sobre la formación de los planetas y las diversas vicisitudes que es posible hayan experimentado antes de llegar al estado en que actualmente los vemos. Extractaremos en el discurso de esta obra todos los sistemas é hipótesis conocidos sobre la formación del globo terrestre, sus diferentes estados, y alteraciones ocurridas en él; pues no se podrá tener á mal unamos aquí nuestras conjeturas á las de los filósofos que han escrito acerca de estas materias, y principalmente cuando se vea que en efecto no las proponemos sino como meras conjeturas, á las cuales solo pretendemos dar un grado de probabilidad mayor que el de todas las que se han hecho sobre el mismo asunto. Suscribimos con tanto mas ahínco á publicar lo que hemos discurrido sobre esta materia, cuanto esperamos poner

por este medio al lector en estado de decidir acerca de la gran diferencia que hay entre una hipótesis en que no entran sino posibilidades, y una teoría fundada en hechos; entre un sistema como el que vamos á proponer en este artículo sobre la formación y primer estado de la Tierra, y una historia física de su estado actual como la que acabamos de insertar en el discurso precedente.

Hallada por Galileo la ley de la caída de los cuerpos y demostrado por Keplero que las áreas descritas por los planetas principales alrededor del Sol, y las que los satélites describen en torno de su planeta principal, son todas proporcionales á los tiempos, y que los tiempos de las revoluciones de los planetas y satélites, son proporcionales á las raíces cuadradas de los cubos de sus distancias al Sol ó á sus planetas principales; descubrió Newton que la fuerza que hace caer los graves sobre la superficie de la Tierra, se extiende hasta la Luna, y la retiene en su órbita; que esta fuerza se disminuye en igual proporción que el cuadrado de la distancia se aumenta; que por consiguiente, la Tierra atrae á la Luna, el Sol á la Tierra y á todos los planetas; y en general, todos los cuerpos que describen alrededor de un centro ó de un foco áreas proporcionales á los tiempos, son atraídos hácia aquel punto. Esta fuerza, á la cual damos el nombre de gravedad, está, según lo dicho, generalmente esparcida en toda la materia: los planetas, los cometas, el Sol, la Tierra, todo está sujeto á sus leyes, cuyo influjo sirve de fundamento á la armonía del universo; y nada hay mas bien probado en la física, que la existencia actual é individual de esta fuerza en los planetas, en el Sol, en la Tierra y en toda la materia que palpamos ó vemos. Todas las observaciones han confirmado el efecto actual de esta fuerza: el cálculo ha determinado su cantidad y sus relaciones; y apenas la exactitud de los geómetras y la vigilancia de los astrónomos llegan á conocer ó determinar á punto fijo esta mecánica celeste y la regularidad de sus efectos.

Una vez reconocida esta causa general, se inferirían fácilmente los fenómenos si la acción de las fuerzas que los producen no fuese demasiadamente combinada; pero represéntese cualquiera por un instante el sistema del mundo bajo este aspecto, y conocerá el caos que ha sido forzoso desenredar. Los planetas principales son atraídos por el Sol, el Sol por los planetas, los satélites por su planeta principal, y cada planeta por todos los demas á los cuales también él atrae: estas acciones y reacciones varían según las masas y distancias, y producen irregularidades y desigualdades. ¿Como pues combinar y reducir á exactísimo cálculo tanta multitud de relaciones? ¿Parece acaso posible observar un objeto particular en medio de tantos objetos? Sin embargo, se han superado estas dificultades, y el cálculo ha confirmado lo que había conjeturado el raciocinio; cada observación ha venido á ser una nueva demostración; y el orden sistemático del universo está patente á la vista de todos los que tienen bastantes luces y discernimiento para distinguir la verdad.

Una sola dificultad, independiente en efecto de esta teoría, nos ocurre, y consiste en la fuerza impulsiva; pues vemos con evidencia que tirando siempre la fuerza atractiva los planetas hacia el sol, caerían estos sobre aquel astro en línea perpendicular, á no apartarlos otra fuerza que no puede ser sino de impulsión en línea recta, cuyo efecto se ejercería en la tangente de la órbita si cesase un instante la fuerza de atracción. Semejante impulsión (*) fue seguramente comunicada á los astros en general por la mano de Dios cuando puso en movimiento al universo; pero como en los asuntos de física debemos abstenernos todo lo posible de recurrir á causas sobrenaturales, me parece que en el sistema solar puede explicarse esta fuerza impulsiva de un modo bastante verosímil, y encontrar en él una causa cuyo efecto convenga con las reglas de la mecánica, sin que se oponga á las ideas que debemos formarnos en orden á las alteraciones y revoluciones que pueden y deben acaecer en el universo.

No se limita al círculo de los planetas, aun los mas lejanos, la vasta extensión del sistema solar, ó la esfera de atracción del sol; sino que se extiende á una distancia indefinida, disminuyendo siempre en la misma razón que aumenta el cuadrado de la distancia. Está demostrado que los cometas escondidos á nuestra vista en la profundidad del cielo, obedecen á esta fuerza; y que su movimiento depende, como el de los planetas, de la atracción del sol. Todos estos astros, cuyos giros son tan diversos, describen en torno del mismo áreas proporcionales á los tiempos; los planetas en elipses que se acercan mas ó menos á círculos, y los cometas en elipses muy prolongadas. Las cometas y los planetas se mueven, pues, en virtud de dos fuerzas, una de atracción y otra impulsiva ó de proyección que obrando á un mismo tiempo é incesantemente, les obligan á describir aquellas curvas; pero debe notarse que los cometas corren el sistema solar en toda suerte de direcciones, y que las inclinaciones de los planos de sus órbitas difieren mucho entre sí, de suerte, que aunque sujetos, como los planetas, á la misma fuerza de atracción, nada tienen de comun en su movimiento de proyección, y parecen en esta parte absolutamente independientes unos de otros. Al contrario, los planetas caminan todos hacia una misma parte alrededor del sol, y casi en el mismo plano, no habiendo sino siete grados y medio de inclinación entre los planos que mas distan de sus órbitas; y esta conformidad de posición y de dirección en el movimiento de los planetas supone necesariamente alguna cosa comun en su movimiento de proyección, y obliga á sospechar que se lo imprimió una misma y sola causa.

¿Nos sería acaso permitido imaginar con alguna especie de verosimilitud que cayendo un cometa sobre la superficie del sol, haya hecho mudar de sitio á aquel astro y desprendido de él algunas partículas á las cuales

(*) A esta impulsión y fuerza impulsiva de que habla el autor se le da comúnmente el nombre de fuerza de proyección: nosotros usaremos indistintamente de entrambas voces.

comunicase por tanto un movimiento de proyeccion en una direccion misma y mediante un mismo choque; de suerte, que los planetas hubiesen sido en otro tiempo partes del cuerpo solar, y separados de él por una fuerza impulsiva comun á todos, que todavia conservan?

Esta idea me parece que tiene, cuando menos, los mismos grados de probabilidad que la opinion de Leibnitz, quien pretende que los planetas y la Tierra han sido soles; y aun entiendo que su sistema, cuyo extracto se verá en el artículo V de estas Pruebas, hubiera adquirido mayor grado de generalidad y probabilidad si se hubiese elevado á ella. Este es el caso de creer con el mismo autor que la cosa sucedió en el tiempo en que dice Moisés separó Dios la luz de las tinieblas; porque, según Leibnitz, la luz fue separada de las tinieblas cuando los planetas se apagaron: pero aquí la separacion es física y real; puesto que la materia opaca de que se componen los cuerpos de los planetas, fue realmente separada de la materia luminosa de que se compone el Sol (b).

Mucho menos arriesgada se presentará esta idea sobre la causa del movimiento de proyeccion de los planetas, si se reúnen todas las analogías que tienen conexión con ella, y se quiere tomar el trabajo de valuar sus probabilidades. La primera es la direccion comun de su movimiento de proyeccion, en cuya virtud los seis planetas caminan de occidente á oriente; y desde luego hay una probabilidad de 6 contra 1 de que no hubieran tenido este movimiento hacia una misma parte, si no le hubiese producido una misma causa, lo cual es fácil probar por la doctrina de los acasos.

Esta probabilidad adquirirá una fuerza maravillosa por la segunda analogía, la cual consiste en que la inclinacion de las órbitas no escade de siete grados y medio; pues comparando los espacios, se encuentra que hay 24 contra 1 para que dos planetas se hallen en planos mas distantes, y por consiguiente $\frac{5}{24}$ ó $\frac{5}{24} \times 62.624$ contra 1 á que no es por casualidad que se hallen todos seis colocados de este modo y contenidos en el espacio de siete grados y medio, ó lo que es lo mismo, hay probabilidad de que tienen alguna cosa comun á todos en el movimiento al cual deben esta posicion. ¿Y que cosa puede haber comun en la impresion de un movimiento impulsivo, sino es la fuerza y direccion de los cuerpos que le comunican? Puede inferirse, pues, con la mayor verosimilitud que los planetas han recibido su movimiento de proyeccion mediante un solo choque. Adquirida esta probabilidad, que casi equivale á certeza, paso á examinar, que cuerpo en movimiento ha podido hacer este choque y producir efecto semejantes; y nada veo sino los cometas que sea capaz de comunicar tan gran movimiento á cuerpos tan vastos.

Aun examinando muy por encima el curso de los cometas, se comprende fácilmente ser casi forzoso que alguna vez caigan estos en el Sol.

El del año 1680 se le acercó tanto, que en su perihelio (*) no distaba

mas que la sexta parte del diámetro solar; y si vuelve á parecer, como se presume, en el año 2255, podrá muy bien caer entonces en el sol, lo cual depende de los encuentros que haya tenido en su curso, y del tiempo que tarde en pasar por la atmósfera del sol (1).

