

La dilatación de la Tierra

Dr. Pablo Groeber

Separata del Boletín de
Informaciones Petroleras
N^{os.} 310 y 311

Buenos Aires
1959

La dilatación de la Tierra

Dr. Pablo Groeber

Separata del Boletín de
Informaciones Petroleras
N^{os.} 310 y 311

Buenos Aires
1959

La dilatación de la Tierra

por el Dr. PABLO GROEBER

PERSONALIDAD DEL AUTOR

El doctor Pablo Groeber, nacido en Estrasburgo (Alemania), el 13 de julio de 1885, ha dedicado su vida profesional a las más variadas actividades, vinculadas principalmente con la geología y, en menor grado, con las ciencias afines.

Su labor profesional, tal como se desprende de la lista de sus publicaciones, que damos al final, es muy amplia y revela la intensidad que ha caracterizado a toda su actividad, desarrollada en distintos lugares y en progresión creciente.

De tal manera, desde sus primeros trabajos como colaborador del Museo Real de Bruselas y asistente de la Cátedra de Geología de la Universidad de Leipzig, pasó a ocupar otros cargos, entre los que pueden ser citados el de asistente del Instituto Geográfico de Koenigsberg, asesor de varias compañías dedicadas a la explotación de carbón, en las regiones del Sarre y Lorena, así como el de asesor casi permanente de la Municipalidad de Estrasburgo, en las distintas labores vinculadas con su especialidad.

Llegado al país hace unos cincuenta años, ha realizado una proficua labor, en primer lugar desde los distintos cargos que ocupara en la Dirección General de Minas, de la que llegó a ser jefe del Servicio Geológico. Su trayectoria en esa institución está jalonada por la publicación de importantes trabajos, fruto de sus amplios conocimientos, con los que ha contribuido al esclarecimiento de importantes problemas estratigráficos y tectónicos, sobresaliendo en este aspecto sus aportes al mejor conocimiento de las sucesiones mesozoicas y terciarias y la sistematización de los movimientos diastróficos, particularmente terciario-cuaternarios. De tal modo, muchas de sus contribuciones constituyen hitos en el desarrollo del conocimiento geológico del país.

A su actividad como geólogo de campo y gabinete, ha sumado una importantísima tarea en la docencia secundaria y universitaria. En esta última, sobre todo, ha tenido con su tarea, la responsabilidad de la formación de muchos de los geólogos argentinos en las universidades de La Plata y Buenos Aires.

Actualmente, ya retirado de esas actividades, ha continuado intensamente su labor como publicista, al propio tiempo que brinda todo el fruto de su experiencia y saber a sus jóvenes colegas que le admiran y respetan.

El trabajo que aparece en estas páginas reviste un gran interés científico, pues presenta una teoría sobre la constitución interna de la tierra, a la luz de las últimas observaciones y estudios geológicos y geofísicos.

Dada la autoridad científica del doctor Groeber, ha de promover la mayor atención, no sólo de los especialistas, sino también de todos aquéllos que se interesan por las cosas de la Naturaleza.

Nota de la Redacción.

LISTA DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS POR EL DOCTOR PABLO GROEBER

1. 1908. Über die Faunen des unterkarbonischen Transgressionmeeres, die in der Umgegend des Sart Dachol Passes gefunden worden sind. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Palaeontol. BB
2. 1909. Karbon und Karbonfossilien des nördlichen zentralen Tien Schan Bayer. Akademie d. Wissensch. Mathem. - Naturwis. Klasse.
3. 1910. Essai de comparaison entre les couches du calcaire carbonifère de Belgique avec celles de l'Angleterre caractérisées par des zones à polypiers et à brachiopodes. Bull.d.l. Société Belge de Géologie, Paléontol. et Hydrologie. t. 34.
4. 1914. Die Bodgo Ola Kette, östlicher Tien Schan. Bayer. Akademie der Wissenschaften. Mathem. - Naturwis. Klasse.
5. 1914. Der südliche Tien Schan. Geographische Abhandl. T. 10. Leipzig.
6. 1916. Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado en 1914. Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Bol. B. 11.
7. 1918. Estratigrafía del Dogger en la República Argentina. Ibidem. Bol. B. 18.
8. 1918. Edad y extensión de las estructuras de la cordillera entre San Juan y Nahuel Huapi. Physis. t. IV.

9. 1920. Mutación del "divortium aquarum" del norte del Neuquén en el Plioceno.
Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Bol. F. 1.
10. 1920. Nota sobre el combustible de Picun Leufú. Condiciones de su yacimiento.
Ibidem. Bol. F. 2.
11. 1920. Estudio geológico de las termas de Copahue.
Ibidem. Bol. F. 3.
12. 1920. Pérmico y Triásico en la costa de Chile.
Physis. T. V.
13. 1921. Algunas observaciones referentes a la estratigrafía y tectónica del Jurásico al S del río Agrio.
Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Bol. F. 4.
14. 1921. Vestigios de un yacimiento petrolífero en Pilun Challa (Neuquén).
Ibidem. Bol. F. 4.
15. 1923. Origen del petróleo de Barrancas. Deducciones que sugiere su estudio.
Ibidem. Bol. F. 6.
16. 1924. Descubrimiento del Triásico marino en la República Argentina. Comunic. Museo Nacional de Historia Natural de Buenos Aires. T. II/9.
17. 1925. La región de Copahue y su glaciación diluvial.
Anal. Soc. Argentina de Estud. Geogr. Gaea I.
18. 1925. Comentario del trabajo de G. Bodenbender. El Chaqueño y los estratos de la Puna de Penck.
Ibidem. T. I/4, p. 408.
19. 1926. Bemerkungen zur Stratigraphie des Lias von Piedra Pintada (Zaina Yehua).
Neues Jahrb. f. Mineral., Geol. u. Palaeontol. BB. LII. B.
20. 1926. Toponimia Araucana. Gaea. T. II/1.
21. 1926. Sobre las condiciones geológicas reinantes en la región del proyectado dique de la quebrada de Ullún.
Dir. Gral. Min. Geol. e Hidrol. Publicación 25.
22. 1927. Origen de los valles transversales de la cordillera patagónica. Gaea. T. II/3.
23. 1927. Ensayo sobre tectónica teórica y provincias magmáticas.
Bol. Acad. de Cienc. en Córdoba. T. XXX.
24. 1928. Un millatun en el lago Lácar, anotado por E. Palavecino.
Gaea. T. III.
25. 1928. Nivelación barométrica en la República Argentina.
Gaea t. III.
26. 1928. Translación del vulcanismo de la falda oriental de la Cordillera hacia la ladera occidental.
Gaea. t. III.
27. 1928. Anotaciones sobre el artículo de K. Troll referente a la geología de Bolivia.
Gaea. t. III.
28. 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, Sur de Mendoza y regiones adyacentes.
Dir. Min., Geol. e Hidrol. Publicación 58.
29. 1930. Resumen de un viaje de estudio geológico en la Alta Cordillera del Noroeste de San Juan.
Riel y Fomento. T. VIII/97.
30. 1930. El yacimiento de cobre de "Las Hediondas" (Chile).
Revista Minera. T. II.
31. 1931-33. y F. Pastore. Reconocimiento geológico del torrente de barro llamado "El Volcán", valle de Humahuaca, Jujuy.
Anal. Mus. Argent. Cienc. Nat. "Bernardino Rivadavia". T. XXXVII.
32. 1931. El Dr. Wichmann y su obra científica.
Physis. t. X.
33. 1932. Informe sobre las condiciones geológicas de un dique embalse en Rincón de Bonete y la cuenca abarcada por el lago.
Instituto de Geología y Perforaciones Bol. 17. Montevideo.
34. 1933. Una perforación en Recreo. Informe inédito.
Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Carpeta 56.
35. 1932. La zona de 7 de Abril. Santiago del Estero.
Ibidem. Carpeta 126.
36. 1933. A propósito de la geología petrolífera de Salta.
Petróleo y Minas. Buenos Aires.
37. 1933. Descripción de la hoja 31 c. del mapa geológico-económico general de Argentina, en 1:200.000.
Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Bol. 38.
38. 1934. Klimaschwankungen der jüngsten geologischen Vergangenheit in Argentinien.
Ibidem. I/5.
39. 1934. Los suelos de Corrientes y del Uruguay.
Anal. Asoc. Química Argentina. T. XXII/919.
40. 1936. Chilenisch-Argentinische Erbebenzonen.
Rev. Lasso. Buenos Ayres. IV/4.
41. 1937. Apuntes de un viaje por la prov. de Mendoza (valle arroyo Blanco, zona del río Atuel, arr. d. l. Manga, Cordón de Tristeza).
Rev. Mus. La Plata. Secc. Oficial.
42. 1937. Historia de la red de drenaje en Argentina.
Rev. Centro Estud. Cienc. Nat. Fac. Cienc. Ex., Fis. y Nat. Buenos Aires.
43. 1937. Mapa geológico general de la Rep. Arg. Hoja 30 c, Puntilla de Huincan. (texto inédito).
Dir. Min., Geol. e Hidrol.
44. 1938. Datos geológicos con mapa en 1: 1.000.000 del Neuquén.
Aguas Minerales d. l. Rep. Argentina. T. III.
45. 1938. Manual de Mineralogía y Geología. Buenos Aires Espasa Calpe.
46. 1938. El Océano Atlántico y el Mediterráneo americano.
Anal. Gaea. t. VI.
47. 1939. Informe sobre la zona de embalse del dique proyectado en Nihuil.
Dir. Gral. Min., Geol. e Hidrol. Informe inédito. Carpeta 24.