Es probable, pues, siguiendo al filósofo que acabamos de citar, que algunas veces caen los cometas en el sol; pero esta caída puede ser de diversos modos. Si se verifica á plomo, ó aunque sea en direccion algo oblicua, vendrán á parar en el sol, y servirán de pábulo al fuego que consume á aquel astro; y el movimiento de proyeccion que ellos hayan perdido y comunicado al sol, no producirá mas efecto que el de dislocarle mas ó menos, segun sea mas ó menos considerable la masa del cometa: pero si cayesen en direccion muy oblicua, lo cual debe sin duda acaecer con mas frecuencia que del otro modo, entonces el cometa no hará mas que tocar ligeramente la superficie del sol, ó surcarla: corta profundidad, y en este caso será posible que salga de ella cambiada su direccion, y desprendiendo de la misma algunas partes de materia á las que comunicará un movimiento comun de proyeccion; y estas partes, arrojadas fuera del cuerpo del sol y el mismo cometa, podrán hacerse planetas que giren en torno de este astro en la misma direccion y plano. Quizás se podría calcular la masa, velocidad y direccion que debiera tener un cometa para desprender del sol una cantidad de materia igual á la que contienen los seis planetas y sus satélites; pero esta indagacion seria inoportuna aquí, y bastará notar que todos los planetas con sus satélites no componen $\frac{1}{650}$ de la masa del sol (1) (*); pues la densidad de los grandes planetas ⁶⁵⁰ Saturno y Júpiter es menos que la del sol, y sin embargo de ser la tierra cuatro veces mas densa que el sol, y la luna cerca de cinco, solo puede considerarse á los planetas como átomos en comparacion de la masa de aquel astro.

Convengo desde luego en que, á pesar de ser de tan poca consideracion $\frac{1}{650}$ de un todo, parece á primera vista que para separar esta parte del cuerpo del sol seria necesario un cometa muy poderoso. Pero si se reflexiona la prodigiosa velocidad de los cometas en su perihelio, la cual es tanto mayor quanto es mas recto su curso y mas se aproximan al sol; si á mas de esto se atiende á la densidad, fijeza y solidez de la materia de que deben estar compuestos para sufrir, sin ser destruidos, el calor incomprensible que experimentan cerca del sol; y si al mismo tiempo se hace memoria de que presentan á los ojos de los observadores un núcleo brillante y sólido que refleja en gran manera la luz del sol por entre la atmósfera inmensa del cometa, la cual envuelve y debe oscurecer dicho núcleo: apenas podrá dudarse que los cometas estén compuestos de una materia muy sólida y densa (c), conteniendo gran canti-

(*) Voz astronómica, por la cual se entiende el punto de mayor proximidad de los planetas al sol, ó sea aquel en que distan lo menos que puede ser.

(1) Véase Newton, 3a., edic., pág. 525.

dad de ella en pequeño volúmen; y por consiguiente, que un cometa pueda tener bastante masa y velocidad para dislocar al sol y dar movimiento de proyeccion á una cantidad de materia tan considerable como lo es $\frac{1}{650}$ de la masa de aquel astro. Esto concuerda perfectamente con lo que sabemos acerca de la densidad de los planetas, la cual se cree ser tanto menor, quanto mas distantes están del sol, y menos calor tienen que resistir; de suerte, que Saturno es menos denso que Júpiter, y Júpiter mucho menos que la tierra y en efecto, si la densidad de los planetas fuese, como lo pretende Newton, proporcional al grado de calor que deben sufrir, Mercurio seria siete veces mas denso que la tierra, y veinte y ocho veces mas que el sol; y el cometa del año de 1680 seria 28.000 veces mas denso que la tierra, ó 112.000 mas denso que el sol; y suponiéndole de igual tamaño que la tierra, contendria en aquel volúmen una cantidad de materia casi igual á la nona parte de la masa del sol, ó bien no dándole sino la centésima parte del grandor de la tierra, todavía su masa seria igual á $\frac{1}{100}$ del sol: de donde fácilmente se deduce que una masa semejante, sin embargo de constituir solamente un cometa pequeño, pudiera separar y arrojar del sol $\frac{1}{900}$ ó $\frac{1}{650}$ de su masa, sobre todo si se atiende á la inmensa velocidad adquirida con que se mueven los cometas cuando pasan cerca de aquel astro.

No menos llama nuestra atencion otra nueva analogía, qual es la semejanza entre la densidad de la materia de los planetas y la densidad de la materia del sol. En la superficie de la tierra conocemos materias catorce ó quince mil veces mas densas unas que otras, cuya proporcion, poco mas ó menos, guardan las densidades del oro y el ayre; pero el interior de la tierra y el cuerpo de los planetas están compuestos de partes mas homogéneas, y cuya densidad comparada varia mucho menos, siendo tan conformes la densidad de la materia de los planetas y la densidad de la materia del sol, que en 650 partes que componen el total de la materia de aquellos, hay mas de 640 que casi tienen la misma densidad que la ma

(1) Véase Newton, pág. 405.

(*) Debe tenerse presente, tanto en este paraje como en todos los demas, que cuando Buffon compuso este discurso, en 1745, no conocian todavía los astrónomos los planetas telescópicos Herschel ó Urano, con sus seis satélites, Ceres, Pallas, Juno y Vesta que se han ido sucesivamente descubriendo, además de los dos nuevos satélites descubiertos por Herschel en Saturno.

El orden con que giran estos planetas alrededor del sol, y los demas que se distinguen con la simple vista, es el siguiente: Mercurio es el primero por su proximidad al astro solar; sigue Vénus, la Tierra con su luna, Marte, Vesta, Juno, Ceres, Pallas, Júpiter con sus cuatro lunas o satélites, Saturno con otras siete, y Urano con seis.

teria del sol, y no hay 10 partes en las 650 que sean mas densas; porque Saturno y Júpiter tienen con poca diferencia la misma densidad que el sol, y la cantidad de materia que contienen estos dos planetas es por lo menos 64 veces mayor que la que hay en los cuatro planetas inferiores Marte, la Tierra, Venus y Mercurio. Debe pues decirse que, generalmente hablando, la materia de que están compuestos los planetas es igual con poca diferencia á la del sol, y que por consiguiente puede muy bien haber sido segregada de él.

Opondrán algunos que si el cometa, cayendo oblicuamente en el sol, surgió la superficie de aquel astro y desprendió de ella la materia de que se han compuesto los planetas, parece que todos estos, en vez de describir círculos cuyo centro sea el sol, debieran por el contrario haber tocado en cada revolucion, aunque ligeramente, la superficie de aquel astro, y vuéltose por fin al mismo punto de donde habian salido. Así lo realizaría todo proyectil que se arrojase con bastante fuerza de cualquier punto de la superficie de la tierra para obligarle á dar vueltas perpetuamente; por cuanto es fácil demostrar que este cuerpo volvería á cada revolucion al punto de donde habia sido arrojado. Bajo este supuesto, no puede atribuirse al impulso de un cometa la proyeccion de los planetas fuera del sol, puesto que su movimiento alrededor de aquel astro es diferente del que debia ser en esta hipótesis.

Respondo á tal objecion que la materia de que se componen los planetas no salió de aquel astro en globos ya formados, á los cuales hubiese el cometa comunicado su movimiento de proyeccion, sino en forma de un torrente en que el movimiento de las partes anteriores debió ser acelerado por el de las posteriores: que á mas de esto, la atraccion de las partes anteriores debió acelerar tambien el movimiento de las posteriores, y que esta aceleracion de movimiento, producida por la una ó la otra de dichas causas y acaso por ambas, pudo ser tal que mudase la primera direccion del movimiento impulsivo; pudiendo haber resultado de esto el movimiento que hoy observamos en los planetas, sobre todo si suponemos que el choque del cometa hizo mudar de sitio al sol. Supóngase, por ejemplo, que desde la cima de un monte se arrojase una bala de mosquete, y que la fuerza de la pólvora fuese suficiente para hacerla pasar el semidiámetro de la tierra: es constante que esta bala giraria alrededor del globo, y á cada revolucion volveria á pasar por el punto de donde habia sido tirada. Pero si en lugar de una bala de mosquete suponemos haberse tirado un cohete en que la accion del fuego fuese durable y acelerarse notablemente el movimiento de proyeccion, este cohete, ó por mejor decir, el cartucho que le contiene, no volveria como la bala de mosquete al mismo punto, sino que describiria un círculo, cuyo perigeo (*) distaria de la tierra segun que la fuerza de aceleracion hubiese sido mayor y alterado mas la primera

(*) Punto de la circunferencia del círculo que describe cualquiera planeta en su mayor proximidad á la tierra, ó en el cual llega á estar á la distancia mínima del centro de la misma.

direccion, suponiéndose por otra parte en igualdad de circunstancias. De este modo, con tal que se haya acelerado el movimiento de proyeccion comunicado al torrente de materia por la caida del cometa, es muy posible que los planetas que se formaron de aquel torrente adquiriesen el movimiento que les conocemos en círculos y elipses, cuyo centro ó foco es el sol.

Para tomar idea del rápido movimiento en el torrente de que hablamos, puede observarse el modo con que se efectuan las grandes erupciones de los volcanes. Es notorio que cuando el Vesubio empieza á bramar y arrojar las materias que le abrasan, el primer torbellino que vomita solo tiene cierto grado de velocidad, la cual se aumenta en breve por el impulso de un segundo torbellino que sigue al primero, despues por la accion de un tercero, y así sucesivamente: las olas pesadas de betun, azufre, cenizas y metal derretido parecen nubes macizas; y sin embargo de sucederse siempre casi en la misma direccion, no dejan de mudar considerablemente la del torbellino primero, y de empujarle y llevarle hácia otra parte á mayor distancia de la que hubiera alcanzado por si solo.