48. 1939. Mapa geológico de Mendoza.
Physis. T. XIV.
49. 1939. El Eogeno del Neuquén, el piso de Navidad de Chile, la formación del río Grande y sus relaciones.
Anal. Mus. Arg. C. Nat. "Bernardino Rivadavia".
T. XL. Geología 28.
50. 1941. Captación y aprovechamiento de las aguas y fuentes de Copahue (por P. Groeber y R. Perazzo).
Min. Agric. Parques Nacionales. Ley 2103.
51. 1942. Rasgos geológicos generales de la región ubicada entre los paralelos 42 y 44 y entre los meridianos 69 y 71.
Anal. Prim. Congr. Panameric. d. Ing. d. Minas y Geología. T. II. Santiago de Chile.
52. 1944. Movimientos tectónicos contemporáneos y un nuevo tipo de dislocaciones.
Notas Museo. La Plata. T. IX. Geología Nº 33.
53. 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del Norte de la provincia de Buenos Aires.
Ingeniería, Julio 1945.
54. 1945. Larámico, capas de la Balsa y de Chichinales en la balsa sobre el río Negro frente a Fortín General Roca.
Not. Mus. La Plata. Geol. 38.
55. 1945. Lista de terrenos a distinguirse en el mapa geológico de América del Sur. Ipimigeo. Reun. Secc. Argentina.
56. 1946. Geología del arroyo Mata Molle.
Noa. Mus. La Plata. Geol. T. XI, Nº 44.
57. 1946. Las plataformas submarinas y su edad.
Ciencia e Investigación. T. IV/6. Buenos Aires.
58. 1946. Esbozo de un mapa estructural de América del Sur. Ipimigeo. Seg. Ipimigeo. Seg. Reunión Comun. Secc. Argentina.
59. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70 1) Hoja Chos Malal, c. mapa en 1:500.000.
Rev. Soc. Geol. Arg. T. I/3.
60. 1947. Idem. Hojas Sosneado y Maipo.
Ibidem. T. II/2.
61. 1947. Idem. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuar Co y perta de EpuLauken.
Ibidem. T. II/4.
62. 1947. Idem. Hojas Barda Blanca y Los Molles.
ibidem. T. II/4.
63. 1947. Idem.
64. 1948. Mapa geológico de San Juan y texto en Aguas minerales d. l. Rep. Argentina.
65. 1949. (1947) Resumen preliminar de las observaciones realizadas en el viaje a la región al Sur de Bahía Blanca en enero 1947.
Not. Mus. La Plata. T. XIV. Geología Nº 57.
66. 1951. De la Tierra a los átomos. (Vom bau der Erde zum Bau der Atome. de Kober. Ciencia e Investigación. T. VII/6. Buenos Aires.
67. 1951. La Alta Cordillera entre las latitudes de 34° y 29°30'.
Rev. Instit. d. Inv. de. l. Cienc. Nat. Geol. T. I/5.
68. 1951. Quartäre Vereisung Nordpatagoniens.
Rev. Sudamerika. Buenos Aires.
69. 1952. Spät-und Postglazial in Europa und Argentinien.
Ibidem.
70. 1952. Mesozoico (con colab. de P. N. Stipanovic y A. R. G. Mingramm). Geogr. d. l. Rep. Argentina. Gaea. T. II/1.
71. 1952. Glacial, tardío, y Postglacial en Patagonia.
Rev. d. Mus. Municipal d. Cienc. Nat. y Tradicional. T. I/1.
72. 1954. Geología e hidrología de Mar del Plata en relación con el problema del suministro de agua potable a población urbana.
Ibidem. T. I/2.
73. 1954. Bosquejo paleogeográfico de los glaciares del Diamante y Atuel.
Rev. Asoc. Geol. Argent. T. IX/2.
74. 1954. Duración de las glaciaciones en América del Sur y discusión de las condiciones astronómicas conducentes a englazamiento.
Rev. d. Museo Municipal d. Cienc. Nat. y Tradicional. d. Mar del Plata. . 1/2.
75. 1955. Anotaciones sobre Cretácico-Paleoceno, Eoceno y Cuaternario.
Rev. Asoc. Geol. Argent. T. X/4.
76. 1956. Acerca de la edad del "Sañicolitense".
Ibidem. T. XI/4.
77. 1956. Geología regional de Argentina en hojas en 1:500.000, entre los paralelos 34 y 40 grados y del meridiano 68 a la frontera con Chile, a editarse por el Mus. Nac. Hist. Nat. Buenos Aires.
78. 1957. Formación petrolífera Bonarelli versus formación petrolífera Brackebusch.
Rev. Asoc. Geol. Arg. T. XI 3.
79. 1957. Geología regional de Argentina en hojas en 1:500.000 entre los paralelos 37 y 40 y el meridiano 68 y la frontera con Chile.
A editarse por el Museo Nac. d. Hist. Nat. Buenos Aires.
80. 1958. Bosquejo geológico y climatológico de Formosa.
Bol. Acad. Nac. d. Cienc. en Córdoba. T. XI.
81. 1958. La cordillera entre las latitudes de 22°20' y 40° con mapa en 1:2.500.000, en prensa.
Ibidem.
82. 1958. Supracretácico, y Terciario. Geografía de la Rep. Argentina. Gaea. T. II/2, en prensa.
83. 1958. El delta del Paraná (con mapa geol. en 1:500.000), en prensa.
A editarse por la Comis. d. Invest. Cient. d. l. Prov. d. Buenos Aires.

La idea de la contracción de la Tierra se deriva en parte de la teoría cosmogénica de Kant-Laplace según la cual, el sistema solar se ha desarrollado a partir de una nebulosa—desde una porción de nebulosa diríamos hoy—individualizándose sus componentes posteriores que se solidificaron por enfriamiento y se contrajeron en consecuencia. Detrás de esta idea de desarrollo, se esconde un pensamiento mitológico, antropocéntrico, el del envejecimiento y el de la muerte. En efecto, se dice: “El Universo marcha hacia su muerte por frío.” El empleo de este criterio para calcular la edad de la Tierra le confirió una vida hasta el presente de unos 10^7 años. Del Sol se decía que era una estrella amarilla, en vías de extinción, sin reparar en que su luminosidad, menor que la del Sirio p.e. podía ser simplemente función de su exiguo tamaño frente a este astro, sin contar a Betelgeuze, otra de las grandes estrellas de nuestro firmamento.