Dirémos además para satisfacer á esta objecion, que habiendo sufrido el sol la percusion del cometa y recibido parte de su movimiento impulsivo, experimentaria sin duda en si mismo un movimiento que le haria mudar de sitio; y que, aunque este movimiento solar sea actualmente casi imperceptible para que en pequeños intervalos de tiempo hayan podido los astrónomos observarle, con todo puede ser muy bien que subsista todavía, y que el sol se mueva lentamente hácia diferentes partes del universo, describiendo una curva alrededor del centro de gravedad de todo el sistema: y si esto sucede, conforme yo lo presumo, está claro que los planetas, en vez de volver cerca del sol á cada revolucion, deberán por el contrario haber descrito órbitas cuyos puntos de los perihelios estarán tanto mas distantes de este astro, cuanto el mismo diste mas del lugar que antes ocupaba.

Conozco se me podrá replicar que si la aceleracion del movimiento se verifica en la misma direccion, no se muda por esto el punto del perihelio, que estará siempre en la superficie del sol; pero yo entiendo que, lejos de creer que en un torrente cuyas partes se sucedieron no hubo mudanza alguna de direccion, es por lo contrario muy probable que la hubo grande y suficiente para dar á los planetas el movimiento que tienen.

Objetaráseme tambien que, si el sol mudó de sitio mediante la percusion del cometa, debió moverse uniformemente; y que en tal caso, siendo comun este movimiento á todo el sistema, no debió haber cambio alguno: pero ¿no pudo tener acaso el sol antes del choque cierto movimiento alrededor del centro de gravedad del sistema cometario, movimiento primitivo al cual pudo añadir el choque del cometa algun aumento ó disminucion? Esto bastaria tambien para dar razon del movimiento

actual de los planetas.

Pero aun cuando no se quiera admitir ninguno de estos supuestos, ¿no podemos presumir sin faltar á la verosimilitud, que en el choque del cometa contra el sol hubo una fuerza elástica que elevó el torrente sobre la superficie del sol, en vez de impelerle directamente, lo cual por sí solo era bastante para desviar el punto del perihelio, y dar á los planetas el movimiento que han conservado? Y no es inverosímil esta suposición, respecto á que la materia del sol puede muy bien ser muy elástica, pues por sus efectos parece serlo perfectamente la sola parte de aquella materia que conocemos, cual es la luz. Confieso que no puedo determinar por cual de las razones que dejo espuestas se ha mudado la direccion del primer movimiento impulsivo de los planetas, pero estas razones son á lo menos suficientes para manifestar que semejante mudanza es posible, y aun probable, lo cual basta tambien para mi objeto.

Dejando empero de fijarnos en las objeciones que pudieran hacerse, ó en las pruebas que ministran las analogías á favor de mi hipótesis si gamos su objeto y saquemos consecuencias. Veamos, pues, lo que pudo suceder cuando los planetas, y principalmente la tierra, recibieron el movimiento de proyeccion, y en que estado se hallaron despues de segregados de la masa del sol. Habiendo el cometa con un solo golpe comunicado un movimiento de proyeccion á esta cantidad de materia igual á $\frac{1}{656}$ del cuerpo del sol, las partículas menos densas se separarian de las mas densas, y formarian por medio de su atraccion reciproca globos de diferentes densidad. Saturno, compuesto de las partículas mas abultadas y ligeras, seria el que mas se apartase del sol. Júpiter despues, mas denso que Saturno, se alejaria menos y así sucesivamente; de suerte que los planetas mas corpulentos y menos densos son los mas distantes, porque recibieron un movimiento de proyeccion mas fuerte que los menos abultados y mas densos; pues comunicándose la fuerza de proyeccion por las superficies, el mismo impulso haria mover las partes mayores y mas ligeras de la materia del sol con mas velocidad que las mas pequeñas y sólidas; y por consiguiente, se haria una separacion de las partes cuya densidad era de diferentes grados, de modo que, siendo la densidad de la materia del sol igual á 100, la de Saturno es igual á 67, la de Júpiter á 94 y $\frac{1}{2}$, la de Marte á 200, la de la tierra á 400, la de Venus á 800, y la de Mercurio á 2.800. Pero como la fuerza de atraccion no se comunica por la superficie, como la de impulsión, sino que, al contrario, obra sobre todas las partes de la masa, debió por lo mismo haber retenido las porciones mas densas de la materia; y de ahí es que los planetas mas densos están mas cercanos al sol, y giran alrededor de este astro con mayor rapidez que los planetas menos densos, que son tambien los mas distantes.

Júpiter y Saturno, partes principales del sistema solar, han conservado esta relacion entre su densidad y su movimiento impulsivo, en proporcion tan exacta que debe admirarnos. La densidad de Saturno es á

la de Júpiter como $67 \frac{1}{2}$ á $94 \frac{1}{2}$; y sus velocidades son; con corta diferencia, como $88 \frac{1}{2}$ á $120 \frac{1}{2}$, ó como $67 \frac{1}{2}$ á $90 \frac{11}{16}$; y es cosa muy singular, que de meras conjeturas se puedan sacar analogías tan exactas. Es verdad que siguiendo esta relacion entre la velocidad y densidad de los planetas, la densidad de la tierra no debería ser sino como $206 \frac{7}{8}$ siendo así que es como 400 (d); de lo cual puede conjeturarse que nuestro globo fue á los principios una vez menos denso de lo que es ahora. En cuanto á los planetas Vénus, Marte y Mercurio, supuesto que su densidad solo se conoce por conjeturas, no podemos saber si destruiria ó confirmaria nuestra opinion en orden á la relacion que hay entre la velocidad y la densidad de los planetas en general. Newton cree que la densidad es tanto mayor cuanto lo es el calor á que está espuesto el planeta; y bajo este concepto hemos dicho que Marte es una vez menos denso que la tierra, Vénus una vez mas, Mercurio siete veces mas, y el cometa del año de 1680 veinte y ocho mil veces mas denso que la misma tierra: pero esta proporcion entre la densidad de los planetas y el calor que deben experimentar, no puede subsistir cuando se atiende á Saturno y Júpiter, que son los principales objetos que nunca debemos perder de vista en el sistema solar; porque siendo dicha proporcion entre la densidad y el calor, se halla que la densidad de Saturno seria casi como $4 \frac{7}{8}$, y la de Júpiter como $14 \frac{17}{22}$, en lugar de 67 y de $94 \frac{1}{2}$, diferencia demasiado grande para que pueda admitirse la proporcion entre la densidad y el calor que deben experimentar los planetas: por lo cual, no obstante el aprecio que merecen las conjeturas de Newton, creo que la densidad de los planetas tiene mas relacion con su velocidad que con el grado de calor que deben sufrir(e). Este no es mas que una causa final, y aquella una proporcion física, cuya exactitud es singular entre los dos grandes planetas: con todo, debemos confesar que la densidad de la tierra, en vez de ser $206 \frac{7}{8}$, se halla ser 400; y que, por consiguiente, es preciso que el globo terrestre se haya condensado en razon de $206 \frac{7}{8}$ á 400.

¿Y no hay alguna proporcion entre la condensacion ó coccion de los planetas y la cantidad del calor del sol en cada uno de ellos? Siendo esto así, Saturno, que está muy distante de aquel astro, habrá sufrido poca ó ninguna condensacion; Júpiter se habrá condensado de $90 \frac{11}{16}$ á $94 \frac{1}{2}$; y siendo el calor del sol en Júpiter al del mismo sol sobre la tierra como $14 \frac{17}{22}$ á 400, las condensaciones han debido hacerse en la misma proporcion; de suerte, que si Júpiter se condensó de $90 \frac{11}{16}$ á $94 \frac{1}{2}$, la tierra debiera haberse condensado en igual proporcion de $206 \frac{1}{2}$ á $215 \frac{990}{1451}$ si hubiese sido colocada en la órbita de Júpiter, donde no hubiera debido recibir del sol sino un calor igual al que recibe aquel planeta: pero, estándole la tierra mucho mas cercana á dicho astro, y recibiendo un calor cuya proporcion con el que recibe Júpiter es de 400 á $14 \frac{17}{22}$, es forzoso multiplicar la cantidad de la condensacion que hubiera tenido en la órbita de Júpiter por la proporcion de 400 á $14 \frac{17}{22}$, lo cual da cerca de $234 \frac{1}{2}$, por la cantidad de condensacion que debió experimentar la tierra.² Su densidad era $206 \frac{7}{8}$, y añadiendo á ella la cantidad de condensacion, resulta ser su densi-

dad actual $400 \frac{7}{8}$, lo cual se aproxima bastante á la densidad 400 determinada por la paralaje (*) de la luna. Por lo demás, no es mi intencion dar aquí proporciones exactas, sino solamente aproximaciones, para manifestar que las densidades de los planetas tienen mucha relacion con la velocidad de los mismos planetas en sus órbitas.

(*) Por paralaje entienden los astrónomos la diferencia que media entre el lugar verdadero de un astro, suponiéndose colocado el observador en el centro de la tierra, y el lugar aparente, ó en que parece presentarse, mirándole desde un punto cualquiera de la superficie de la superficie de la misma.

La Segunda Parte de este Trabajo aparecen en el próximo número.

* Artículo original publicado por la compaña A. Bergnes (Barcelona) en 1833.

LA ARQUITECTURA DE LA TIERRA.

El entendimiento de la estructura del planeta ha evolucionado más en los últimos 20 años que en toda la historia de la ciencia.

Cuando, con Charles Darwin, terminó la era de los grandes científicos "generales", las ciencias de la Tierra empezaron a estudiarse desde un punto de vista cada vez más especializado. Durante casi un siglo, distintos aspectos de nuestro planeta fueron analizados cada vez con mayor detalle. Pero de esta creciente especialización surgió una marcada falta de comunicación entre los científicos concentrados en las distintas ramas en que se dividió el estudio de la Tierra. Sin embargo, aún entonces, la mayoría de los especialistas estaban conscientes de la existencia de un grupo de problemas fundamentales, sobre los cuales no existía ningún tipo de respuesta que los satisficiera a todos. Algunos de estos problemas eran: ¿por qué el fondo rocoso de los océanos es más joven que el océano mismo?, ¿por qué las zonas sísmicas y volcánicas están concentradas a lo largo de estrechas bandas de gran longitud? ¿por qué los perfiles continentales de América del Sur y África, y los de América del Norte y Europa parecen ajustarse como las piezas de un rompecabezas?

Las ciencias de la Tierra hasta antes del decenio de los sesentas, no habían sido capaces de explicar consistentemente todas las observaciones anteriores. Curiosamente, en los dos últimos decenios se invirtió esa situación. Durante esos 20 años se sintetizó el conocimiento, hasta entonces disperso, en una teoría más o menos unificada sobre la naturaleza de la Tierra y sus movimientos. El decenio de los ochentas marca con su inicio, la formación de nuevas especialidades que, en general, tienen poco en común con las que existían antes de la aparición de los modelos unificados.

La teoría unificada sobre la naturaleza de los fenómenos geológicos es el resultado de cinco líneas de medidas y experimentos, independientes y más o menos contemporáneas. La primera es el resultado obtenido del mapeo del fondo de los océanos utilizando ecosondas. Estos aparatos permiten determinar la topografía del fondo marino, al registrar el tiempo que le toma a un pulso de sonido ir y regresar a un barco en la superficie, tras haberse reflejado en el fondo marino. Estos estudios confirmaron la existencia de largas cordilleras que se extienden por el fondo de los océanos.

La segunda línea fue resultado de la cuidadosa determinación de focos sísmicos, en su posición y su mecanismo, por medio de la red mundial de sísmómetros. Gran parte de esta red fue originalmente diseñada y construida para la detección y localización de explosiones nucleares. La tercera proviene de la medida del campo magnético terrestre sobre el fondo marino, utilizando magnetómetros de gran sensibilidad, principalmente los del tipo "compuerta de flujo" y posteriormente de precisión nuclear. Estos magnetómetros fueron capaces de distinguir pequeñas discrepancias o anomalías.

lías del campo geomagnético respecto a los valores esperados en una región dada si la Tierra fuera perfecta y homogénea. Un resultado sorprendente fue el descubrimiento de una serie de anomalías en forma de bandas magnéticas paralelas a las cordilleras oceánicas.

La cuarta línea se generó con el descubrimiento y cronología de las inversiones que ha experimentado el campo magnético terrestre en el pasado geológico. La mayoría de las rocas son capaces de "congelar" el campo magnético que se encontraba presente en el momento de su formación. Por ejemplo, una roca volcánica que se enfría en presencia de un campo magnético externo quedará ligeramente magnetizada, como si fuera un débil imán, en la dirección del campo externo cuando su temperatura bajó de cierto punto (temperatura de Curie). Cuando se analizaron rocas de muy distintas edades se encontró que muchas de ellas tenían una magnetización opuesta a la que actualmente presenta la Tierra. Estudiando las edades de esas rocas pudo observarse que, en forma consistente, todas las rocas de ciertas edades determinadas presentaban una magnetización invertida. Esto permitió sugerir a los científicos que el campo geomagnético se había invertido numerosas veces en el pasado geológico.

Finalmente, la quinta línea que contribuyó a la convergencia de ideas fue la del estudio de la distribución de los volcanes activos y su composición química. Aunque las erupciones volcánicas rara vez están directamente asociadas con temblores de gran magnitud, existe sin duda una alta correlación espacial entre las zonas volcánicas y aquellas donde abundan los temblores. También en forma consistente, las zonas marinas de sismicidad débil y somera, coinciden con un volcanismo relativamente pobre en óxidos de silicio y rico en óxidos de fierro y magnesio (rocas como el basalto por ejemplo), mientras que en zonas de gran sismicidad, tanto somera como profunda, domina el volcanismo rico en silicatos.

El que estas cinco líneas separadas de investigación, programadas y desarrolladas en forma independiente por diversos organismos - cuyas existencias eran en ocasiones mutuamente ignoradas -, se hayan conglomerado en una teoría unificada, marca sin duda, una de esas afortunadas situaciones en las que un factor casual genera conocimientos trascendentales a partir de información aparentemente inconexa.

Las grandes preguntas que agobian a los científicos de los decenios anteriores empezaron a tener respuesta. El problema del ajuste de la forma de los continentes que en algún momento se sugirió como una "coincidencia" perdió ese carácter cuando alrededor del año 1965 se encontró que si a los continentes se les "desplazaba" (en un modelo de computadora) sobre la superficie del globo se les podía "encajar" con un grado de ajuste que ninguna casualidad podría explicar. Esto revivió un grupo de teorías que desde principios de siglo se habían sugerido. Entre éstas destaca la "deriva continental", que un meteorólogo alemán, A. Wegener, propusiera en 1912. En ella se presentaba a los continentes como balsas moviéndose en un "océano" de roca "fluida". Esta idea encontró gran oposición cuan

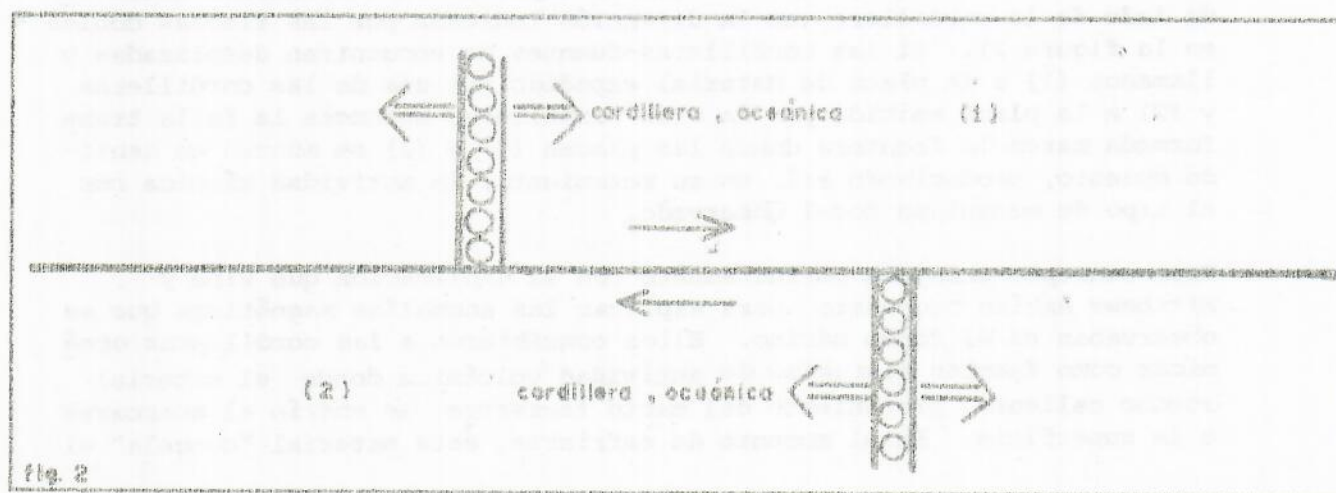
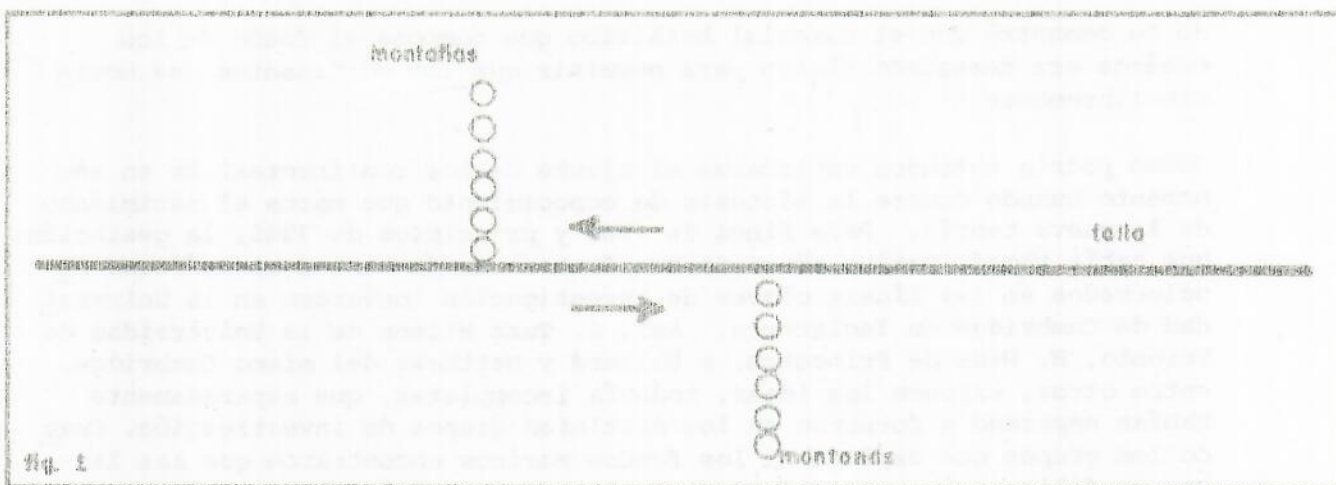
do se demostró que el material basáltico que compone el fondo de los océanos era demasiado rígido para permitir que los continentes se movieran libremente.

¿Cómo podría entonces explicarse el ajuste de los continentes? Es en ese momento cuando ocurre la síntesis de conocimiento que marca el nacimiento de la nueva teoría. Para fines de 1964 y principios de 1965, la gestación, que había tomado varios años, da sus frutos cuando varios científicos involucrados en las líneas claves de investigación convergen en la Universidad de Cambridge en Inglaterra. Así, J. Tuzo Wilson de la Universidad de Toronto, H. Hess de Princeton, y Bullard y Matthews del mismo Cambridge, entre otros, exponen las ideas, todavía incompletas, que separadamente habían empezado a formarse en los distintos grupos de investigación. Cuando los grupos que exploraban los fondos marinos encontraron que las largas cordilleras que se extienden por los fondos oceánicos no eran en realidad líneas continuas, sino que se encontraban "quebradas" en numerosos puntos, los geólogos de esa época dieron la explicación estándar para el caso de que algún rasgo geológico lineal característico presente una discontinuidad: Por ejemplo, si una cadena montañosa se encuentra quebrada. Los geólogos suponen que la cadena ha sido desplazada respecto a la otra por una falla del terreno con un movimiento como el indicado en la figura 1.