La deficiencia en el planteo queda en claro por la comparación de este resultado con el del “reloj geológico”, basado en la desintegración de las sustancias radioactivas, la que da una edad del orden de 4.10^9 y más años y no concuerda con el hecho de que el Sol aumenta de tamaño y de temperatura.

La contracción de la Tierra debía parecer evidente debido a que presenta fajas de plegamiento; pero la existencia de cuencas y fosas oceánicas, no muy acordes con la contracción, tuvo que ser explicada afirmando que el interior se contraía por enfriamiento y que la corteza no seguía, por rigidez, la disminución de la superficie de la parte interna y se desmoronaba al vacío entre la corteza y el núcleo. En este caso el fondo oceánico debería estar compuesto por sial dispuesto en trozos y fragmentos irregularmente amontonados y poseer una superficie fuertemente rugosa. Pero la realidad es otra, no hay sial en el fondo de las grandes masas de agua y su superficie es llana. La explicación primitiva del origen de las cuencas oceánicas por hundimiento por contracción, no es apoyada por los hechos observados. Los plegamientos por otra parte son de origen gravitacional, pero ello tampoco es indicio de que la Tierra se contrae.

Una explicación más adecuada de los fenómenos aducidos y de muchos otros concomitantes a mencionarse, se halla en la expansión o distensión de la Tierra.

Manto silicatado: Volumen = $5 \cdot 10^{11}$ km³.

“	óxidos		
	y sulfuros	“	= 1,5 “ “
Núcleo (Nife)	“	= 4,2 “ “	
	“	10,8 “ “	

I — ARGUMENTOS GEOFISICOS

a) Densidad

Con Newton y su ley de atracción se llegó al conocimiento de la densidad de la Tierra la que fuera calculada en muchas ocasiones. Newton (1,10 escribió: “Verosimile est, quod copia materiae totius in terra quasi quintuplo vel sextuplo sit, quam si tota ex aqua constaret” Posteriormente se halló p.e. por

Maskelyne — Hutton	4,7
James	5,32
Cavendish	5,48
Reich	5,49 y 5,58
Bailey	5,67
Airy—Haughton	5,48
Cornu—Baile	5,56
Mendenhall	5,77
von Jolly	5,692
Wilsing I	5,594
Poyting	5,4934
Wilsing II	5,579

La determinación de la constante de gravitación en $6,685 \cdot 10^8$, considerada la mejor lograda, da una densidad de 5,502 para el globo terráqueo.

Dado que la densidad de las rocas de la superficie suele ser de 2,5 a 2,7, excediendo raramente la magnitud de 3, el interior debía ser más pesado y consistir en metales de densidad mediana y, en bastante menor proporción, alta. Los yacimientos metalíferos sirvieron de guía para la extrapolación de valores. Muy útil para ello resultó la consideración de los meteoritos o aerolitos pétreos y silicatados y de los sideritos y siderolitos metálicos de Fe y Ni, procedentes del sistema planetario de un planeta que estalló. Semejantes son también los productos de los altos hornos, de fundición donde se diferencia la escoria silicatada y el “régulus” metálico.

Sobre estas bases se adjudicaba a la Tierra un manto superior, silicatado con corteza sílica y cuerpo símico, un núcleo “nífico” y un manto intermedio de óxidos y sulfuros. No se delimitó espesores, pero al adjudicárseles volúmenes, habría sido preciso hacerlo dentro de los límites dados por el de la Tierra y el de su densidad. La compilación habría sido esta:

Densidad = 3. Masa = $15 \cdot 10^{11}$ kmt*

“	= 6.	“	= 9.	“	“
“	= 8,5	“	= 35,7	“	“
“	= 5,5	“	= 59,7	“	“

siendo las últimas magnitudes muy próximas a las reales.

* Toneladas kilométricas.

En uno y otro caso, se olvidó en la comparación la referencia a la fuente de energía que produjo el estado del planeta, la "fuerza endógena" o los gases en expansión repentina, y la combustión de otros flúidos.

En la época en que tal cuadro tenía muchos visos de verosimilitud, es decir en los últimos decenios del siglo pasado, se presentaba, sin embargo, el obstáculo de que Helmert (I, 4 págs. 473 sig.) obtuvo, sobre la base de la medida del achatamiento polar de la Tierra y sus momentos de inercia, una densidad de 11,2 a 11,6 para la parte central de la misma, no conciliable con la de 8,5 correspondiente al Nife ubicado en el núcleo.

Por vía algo diferente Stapff (I, 14) obtuvo la densidad de 11,7 coincidente muy satisfactoriamente con los valores de Helmert. Con tales valores debía modificarse apreciablemente el concepto de la constitución interna de la Tierra.

El desarrollo teórico del primero de estos autores fué el siguiente: (I.c. cap. 6; párrafo 8 trata "Momentos de la inercia de la Tierra y el aumento de la densidad hacia su interior"). En su exposición parte de la medida del achatamiento polar, expresado por la fórmula.

$$\frac{K}{a_0^2} = 0,0010865, \text{ donde el achatamiento es}$$

$$0,003383 = 1/297,8 \text{ y donde } K = (C - \frac{A+B}{2}) : M, \text{ siendo (1)}$$

do A, B, C los momentos de inercia (fx, y, z)

a_0 = el eje ecuatorial de la Tierra

M = la masa de la Tierra

obteniéndose $C - A = 0,0010865 a_0^2 M$

De la precesión y nutación, o sea del movimiento diurno mensual de eje en el interior de la Tierra resulta:

$$\frac{C - A}{C} = 0,03272 \quad (2)$$

Dividiendo (1) y (2) se tiene:

$$C = 0,3321 a_0^2 M$$

$$\text{y } A = 0,3310 a_0^2 M \quad (3)$$

Ya ha sido demostrado (ib. p. 127) que la ecuación (1) no corresponde a un elipsoide de rotación homogéneo de igual masa M y del mismo radio ecuatorial a_0 de acuerdo con los resultados de observaciones pendulares. La ecuación insinúa un paulatino aumento de la densidad hacia el interior. La verosimilitud de este concepto aumenta con la ecuación (2) que conduce con (1) a la (3). Un elipsoide de rotación homogéneo obedecería, según lo expresado en la pág. 126 del mencionado trabajo de Helmert, a la fórmula siguiente:

$$C = 0,4 a_0^2 M$$

Se puede ensayar la representación de la densidad de la Tierra como función de la distancia del centro de gravedad y la Tierra como esfera estratificada homogéneamente. Para la solución de este problema se dis-

pone de la parte sólida, superficial de la Tierra, de la densidad media de su cuerpo y de las ecuaciones (3) asociadas:

$$C = 0,332 a_0^2 M \quad (4)$$

A la distancia "s" del centro, la densidad será

$$\theta = \theta_c (1 + a_1 \left(\frac{s}{a_0}\right)^2 + d_2 \left(\frac{s}{a_0}\right)^4) \quad (5)$$

En esta expresión θ_c significa la densidad en el centro; además ella tiene en cuenta que $d\theta$: da desaparece para $a = 0$. Para sacar provecho de la ecuación (4), debe calcularse M y C en una esfera estratificada homogéneamente.