Sin embargo, en las cordilleras de los fondos oceánicos, aunque la situación es geoméricamente similar, los mecanismos focales de los temblores (Ver J.M. Espíndola, Naturaleza, abril 1979), que ocurrían a lo largo de la falla, sugerían para tal movimiento un sentido exactamente opuesto como lo indica esta figura:

Esta paradoja fue resuelta por Wilson con la introducción de un concepto simple y elegante: la falla transformada. En ésta, a diferencia de la falla estándar, los trozos de cordillera no se separan más entre ellos a medida que transcurre el tiempo, sino que se mantienen fijos; la actividad sísmica es entonces producida porque la cordillera misma es fuente de material rocoso que, como una gruesa capa, se va extendiendo hacia cada lado de la cordillera (en la dirección indicada por las flechas dobles en la figura 2). Si las cordilleras-fuentes se encuentran desplazadas y llamamos (1) a la placa de material expedido por una de las cordilleras y (2) a la placa emitida por la otra cordillera, entonces la falla transformada marca la frontera donde las placas (1) y (2) se mueven en sentido opuesto, produciendo así, en su rozamiento, la actividad sísmica con el tipo de mecanismo focal observado.

Este concepto encajaba perfectamente con la explicación que Vine y Matthews habían propuesto para explicar las anomalías magnéticas que se observaban en el fondo marino. Ellos concibieron a las cordilleras oceánicas como fuentes alargadas de actividad volcánica donde el material rocoso caliente, proveniente del manto terrestre, se enfría al acercarse a la superficie. En el momento de enfriarse, este material "congela" el



campo magnético presente en esa época y así va generando un patrón de bandas magnéticas, según cambia la polaridad del campo geomagnético. Fue común en ese entonces hacer la analogía de la placa magnetizada con la de una cinta magnética en una grabadora sobre la que se imprimen señales con polaridad directa e invertida.

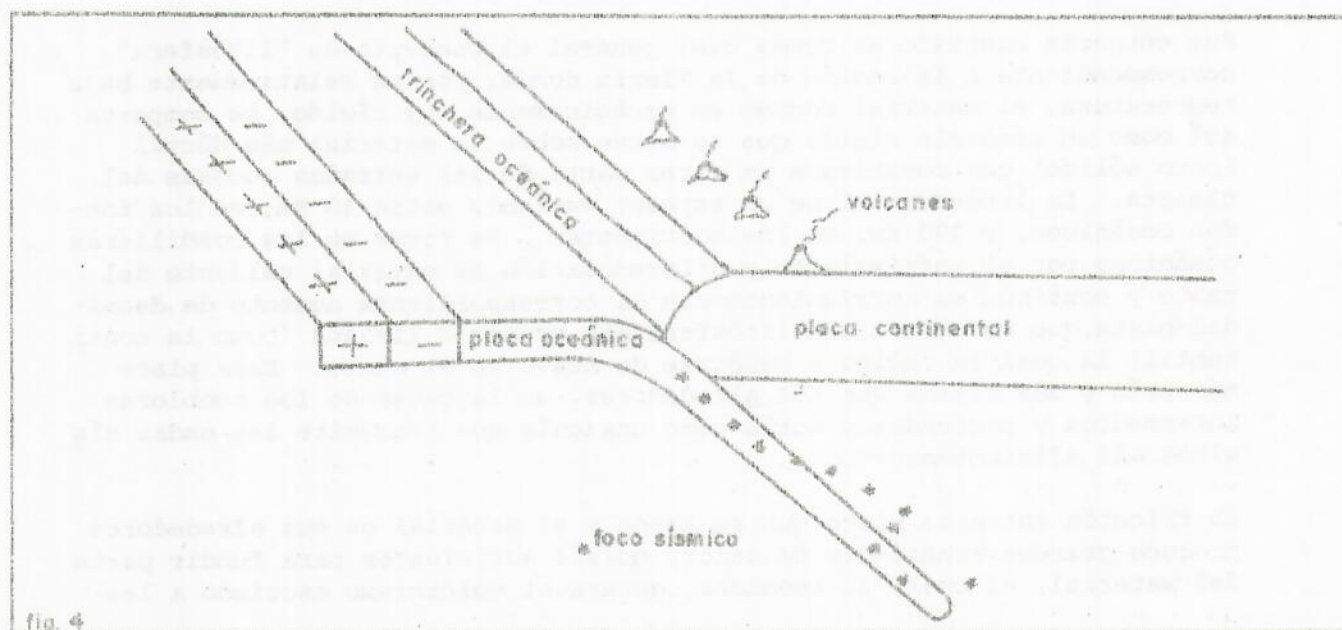
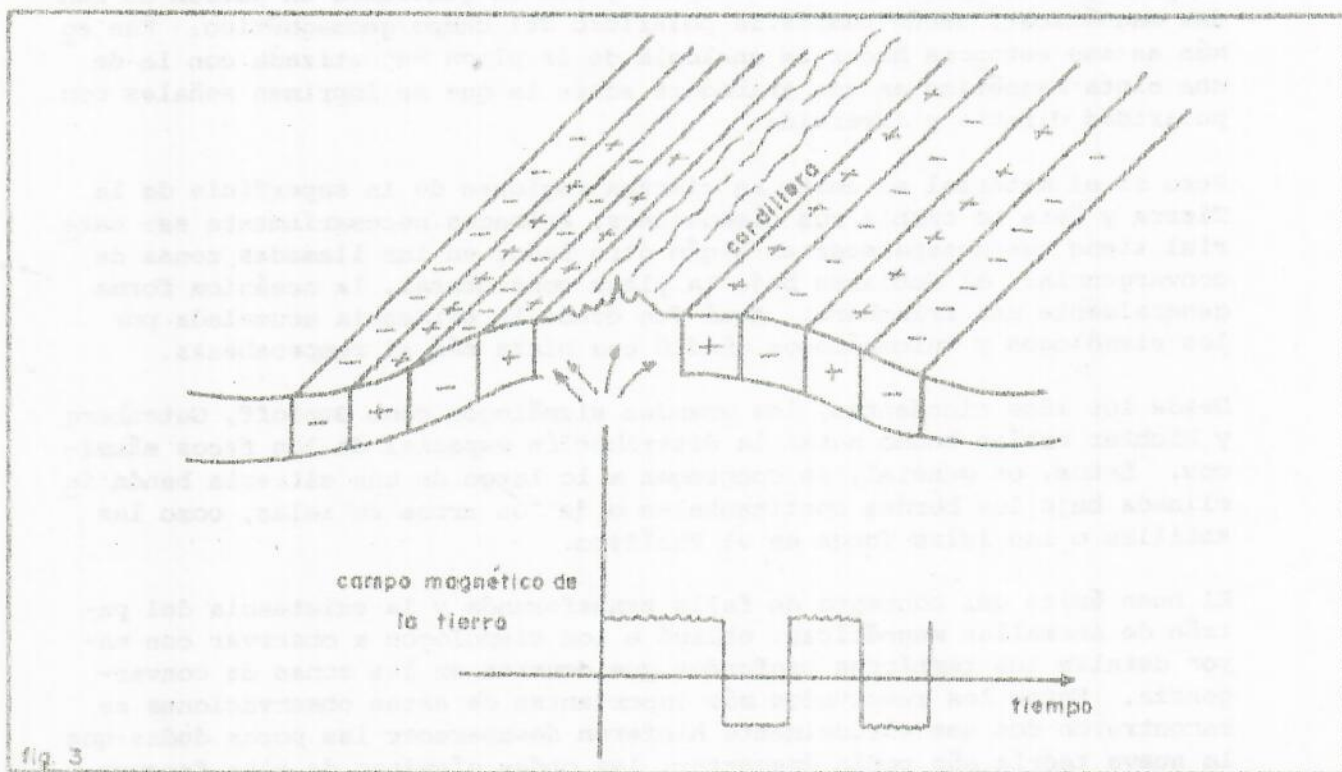
Pero si el material se emite en ciertas regiones de la superficie de la Tierra y ésta no cambia sus dimensiones, entonces necesariamente ese material tiene que desaparecer en algún otro lado, en las llamadas zonas de convergencia. Al doblarse bajo la placa continental, la oceánica forma generalmente una trinchera. Aquí fue donde la evidencia acumulada por los sismólogos y vulcanólogos añadió una pieza más al rompecabezas.

Desde los años cincuentas, los grandes sismólogos como Benioff, Gutenberg y Richter habían hecho notar la distribución espacial de los focos sísmicos. Estos, en general, se congregan a lo largo de una estrecha banda inclinada bajo los bordes continentales o de los arcos de islas, como las Antillas o las islas Tonga en el Pacífico.

El buen éxito del concepto de falla transformada y la existencia del patrón de anomalías magnéticas, obligó a los sismólogos a observar con mayor detalle los temblores profundos que ocurren en las zonas de convergencia. Entre los resultados más importantes de estas observaciones se encontraron dos que virtualmente hicieron desaparecer las pocas dudas que la nueva teoría aún podía despertar: las ondas sísmicas de alta frecuencia viajan más rápida y eficientemente a lo largo de la zona sísmica que perpendicularmente a ella y los mecanismos focales de los temblores que ocurren en la zona de contacto entre las placas oceánicas y continentales, tienen un mecanismo focal característico de zonas donde existen esfuerzos compresionales entre dos cuerpos.