Para un anillo de rotación con los radios límites a y a_0 da y la densidad H la masa es:

$$dM = 4\pi \theta a_0^2 da$$

y, en consecuencia la masa de una esfera de radio a_0 es

$$M = 4\pi \int_0^{a_0} \theta a^2 da$$

Introduciendo la expresión (5), se obtiene

$$M = \frac{4}{3} \pi \theta_c a_0^3 \left(1 + \frac{3}{5} d_1 + \frac{3}{7} d_2\right) \quad (6)$$

En vista de que el momento de inercia de una esfera homogénea de radio a y de densidad h es:

$$\frac{8}{15} \pi \theta a^5,$$

el momento de inercia de un anillo de rotación con los radios-límites a y a_0 da es:

$$dC = \frac{8}{3} \pi \theta a^4 da$$

En consecuencia, el momento de inercia de una esfera estratificada de radio a_0 , es:

$$C = \frac{8}{3} \pi \theta a_0^4 da$$

Considerando (5) se tiene:

$$C = \frac{8}{15} \pi \theta_c a_0^5 \left(1 + \frac{4d_1}{7} + \frac{5d_2}{9}\right) \quad (7)$$

Antes de introducir este resultado en (4), conviene mencionar la relación:

$$M = \frac{4}{3} \pi \theta_m a_0^3 \quad (8)$$

De (4), (7) con (8) y surge:

$$\theta_c \left(1 + \frac{5d_1}{7} + \frac{5d_2}{9}\right) + 0,830 \theta_m,$$

además de (5) y (8):

$$\theta_c \left(1 + \frac{3d_1}{5} + \frac{3d_2}{7}\right) = \theta_m \quad (9)$$

y de (5), siendo $a = a_0$:

$$\theta_c (1 + d_1 + d_2) = \theta_0$$

Sustituyendo por pares, se tiene:

$$\begin{aligned}\theta_c d_1 &= \frac{1}{16} (32,9 \theta_m - 140 \theta_o) \\ \theta_c d_2 &= \frac{1}{16} (-51,03 \theta_m + 126 \theta_o) \\ \theta_o &= \frac{1}{16} (18,13 \theta_m + 30 \theta_o)\end{aligned}\quad (10)$$

Siendo $\theta_m = 5,6$ y $\theta_o = 2,8$; se tiene:

$$\begin{aligned}\theta_c d_1 &= -12,985 & d_1 &= -1,12 \\ \theta_c d_2 &= +4,189 & d_2 &= +0,36 \\ \theta_c &= +11,595\end{aligned}$$

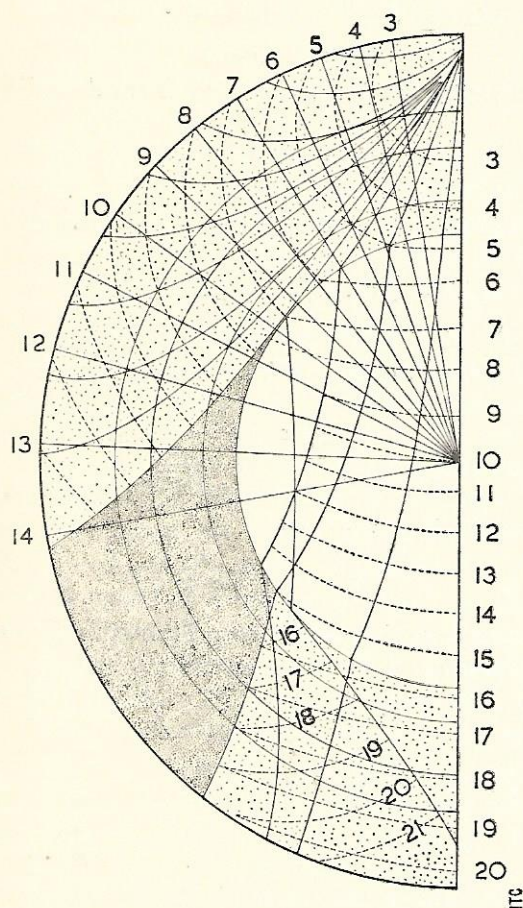


Fig. 1

REFERENCIAS

Superficies con puntos ralos: Mantos sólidos o altamente viscosos.

Superficies con puntos densos: Sombras del núcleo.
Semicírculo blanco. Núcleo.

Curvas de inflexión varias: Recorridos de ondas sísmicas.

Circunferencias concéntricas: Límites de los mantos a 1200, 1700, 2450 y 2900 km de profundidad

Radiales: Son trazados hacia los puntos de emergencia de ondas que han tenido un tiempo de recorrido de 3,4... minutos

Líneas cortadas: Isocronas de recorrido de las ondas
Cifras: Tiempos de recorrido en minutos

en consecuencia es $= 11,6 \left\{ 1 - 1,12 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 + 0,36 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \right\}$

Siendo $= 5,6$ y $= 0,8$, son $= -11,234$ $d_1 = -1,00$
 $= +2,614$ $d_2 = +0,036$
 $= 11,220$

$$= 11,2 \left(1 - \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 + 0,23 \left(\frac{a}{a_0} \right)^4 \right)$$

Interpolando rectilíneamente el aumento de densidad hacia el interior, se tiene: Superficie 2,6 a 2,8. A los 1592 km (1/4 de radio) de 5,6 a 5,7. En 3184 km de 10,3 a 10,8 y a los 6370 km de 11,2 a 11,6. Se verá (1/2 radio) de 8,5 a 8,6. A los 4176 km (3/4 radio) que en esta interpolación rectilínea de valores se asemeja un tanto a los que se obtendrán luego, al considerar como estratificada la composición de los anillos de rotación del interior de la Tierra. En la época en que Helmert efectuó su trabajo se desconocía aún la existencia de un núcleo debajo de los 2900 km de profundidad y en consecuencia las demás superficies de discontinuidad, reveladas luego a principios del siglo, por las observaciones sismológicas.

b) Reconocimientos sismológicos.

El estudio de la sismicidad de la Tierra comenzó en los últimos años del siglo pasado y en los primeros del actual; trajo consigo el reconocimiento de la existencia de varias superficies internas de discontinuidad, de las cuales la más importante resultó ser la del nivel situado a los 2900 km, de profundidad, correspondiente a la superficie del núcleo. (fig 1) diseñada según Sieberg. (1,12)

Velocidades de recorrido de las ondas desde el epicentro C al punto de emergencia 3', 4'... 14'

	Tiempo	Longitud de la cuerda en kilómetros	Recorrido en minutos	Velocidad Km/seg
Cuerda C	— 3'	= 1249	3	6,9
	— 4'	= 1790	4	7,3
	— 5'	= 2404	5	8,0
	— 6'	= 2920	6	8,2
	— 7'	= 3618	7	8,5
	— 8'	= 4375	8	8,8
	— 9'	= 5164	9	9,4
	— 10'	= 6006	10	10,0
	— 11'	= 6892	11	10,4
	— 12'	= 7690	12	10,7
	— 13'	= 8008	13	11,5
	— 14'	= 10009	14	11,9

Siendo las cuerdas rectas y las trayectorias ligeramente curvas, las velocidades son algo mayores. La diferencia es escasa y ha sido compilada por diversos autores mediante construcción gráfica de las trayectorias.

La velocidad media de las ondas longitudinales que atraviesan el núcleo, se deduce del tiempo de recorrido de la onda a lo largo del diámetro de la Tierra, desde C al punto antípoda, que es de 20'25".

Si usamos para el tiempo de recorrido a través de los mantos extranucleares el valor obtenido en el cuadro precedente y si redondeamos los 11,9 km/sec en 12 km/sec, los 3470 km del radio del núcleo son recorridos en

$$\frac{6370 \cdot 10,5'' - 2900 \cdot 12''}{3470} = 9,2' \text{ en término medio.}$$

Al aumentar la temperatura desde el borde del núcleo hacia el centro, la velocidad de la onda aumenta a su vez, de modo que en este borde será algo menor que el término medio obtenido y en el centro algo mayor. Sieberg admite 8,5 km/sec y 11 km/sec respectivamente.

En consecuencia y siendo la velocidad de la onda longitudinal de 12 km/sec en el lado exterior del límite y de 8,5 km en el lado interior, ella se refracta hacia el interior del núcleo con un ángulo de:

$$\frac{8,5}{12} = \frac{\sin x}{\sin 90^\circ} = 0,7250 = 43^\circ 28'$$

ángulo que está comprendido entre la normal a la circunferencia de corte con la superficie del núcleo, con el plano del dibujo, que es el determinado por las trayectorias de los rayos incidentes y refractados, contenidos en el círculo de meridiano del que forma parte el punto tangente. De ello se desprende, para emplear una expresión corriente, haciendo abstracción de las excepciones existentes, que el núcleo es materia menos densa que los mantos superiores a él.

La onda incidente se refracta hacia el interior del núcleo, lo atraviesa y emerge de él, abandonando la superficie del mismo en el punto de emergencia, en forma tangencial. En consecuencia, la faja de la esfera de la Tierra comprendida entre el círculo que contiene los puntos de emergencia de los radios vectores tangentes al núcleo y el de los puntos de emergencia de los radios vectores refractarios que atraviesan el núcleo y cruzan su límite normalmente a éste, no recibe vibraciones procedentes del foco del terremoto, por encontrarse en el ámbito denominado "sombra del núcleo".

Los cálculos precedentes han sido afinados sobre la base de multitud de observaciones registradas por los sismógrafos. Las curvas de las trayectorias han sido

construidas gráficamente por Wiechert (I, 16, Zöppritz (I, 18) y Gutenberg (II, 18, 19), y calculadas por el primero y el último de estos autores. Según Gutenberg, los puntos de inflexión de las curvas se encuentran a las siguientes profundidades:

Para ondas que emergen a la distancia expresada en grados	El punto de inflexión se halla a la profundidad de km.	Su refracción es sen i_0
0	0	1,000
10	1110	0,922
20	2220	0,763
30	3330	0,614
40	4440	0,494
50	5550	0,485
60	6670	0,479
63*	7000	0,433
67*	7440	0,424
68	7550	0,426
75	8100	0,408
76*	8440	0,336
77	8550	0,383
81,5	9050	0,334
90	10000	0,327

* Para ondas que han tocado una superficie de discontinuidad.

Sobre esta base Sieberg (I, 12) armó el siguiente cuadro del interior de la Tierra:

Nivel	Designación	Velocidad de las ondas longitudinales
0 km	Superficie terrestre	5,6 km/seg
	Corteza terrestre	5,9
	Límite entre Sial y Sima.	
60 km	arriba	5,9
	abajo	8,9
	Sima	
1200 km	Límite entre Sima y Barisfera	
	Barisfera superior	12,5
1700 km	Límite entre Barisfera inferior y superior	
	Barisfera inferior	12,75
2450 km	Límite entre Barisfera inferior y Capa intermedia ..	
	Capa intermedia	13,25
2900 km	Límite entre la Capa intermedia y el Núcleo	13,00
	arriba	8,5
6370 km	Centro	abajo 11,00 km/s

De ello se deduce como lógica consecuencia, que las superficies de discontinuidad correspondían a mantos o anillos de rotación de diferente composición, y permitiendo así articular el interior de la Tierra de estas maneras:

Masa de la Tierra - (Masa del Sima + Masa del Manto de Oxidos y Sulfuros) = Volumen del Núcleo

Densidad del Núcleo

$$a) \frac{[59,554 - (5,04 \cdot 3 + 4,038 \cdot 6)] \cdot 10^{11} \text{ km}^3}{1,75 \cdot 10^{11} \text{ km}^3} = 11,5$$

$$b) \frac{[59,554 - (5,04 \cdot 3,2 + 4,038 \cdot 6)] \cdot 10^{11} \text{ km}^3}{1,75 \cdot 10^{11} \text{ km}^3} = 11$$

Si bien estas magnitudes de las densidades se hermanan perfectamente con las que fueron obtenidas por Helmer y Stappff, distan mucho de asemejarse a la densidad del Nife, que llega apenas a 8,5.

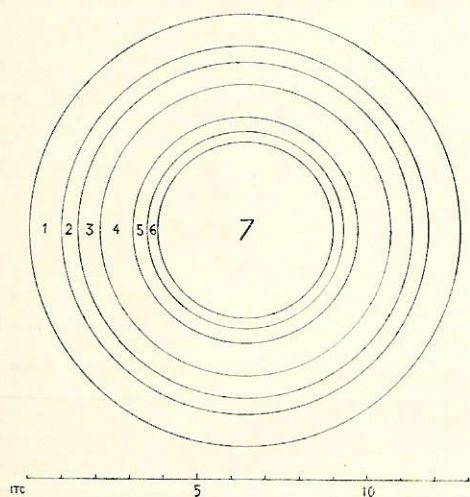


Figura 2

No es posible salvar este inconveniente mediante la suposición de que esta densidad de Fe y Ni haya podido ser aumentada por presiones cualesquiera, ejercidas por la masa de los mantos suprayacentes porque el Fe resiste una carga de 22.000 kg/mm² o sea 2, 2·10⁶ atm/cm² y esta resistencia es considerablemente mayor que la carga. Por otra parte, la aceleración gravitacional en el centro de la Tierra es igual a cero y, por lo tanto, también la carga. Dicho resultado se agrega el efecto de arco de los mantos superiores, el que tiende a anular las presiones exteriores.

No es posible, consecuentemente, admitir el Nife como componente del núcleo. Además, tal exclusión resulta definitiva a causa de la circunstancia de que el núcleo anula las ondas sísmicas transversales, indicio fehaciente de gases en su constitución.

En el supuesto caso de que el gas fuese nitrógeno —lo que es muy verosímil, dada la abundancia del mismo en las atmósferas de la Tierra y de los plane-

tas—, para tener una densidad de 11,6, proporcionalmente mayor, es decir 10.000 mayor que a la presión de 76 cm. Hg. (según el número de Loschmidt "N₁") es necesario que la cantidad de moléculas contenidas en un cm³. sea aproximadamente de 2,6 x 10²³.

La presencia de gas es exigida por la anulación de las ondas transversales sísmicas; ella ha de ser debida a suministro desde sustancias radioactivas contenidas en el núcleo y en el manto que lo circunda directamente, llamado "manto de transición". Se agregaría, pues, al núcleo continuamente nuevo gas, al desintegrarse estas sustancias. El núcleo consiste en materia solar en actividad.*

DISTENSION DE LA TIERRA

Estando el núcleo de la Tierra constituido por materia solar o nebular, da lugar a movilidad y otras manifestaciones energéticas. Si lo formase Fe y Ni, sería inerte. Los fenómenos que se observan en el sol tendrán lugar —en menor escala— en el núcleo, donde se hallan confinados en un recipiente que encierra hoy la porción activa de la Tierra, esto es, las sustancias radioactivas que constituyan primitivamente todo el planeta. Es de admitir que ellas se hayan distribuido conforme con su densidad. De ello es testimonio el aumento de densidad hacia el interior. De la desintegración de las sustancias más livianas se habría formado la corteza, compuesta de materiales "litófilos": 8 O 16, 14 Si 28, 13 Al 27, 11 Na 23, 19 K 39 y 20 Ca 40 que, sumados, dan el elemento de número de orden 85 y de peso atómico 174. Kober (I, 6) llamó la atención sobre el hecho de que este elemento "no existe", porque se ha desintegrado, acaso, en O, Si, Al, Na, K, Ca. Al agregar ₂ He se tiene el elemento 77 con peso atómico 177, que tampoco figura en la tabla del sistema periódico. El peso atómico del elemento 85 estaría más o menos en 217 y el del elemento 87 en 223. Para el elemento 85 hay una diferencia de 44 neutrones. Se puede admitir que se libran 44 neutrones,

* La idea de que el interior del globo terráqueo consiste en gas ya había sido concebida por los griegos. La hicieron suya: Humboldt (I, 5), Franklin (I, 1), Lichtenberg (I, 7), Spencer (I, 13) a principios del siglo pasado y fué expresada nuevamente por Woodward (I, 17) e ilustrada por él con la figura 3. En ella se tiene:

- | | |
|----------|---|
| 0 km | |
| - 775 km | 1) Corteza sólida. |
| -1375 km | 2) Zona de plasticidad. |
| -2010 km | 3) Zona de fluidalidad espesa. |
| -2945 km | 4) Masas flúidas. |
| -3280 km | 5) Zona de transición de líquido a gaseoso. |
| -6370 km | 6) Zona de los gases mixtos. |
| | 7) Esfera central del gas monatómico. |

cuando se desintegra el elemento en O, Si, Al, Na, K, Ca. En el caso del elemento 87 se habría liberado fuera de los 40 neutrones y los elementos indicados, todavía He. Los neutrones pueden haber desempeñado el papel de los neutrones de una reacción artificial en cadena.