Fue entonces aceptado en forma casi general el concepto de "litósfera", correspondiente a la región de la Tierra donde, por su relativamente baja temperatura, el material rocoso es mecánicamente muy rígido, se comporta así como un cascarón rígido que se mueve sobre un material más dúctil (pero sólido) que constituye la mayor parte de las entrañas rocosas del planeta. La litósfera tiene un espesor variable entre 10 Km, en los fondos oceánicos, y 100 Km, en los continentes. Se forma en las cordilleras oceánicas por el enfriamiento y diferenciación de material caliente del manto y continúa su enfriamiento con el correspondiente aumento de densidad-hasta que encuentra una litósfera más gruesa o liviana (como la continental) la cual la obliga a hundirse de nuevo en el manto. Esta placa más fría y más rígida que sus alrededores, es la causa de los temblores intermedios y profundos y actúa como una guía que transmite las ondas sísmicas más eficientemente.

La fricción entre la placa que se hunde y el material en sus alrededores produce grandes cantidades de calor, quizás suficientes para fundir parte del material, el cual, al ascender, genera el vulcanismo asociado a las



zonas de convergencia.

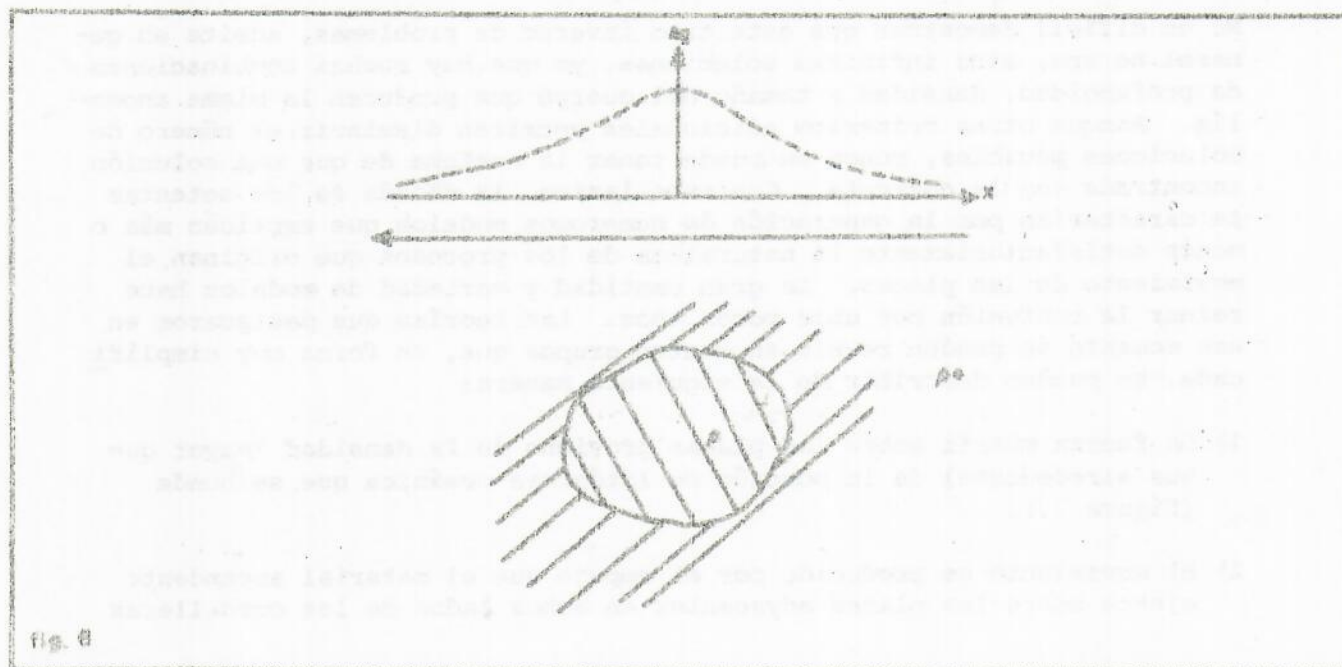
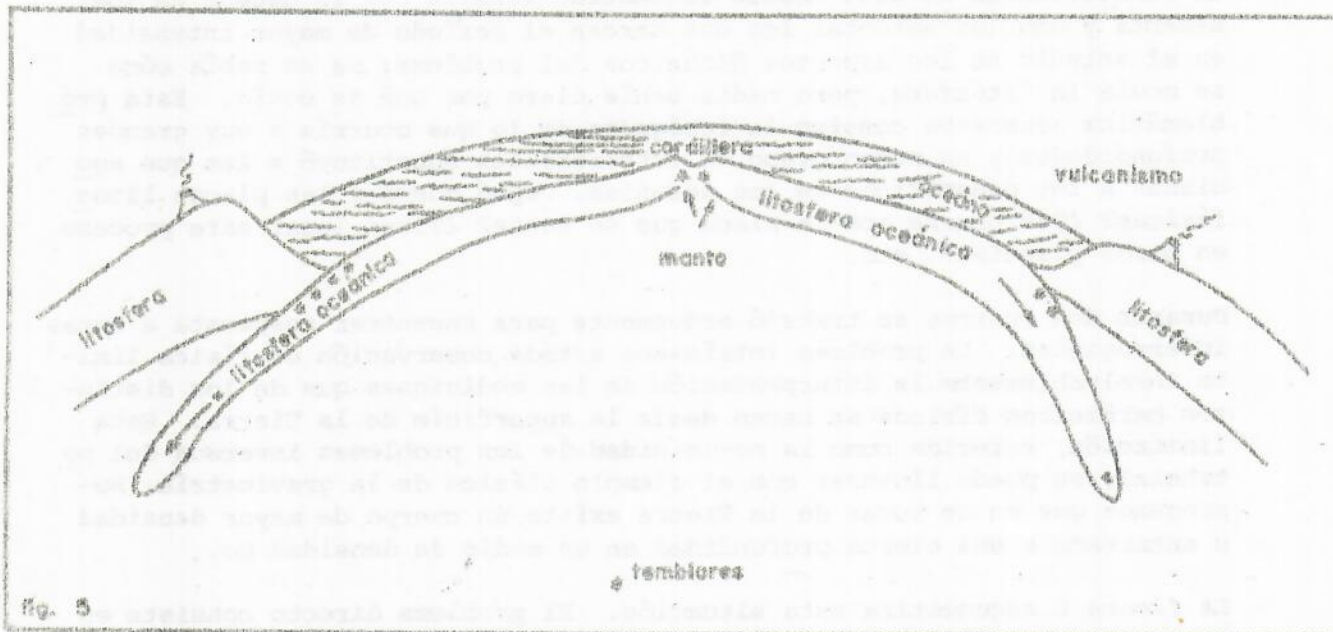
La consolidación de este modelo cinemático termina con la década de los sesenta y son los setentas los que marcan el período de mayor intensidad en el estudio de los aspectos dinámicos del problema; ya se sabía cómo se movía la litósfera, pero nadie tenía claro por qué se movía. Esta problemática acarrea consigo la incógnita de lo que ocurría a muy grandes profundidades y un nuevo grupo de interrogantes substituyó a las que agobiaban a los científicos de los sesentas. ¿Qué mueve a las placas litosféricas? ¿Qué ocurre con la placa que se hunde? ¿Tiene lugar este proceso en otros planetas?, etc.

Durante dos lustros se trabajó arduamente para encontrar respuesta a estas interrogantes. Un problema intrínseco a toda observación geofísica limita insalvablemente la interpretación de las mediciones que de los distintos parámetros físicos se hacen desde la superficie de la Tierra. Esta limitación, referida como la no-unicidad de los problemas inversos del potencial, se puede ilustrar con el ejemplo clásico de la gravimetría: Supongamos que en un lugar de la Tierra existe un cuerpo de mayor densidad que el enterrado a una cierta profundidad en un medio de densidad ρ_0 .

La figura 6 esquematiza esta situación. El problema directo consiste en encontrar el valor de la anomalía del campo gravitatorio de la Tierra, anomalía producida por el exceso de masa del cuerpo (línea punteada en la figura). Si la geometría y las densidades están bien especificadas, este problema directo tiene solución única. El problema inverso (característico de la geofísica) consiste en que, conocido el valor de la anomalía gravimétrica en la superficie, hay que encontrar la geometría y densidad del cuerpo que la produce.

No es difícil demostrar que este tipo inverso de problemas, admite en general no una, sino infinitas soluciones, ya que hay muchas combinaciones de profundidad, densidad y tamaño del cuerpo que producen la misma anomalía. Aunque otros criterios adicionales permiten disminuir el número de soluciones posibles, nunca se puede tener la certeza de que una solución encontrada sea la correcta. Con este lastre, la década de los setentas se caracteriza por la generación de numerosos modelos que explican más o menos satisfactoriamente la naturaleza de los procesos que originan el movimiento de las placas. La gran cantidad y variedad de modelos hace reinar la confusión por unos pocos años. Las teorías que destacaron en ese momento se pueden reunir en cuatro grupos que, en forma muy simplificada, se pueden describir de la siguiente manera:

- 1) La fuerza motriz sobre las placas proviene de la densidad (mayor que sus alrededores) de la porción de litósfera oceánica que se hunde (figura 7.).
- 2) El movimiento es producido por el empuje que el material ascendente ejerce sobre las placas adyacentes en ambos lados de las cordilleras



oceánicas (figura 8).

- 3.- El movimiento es producido por el deslizamiento "cuesta abajo" de las placas sobre el manto, ya que las cordilleras son más "altas" que la trinchera (figura 9).
- 4.- La causa del movimiento de las placas reside en el manto que, al moverse, arrastra a las placas con él (figura 10).