Sucesivamente se habrían desintegrado otros elementos de creciente peso atómico, y se habrían formado los demás mantos de la Tierra. El proceso sigue aún, como lo indican las manifestaciones de las "fuerzas endógenas".

AUMENTO DE VOLUMEN POR DESINTEGRACION

La desintegración trae consigo un aumento de volumen. Como ejemplo puede citarse el del U y sus derivados. Su densidad es 18,4, y la de su derivado el Pb, de 11,3; el aumento es de 1,6 veces. Su producto final, digamos estable, es PbS con $d=7,6$ y con un volumen 2,5 veces mayor que la substancia inicial.

Joliot Curie obtuvo por bombardeo del U con neutrones, Mo y Ba, con $d=9,8$ y $3,6$ de volumen doble y más de cinco veces mayor, respectivamente.

Dado que las substancias radioactivas del núcleo no se han agotado aún, el proceso de distensión no ha llegado a su término. En vista de que en el proceso de desintegración se generan también gases, éstos también actúan como agentes que contribuyen a la distensión, y sobre todo en lo que respecta a la movilidad interna de la Tierra.

Una compulsa de los datos referentes a la medida de la Tierra en tiempo, de su corteza siálica intacta y coherente y su confrontación con la actual, da una relación muy semejante entre volumen inicial y final a la que anotamos para diversos productos de desintegración U.

MEDIDA DE DISTENSION DE LA TIERRA EN TIEMPO GEOLOGICO

Desde los albores de los estudios geológicos se ha considerado a las porciones siálicas de la corteza terrestre, como trozos de su corteza primitiva de "enfriamiento".

Se admitía, entonces, que esta corteza primitiva, siálica, estaba presente en todas partes, también en los fondos oceánicos y que allí se encontraba por haber sido hundida en graben.

Pero los estudios sismológicos demostraron que ello no corresponde a la realidad y que el sial falta, por de pronto, en la cuenca del Pacífico central y occidental. A este conocimiento condujo por primera vez

a principios del siglo, el análisis del terremoto de las Kuriles, que permitió establecer que las ondas superficiales largas, recorrían el fondo oceánico, sísmico, más velozmente que las que tenían como vehículo la corteza siálica de Asia, como lo prueban los siguientes valores:

Desde las Kuriles a	Ondas largas	Ondas máximas primeras	Ondas máximas segundas
Apia por fondo sísmico	4,68 km/sec 3,78 km/sec	4,04 km/sec 3,27 km/sec	3,74 km/sec 2,91 km/sec
Tiflis por sial			

Después que Wegener (I, 15) reconoció que en los fondos oceánicos no existía, por regla general, el sial y que en ellos asoma el sima, este conocimiento se ha hecho un bien común y ha sido confirmado ampliamente por observaciones sismológicas posteriores (ver II, pág. y fig. 4).

Además, mediciones de gravedad sobre océanos, efectuadas por Hecker (II, 28, 28a) y por Vening Meinesz (II, 43) permitieron saber que, pese al defecto de volumen no había defecto de masa, sino hasta un ligero excedente de 0,045 a 0,060 miligales en término medio. No había, pues, tal sial en los fondos oceánicos, como es fácil cerciorarse.

De acuerdo con la fórmula de Bouguer, que es:

$$g_o'' = g - \frac{2h}{e} + \frac{3Dh}{2dr}$$

donde r es el radio de la Tierra g (aceleración de la gravedad) = 981, h la profundidad oceánica, d la densidad de la Tierra y D la densidad del agua de mar = 1,035, el defecto de masa llegaría a 1335 miligales.

En consecuencia, los fondos oceánicos deben estar compuestos por materiales más densos que el sial, vale decir por sima. Las "ventanas sísmicas" se desarrollan debajo de la isóbata de los 4800 a 5000 m. Wegener había reconocido mediante una estadística de la frecuencia de niveles, el carácter del relieve de los fondos oceánicos, notables por su superficie llana. También llegó a igual conclusión por cálculos isostáticos, basados en el equilibrio entre las masas continentales siálicas y los fondos oceánicos sísmicos.

El autor de estas líneas extendió el procedimiento regionalmente al Atlántico y Pacífico, para reconocer las dorsales comprendidas en su perímetro. En la dorsal central atlántica, los volcanes superpuestos han traído a la superficie xenolitos de gneises, granitos, y de otras rocas cristalinas, siálicas; en otras dorsales, p.e. en la del Albatros, acontece lo mismo, como muestra

p.e., una compulsa de la "Geology of the British Empire" de Cowper Reed (II, 32).

Sobre la base

- 1) de la relación de isostasia reinante entre las dorsales y el sima de las profundidades oceánicas
- 2) del espesor de 30 km de las lajas continentales de superficie situada a 0,5 km sobre el nivel del mar, tal como lo indican los resultados sismológicos modernos.
- 3) de una diferencia de densidad entre ambos ambientes de 0,3 a 0,4 a favor del sima.

El autor de estas líneas obtuvo los siguiente valores:

Cuando el nivel de la superficie de la dorsal está a	Espesor de la laja de la dorsal siendo $\rho = 0,3$	Espesor de la laja de la dorsal siendo $\rho = 0,4$
-0,2 km	38 km	25 km
-1 km	32 km	20,7 km
-2 km	24 km	15,5 km
-3 km	15 km	10,3 km
-4 km	7 km	5,6 km
-5 km	0 km	0 km

Admitiendo que, en el caso de las dorsales, se trata de sial adelgazado por distensión, excepcionalmente también por fusión, esto es, de porciones primitivamente normales de masas continentales, es posible reconstruir su área original, multiplicando su área actual por los coeficientes siguientes:

Nivel de superficie de la dorsal	Coefficiente
-0,2 km	0,85
-1 km	0,7
-2 km	0,5
-3 km	0,3
-4 km	0,15

Restituyendo a las lajas siálicas existentes las áreas de las dorsales en su forma primitiva, se obtendría la superficie continental original y de esta manera la superficie de una tierra con su cubierta siálica intacta, tal como se indica a continuación:

$$\begin{array}{lcl} \text{Superficie de los con-} & + & \text{Superficie de las} = \text{Superficie de la} \\ \text{tinientes actuales} & & \text{dorsales recons-} & & \text{corteza siálica} \\ & & \text{tituidas} & & \text{primitiva} \\ 150.000.000 \text{ km}^2 & + & 65.000.000 \text{ km}^2 & = & 220.000.000 \text{ km}^2 \end{array}$$

De ello se deduce para la Tierra un radio de unos 4200 km, un volumen de $3,13 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$ y una densidad de 19 a 20, admitiendo que la masa total haya quedado constante con $59,55 \cdot 10^{11} \text{ kmt}$.

Ello significa que la casi totalidad de la Tierra estaba aún constituida por sustancias radioactivas desintegrables, heredadas de su estado solar o nebular.

Se exceptuaría de ese cuadro la corteza, compuesta de elementos "litófilos". Es verosímil que también gran parte del sima haya existido en esta época.