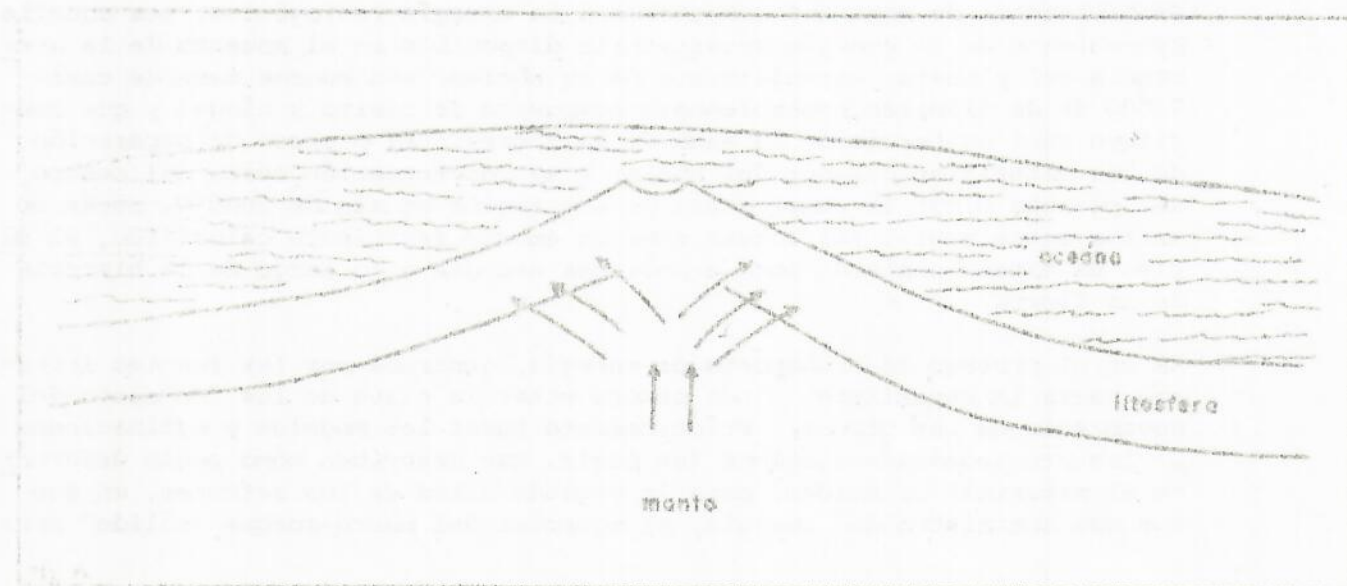
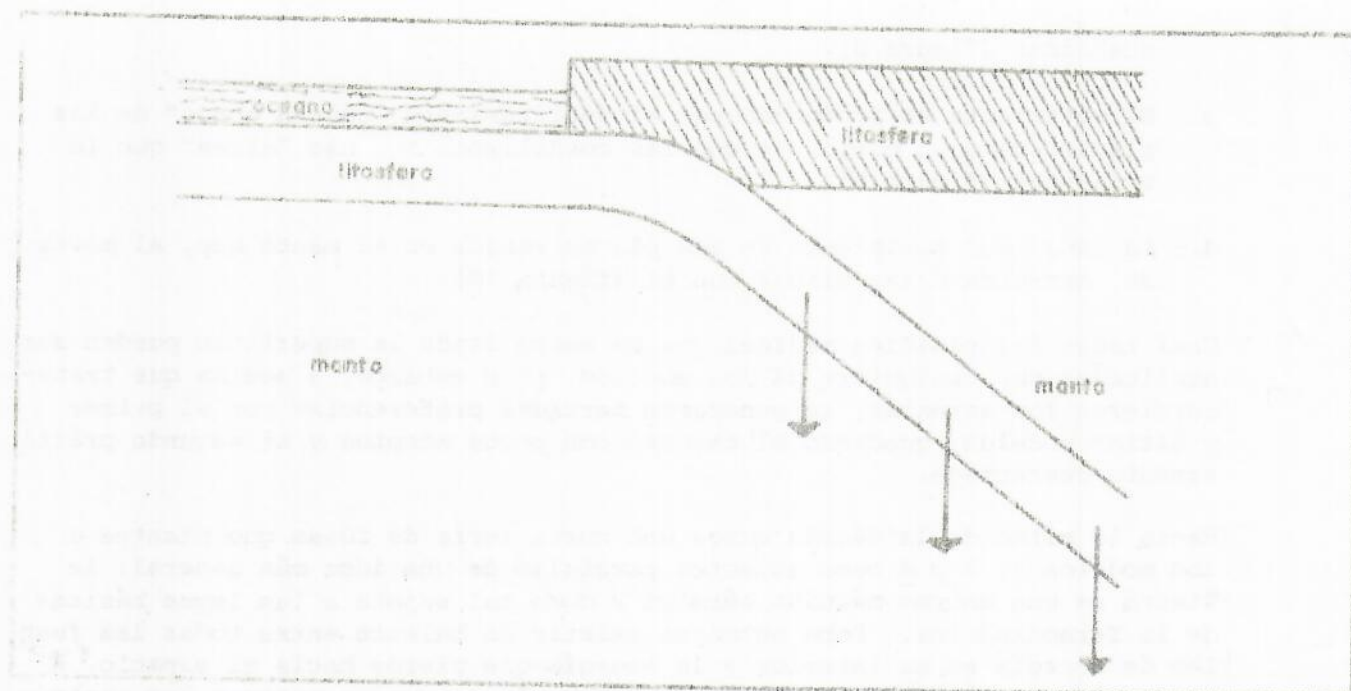
Casi todas las posibles medidas que se hacen desde la superficie pueden ser explicadas por cualquiera de los modelos. Sin embargo, a medida que transcurrieron los setentas, se generaron marcadas preferencias por el primer y último modelos, quedando el tercero con pocos adeptos y el segundo prácticamente descartado.

Hacia la mitad de la década surge una nueva serie de ideas que plantea a los modelos 1, 3 y 4 como aspectos parciales de una idea más general: la Tierra es una enorme máquina térmica y como tal sujeta a las leyes básicas de la Termodinámica. Debe entonces existir un balance entre todas las fuentes de energía en su interior y la energía que pierde hacia el espacio. A partir de argumentos de carácter muy general, se pueden estimar las contribuciones de las principales fuentes de energía. Ellas son:

La energía proveniente de la lenta desintegración de los isótopos naturales de los elementos radioactivos de larga vida más abundantes: Uranio, Torio y Potasio. Aunque las concentraciones de estos isótopos en las rocas son muy pequeñas (apenas de una parte por millón), su contribución es enorme cuando se considera todo el volumen de la Tierra. La producción total de energía originada por estas desintegraciones se estima en unos 10^{28} ergs/año (unos 40 mil millones de kilowatts). En última instancia, esta energía se pierde hacia el espacio en forma de radiación.

Probablemente de magnitud comparable a la energía radiogénica, sea aquella proveniente de la energía gravitatoria disponible en el momento de la acrecencia del planeta, especialmente de su núcleo, esa enorme masa de casi 7,000 Km de diámetro probablemente compuesta de fierro y níquel y que constituye casi un tercio de la masa de la Tierra. El proceso de separación de los materiales pesados del núcleo y su concentración cerca del centro del planeta elevó la temperatura de esa región en más de 2000°C, según se estima actualmente. Al actuar como un enorme recipiente calorífico, el núcleo ha estado cediendo poco a poco esa energía a lo largo de la historia de la Tierra.

Es en el proceso de transporte de energía, generada por las fuentes internas hacia la superficie, donde parece estar la clave de los fenómenos del movimiento de las placas. Prácticamente todos los modelos y estimaciones de las propiedades reológicas (es decir, que describen cómo puede deformarse el material) coinciden, para la segunda mitad de los setentas, en que con ese suministro de energía, el material del manto-aunque "sólido" para