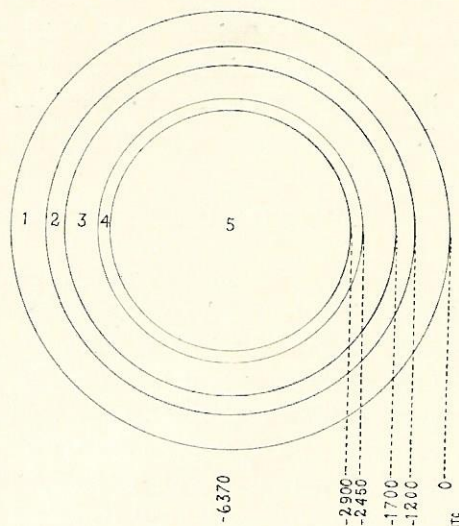


Figura 3

Como ya se insinuó, la edificación de la Tierra se habría producido, pues, de afuera para adentro; conservándose aún en el núcleo las sustancias radioactivas remanentes. De acuerdo con los ejemplos citados de la transformación sucesiva: $U - Pb - PbS$ y la de $U - Mo - Ba$, tuvo lugar un aumento de volumen; generalizando, resulta que en todos los casos de otras desintegraciones y transformaciones tuvo lugar un aumento de volumen y una disminución de la densidad de los productos finales, y una distensión del cuerpo celeste y, en consecuencia, de la Tierra; a tal efecto contribuyeron, a su vez, los gases nacidos de la desintegración. Ellos quedaron ocluidos en el interior y pudieron, a través del tiempo, obedecer cada vez menos a su tendencia huidiza, a medida que aumentó la solidez y el espesor del recipiente. Se ha dicho que el aumento de volumen de los derivados de U oscilaba de 1,6 a 5,1. Al confrontar el volumen de la Tierra en tiempo de la coherencia de la corteza siálica, que era de $3,13 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$, con la actual, que es de $10,828 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$, vemos que el aumento de volumen es de 3,4 veces el original, o sea aproximadamente igual al término medio señalado para los derivados de U .

Sobre estos datos puede ser confeccionado otro esquema de la constitución del interior de la Tierra:

Como marco se tiene: las superficies de discontinuidad, el volumen y la masa de la Tierra.

En el transcurso de la discusión se reunirá el manto radioactivo con el núcleo en una comunidad precaria.

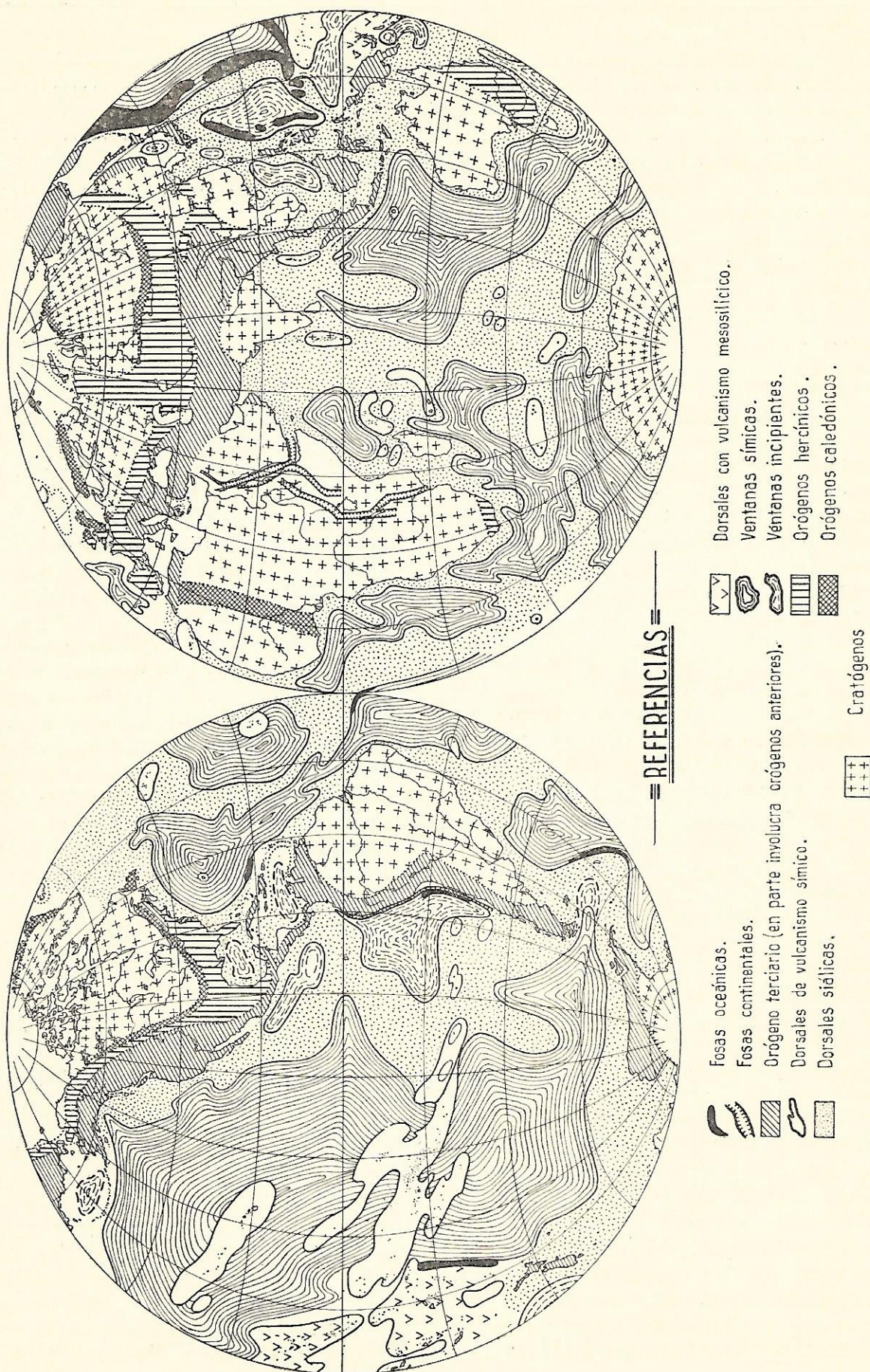


Figura 4

Niveles de discontinuidad	Ambientes	Volúmenes	Densidades	Masas en kmt
0 km	Manto silicatado	5,040-10 ¹¹ km ³	3,5	17,640-10 ¹¹
-1200 km	Barisfera superior	1,522-10 ¹¹ km ³	6,0	9,132-10 ¹¹
-1700 km	Barisfera inferior	1,743-10 ¹¹ km ³	8,5	14,815-10 ¹¹
-2450 km	Manto radioactivo	0,773-10 ¹¹ km ³	19,5	15,735-10 ¹¹
-6370 km	Núcleo	1,750-10 ¹¹ km ³	1,275	2,232-10 ¹¹
Total =		10,828-10 ¹¹ km ³		59,554