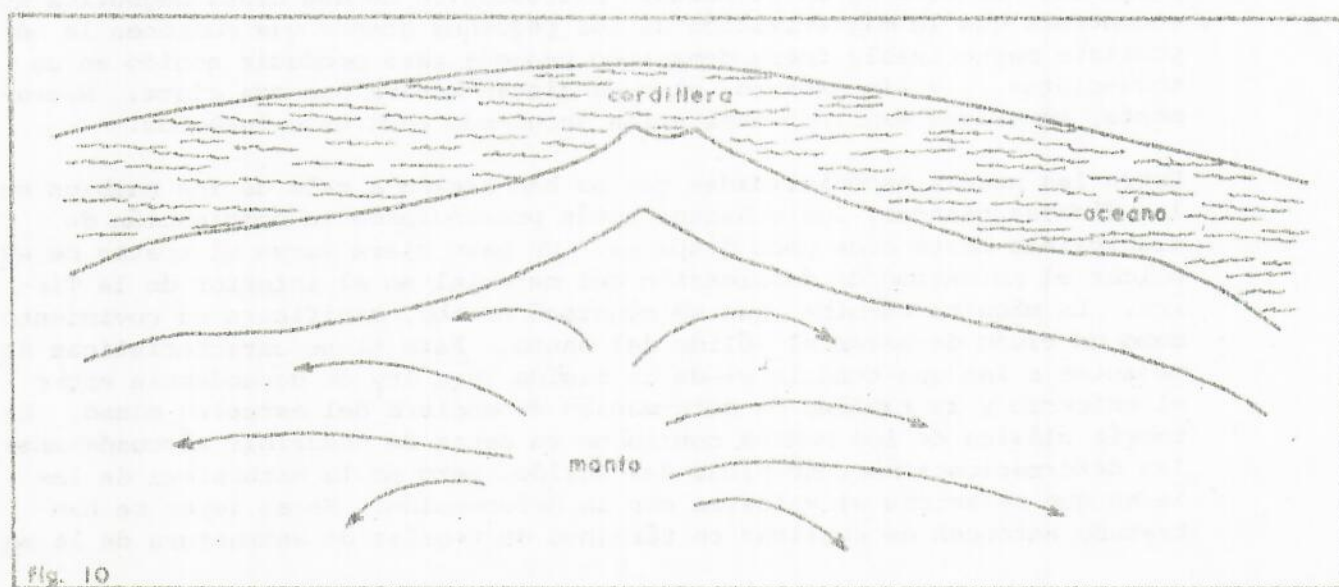
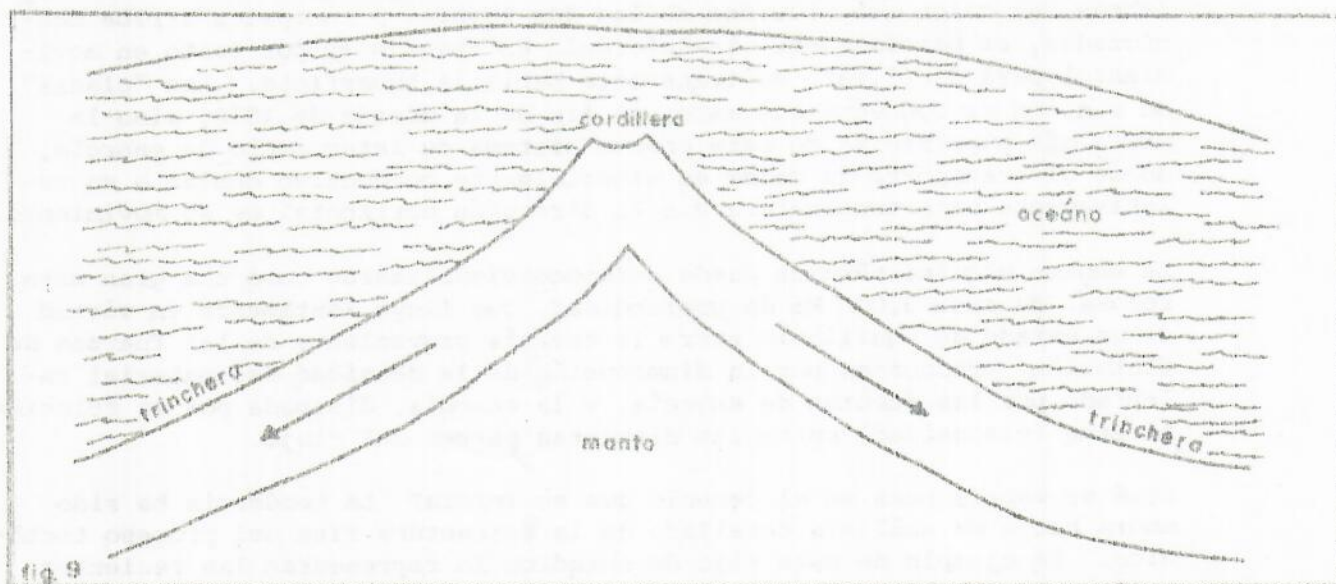


nuestra percepción-es capaz, en tiempo de escala geológica, de deformarse en forma parecida a como lo haría un fluido muy viscoso. En otras palabras, el calor que proviene de las dos fuentes principales arriba mencionadas, es parcialmente transformado en trabajo (y por tanto en movimiento) para facilitar su transporte hacia la superficie. Las "placas" no son, en el concepto que marca el fin de la década de 1970, sino la parte más superficial de este enorme sistema de intercambio de energía, donde el transporte de calor es esencialmente conductivo debido a su relativamente baja temperatura y a la dirección horizontal de su movimiento.

La enorme máquina térmica puede entonces visualizarse como una gran masa rocosa, de casi 3,000 Km de profundidad, que fluye lentamente en virtud de un estado de equilibrio entre la energía proveniente de las fuerzas de flotación, producidas por la disminución de la densidad del material calentado por las fuentes de energía, y la energía, disipada por la fricción interna (viscosidad) entre las distintas partes del flujo.

¿Qué se espera pues en el decenio que se inicia? La tendencia ha sido ahora hacia un análisis detallado de la estructura fina del proceso tectónico. Un ejemplo de este tipo de estudios lo representan las recientes exploraciones del barco oceanográfico Glomar Challenger cerca de la cordillera dorsal del Atlántico. Con la tecnología actual se ha podido perforar y obtener muestras del fondo marino a considerables profundidades bajo el fondo del océano. Ese y otros estudios han revelado la complejidad de un proceso que, hasta hace sólo unos pocos años, se representaba por modelos de relativa simplicidad. Como ilustración pueden citarse los resultados de la magnetización medida en las rocas extraídas de los pozos perforados en el fondo marino. Para sorpresa de los científicos a bordo del barco, la intensidad de magnetización observada era claramente insuficiente para explicar la intensidad de la anomalía magnética observada desde la superficie. Es como si en el estudio microscópico de una cinta magnética se encontrara que la magnetización de los pequeños granos que componen la superficie magnetizable fuera demasiado pequeña para producir sonido en un toca-cintas... y sin embargo, el toca-cintas sonara con esa cinta. Nuevamente, numerosas explicaciones están surgiendo para este fenómeno.

Entre las nuevas especialidades que se han creado a raíz de los cambios en las décadas pasadas, los ochentas están presenciando la combinación de disciplinas hasta hace poco dispares. Un caso claro surge al tratar de explicar el mecanismo de deformación del material en el interior de la Tierra. La máquina térmica, que se mencionó arriba, manifiesta su movimiento como un flujo de material sólido del manto. Este tiene características semejantes a las que tendría el de un fluido cuya ley de dependencia entre el esfuerzo y la rapidez de deformación dependiera del esfuerzo mismo. La teoría clásica de los medios continuos es capaz de describir adecuadamente las deformaciones macroscópicas del sólido, pero no la naturaleza de las leyes que relaciona el esfuerzo con la deformación. Estas leyes se han tratado entonces de explicar en términos de teorías de estructura de la ma



teria, principalmente mediante conceptos como las dislocaciones en cristales o la difusión de vacancias entre las fronteras de los granos cristalinos que componen las rocas. Sin embargo, hasta el momento estas teorías semiclásicas no han tenido éxito en su intento de reproducir las leyes de deformación observadas, especialmente para deformaciones grandes. Parece ser que sólo una curiosa mezcla de mecánica de medios continuos con teoría cuántica del estado sólido podría obtener las respuestas buscadas.

Podemos concluir asegurando que la situación de las ciencias de la Tierra, en esta época de grandes cambios, no es muy diferente a la de cualquier otra rama de la ciencia: mientras más profundizamos en alguno de los procesos de la naturaleza, más nos damos cuenta de su extrema complejidad y mayores son los recursos teóricos y experimentales requeridos para su ulterior comprensión. Pero ésta es la base del avance científico.

* Tomado de la Revista Naturaleza (Febrero-80).

Artículo original escrito por el Dr. Servando de la Cruz, investigador del Instituto de Geofísica de la UNAM.

General.

Se invita cordialmente a todas las personas relacionadas profesionalmente con las Ciencias de la Tierra, a enviar sus comentarios, sugerencias o aportaciones a esta Revista. Estas aportaciones pueden ser sobre Temas Científicos o Técnicos de carácter informativo o de difusión. Cualquier aportación enviarla a Boletín UGM, Sección Editorial, Instituto de Geofísica, Ciudad Universitaria, México 20, D.F.

Sismólogos.

La Universidad Autónoma de Santo Domingo (Rep. Dominicana), está interesada en contratar a un Geofísico del Area de Sismología, para trabajar en el Departamento de Sismología de la misma Universidad por un período de 1 ó 2 años como mínimo. Interesados ponerse en contacto con el Lic. Roger Acosta S. Director del Departamento de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, Santo Domingo, Rep. Dominicana.

REUNIONES, SYMPOSIA Y CONGRESOS PROXIMOS A CELEBRARSE.

- Marzo 24-26 - Symposium acerca del campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C., México.
Organiza: CPE, U.S., Dept. of Energy,
Universidad de California (W. Schwarz,
Univ. de California, Earth Sciences
Div. Berkeley, Cal. 94720 U.S.A.).
- Abril 6-10 - AGU Chapman conference on the Generation of The oceanic Lithosphere.
Organiza: D.C. Presnall, Meeting AGU 2000
Florida Avenue, N.W. Washington D.C.
20009.
- Mayo 6-9 - UNION GEOFISICA MEXICANA - REUNION 1981 en Manzanillo, México.
Organiza: Comité reunión 1981, Instituto de Geofísica, Ciudad Universitaria,
México 20, D.F.
- Junio 8-18 - International Geoscience and Remote Sensing
Organiza: K.R. Carven
IGARSS'81 Technical Program Chairman
Physical Science Lab. New Mexico
State University Las Cruces NM88 003
- Julio 21-30 - Asamblea General del IASPEI
Organiza: A.E. Beck, Dept. of Geophysics,
University of Western Ontario,
Ontario N6A 5B7, CANADA.
- Agosto 17-28 - Asamblea Científica del International Association of Meteorology and Atmospheric Physics.
Organiza: Stan Ruttenberg; P.O. Box 3000
Boulder, Colorado 80307 U.S.A.

Agosto 28-9

Symposium on Arc Volcanism IAVCEI

Organiza: IAVCEI, I. Yokoyama, Dept. of
Geophysics, Faculty of Science.
Hokkaido University, Sapporo 060
Japón.

Octubre 6-8

Métodos en Series de Tiempo.

Organiza: A. El-Shaarawi P.O. Box, 5050
Burlington, L7R 4A6 Ontario, Canadá.

MAESTRIA EN GEOFISICA

Prerrequisito: Grado de Licenciatura en el Área
de Ciencias ó Ingeniería.

Duración: 4 Semestres.

Becas: A estudiantes con promedio superior a 8.5

Los Estudios de Maestría en Geofísica pueden realizarse en
la Facultad de Ciencias, UNAM en México, D.F. ó en el Cen-
tro de Investigación Científica y Educación Superior de
Ensenada, B.C. (CICESE).

Informes: Facultad de Ciencias ó Instituto
de Geofísica
UNAM; Ciudad Universitaria
México 20, D.F.

ó CICESE
Av. Espinoza 843
Ensenada, B.C.N.