MANTO SILICATADO

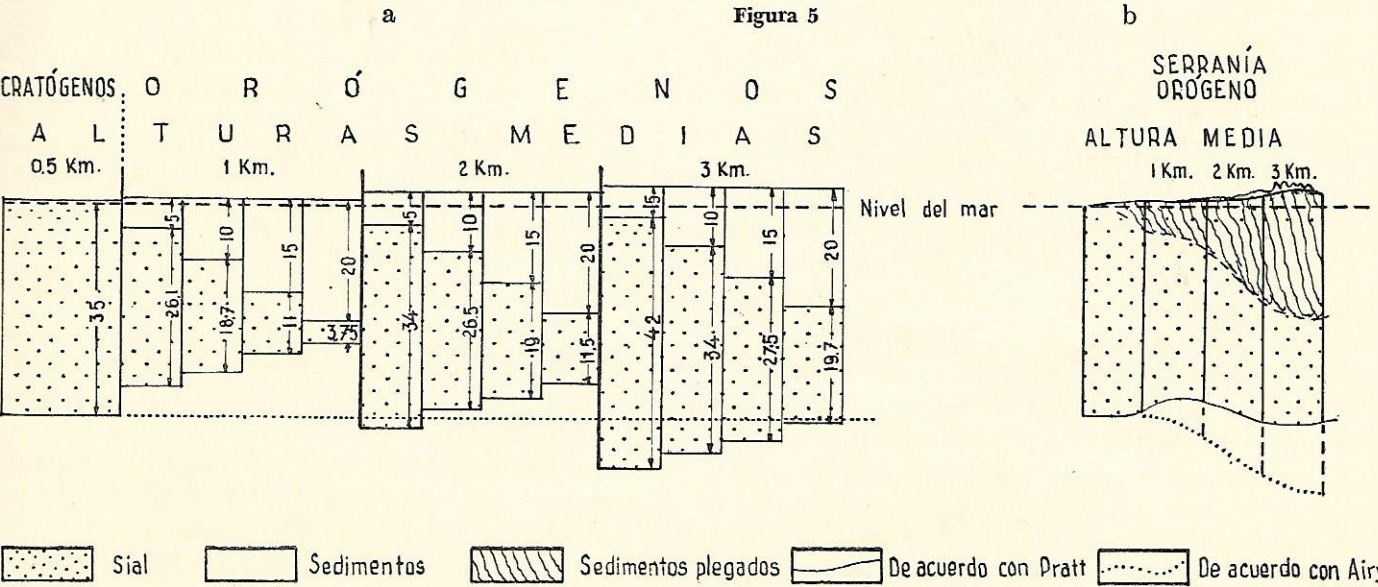
Como manto superior, situado entre los 0 y -1200 km, se considera el silicatado, cuya porción superior sílica es accesible a la observación directa, a causa de las deformaciones y los desplazamientos verticales de orden tectónico que ha sufrido. Su espesor ha sido determinado sismológicamente, término medio, en 35 km. El nivel de discontinuidad que lo delimita hacia abajo es la llamada superficie de Mohoroviciv (I, 8), quien la estableció como límite inferior del sial de los Alpes Orientales a raíz de su estudio sobre el sismo de Agram. Para la región la fijó en -40 km, irregularidad local, debida a la protuberancia compensadora de la masa de los Alpes.

Ante la existencia del equilibrio isostático, comprobado por mediciones gravimétricas ubicuitarias y casi perfecto, pese a los desniveles orográficos, Pratt admitió una menor densidad para las regiones elevadas, de manera que su base podía hallarse en un plano;

Airy, en cambio, admitió un espesor mayor del sial en tales regiones. Las observaciones sismológicas dan como límite inferior, como dijimos, -35 km y pocas variantes en cuanto a su ubicación, de modo que su trazado se ajusta en mayor grado a lo analizado por Pratt, teniendo la teoría de Airy a su vez su ingerencia.

La figura 5 ilustra tales ingerencias y ha sido calculada sobre la diferencia de densidades 0,4 entre el sial de los cratógenos (d = 2,7) y del sima (d = 3,1) y el espesor normal del primero de 35 km. Una variable participación de sedimentos (d = 2,5) en la constitución del sial de las cadenas de plegamiento influye en el espesor compensador de la altura de una cadena, de la cual se considera, desde luego, el valor medio.

En tal cadena de plegamiento abulta el espesor primitivo de los sedimentos en tanto mayor grado, cuanto mayor es la altura de la misma. Se combinan, pues, los espesores del sial, columnas (1), (2) y (3) de la figura 5a, reunidas en fig. 5b.



Se observa que, en efecto, el nivel de equilibrio y el espesor del sial no se alejan mayormente de los -35 km de acuerdo con la teoría de Pratt. Se puede observar la diferencia de la "teoría de las raíces" de Airy a la que corresponde el trazado del límite inferior por línea de puntos. (Ver tb. II, 14).

El sial representa aproximadamente el 1 % del manto silicatado. El grueso del manto es símico; aflora en los fondos oceánicos y forma el substratum de las lavas continentales, siálicas.

Según investigaciones modernas, posee una "piel" basáltica de 8-10 km de espesor. Donde existe sial adelgazado contiguo a los continentes, éste sustituye a la "piel" basáltica. Debajo de los continentes, el sima, situado entre la superficie de Mohorovicic y -300 km difiere algo del que se halla entre los mismos niveles debajo de los océanos. Me explico esta diferencia con la agregación de material siálico, debida a acarreo de tal material por ramas descendentes de corrientes convectivas que, en tiempos primitivos, eran casi ubicuarias al ser afectado tectónicamente todo el sial; las corrientes quedaron en tiempos posteriores restringidas a fajas de ancho decreciente, hasta angostas en los últimos períodos diastroficos.

La composición particular del sima subcontinental sería, pues, una herencia de tiempos primitivos en que la corteza siálica era mayormente coherente.

Debajo de los océanos, el sima "normal" ocupa el espacio entre los -15 km hasta los -700 km y debajo de los continentes entre los -300 y -700 km.

Debajo de los -700 km es plástico y se extiende hasta los -1200 km. (ver Benioff II, 5).

La composición del sima "normal" se tiene por dunítico-limburgítico. Sus minerales representativos son: Piroxenos con $d = 3,5$, anfíboles con $d = 3,3$, olivinas con $d = 3,3$, magnetita con $d = 3,8$. El sima sería semejante a las chondritas de los meteoritos pétreos; su densidad es mayor que 3,5.

Se atribuye, pues, al sima una densidad media de 3,5.

BARISFERA SUPERIOR

La barisfera superior se halla entre los niveles de -1200 y -1700 km. Se la considera constituida por sulfuros y óxidos de metales pesados, estando presentes los segundos en menor proporción y ocupando una posición superior, sin que haya separación neta. Sus testigos estarían constituidos por los yacimientos metalíferos calcófilos que vemos expelidos como "bonanzas" del cuerpo de los macizos intrusivos mesosilícicos, donde son accesibles a nuestra observación. La expulsión se debe a que se trata de entes extraños al ambiente litófilo hasta el que han sido arrastrados desde su sede primitiva, original, por desplazamientos

internos ascendentes, provocados por las "fuerzas endógenas", radicadas en el núcleo y dirigidas hacia las fajas afectadas tectónicamente por estas fuerzas. En ellas se desarrolla vulcanismo mesosilícico generado por mezcla de componentes símicos y siálicos, debida a la activación del primero por aportes de gases a alta temperatura desde la región nuclear. Es lógico suponer que entre los materiales aportados pueden contar porciones de la barisfera (superior).

Tales sustancias no pertenecen originariamente al sima, del que sabemos que es marcadamente estéril, tal como lo atestigua la ausencia de yacimientos metalíferos de las masas efusivas básicas de los ambientes oceánicos.

Los minerales representantes de la barisfera superior son: pirita con $d = 5,3$; calcosina con $d = 5,8$; arsenopirita con $d = 6,2$; galena con $d = 7,8$; entre los óxidos pueden citarse: hematita con $d = 5,7$; casiterita con $d = 7$.

Para la barisfera superior puede admitirse una densidad de 6.

BARISFERA INFERIOR

La barisfera inferior se halla entre los -1700 y -2450 km. Se la tiene por integrada por el material de los meteoritos metálicos, "níficos" o "fénicos" de Fe y Ni. Ya vimos que estos metales no pueden ser atribuidos al núcleo por su insuficiente densidad. No es tampoco verosímil que hayan formado parte alguna vez, del núcleo del planeta que se supone estallado, porque la desintegración repentina del mismo no puede haberse producido sino en el núcleo y éste no puede haber estado formado por material inerte como Fe y Ni. El hecho de que el espacio es cruzado por trozos de apreciable tamaño, por meteoritos metálicos, es indicio que Fe y Ni han formado el manto envolvente del núcleo capaz de expansión repentina y violenta, es decir gaseoso.

Los metales representativos son: Fe con $d = 7,8$; Ni con $d = 8,8$ a $9,2$; más Mn con $d = 8$; Cd con $d = 8,6$; Co con $d = 8,8$; Mo con $d = 8,6$; Bi con $d = 9,8$ etc., p. e.: Os con $d = 22,5$ y otros esporádicos.

La densidad puede fijarse en 8,5.

MANTO RADIOACTIVO Y NUCLEO

Este conjunto que se presenta a título precario, será analizado en las siguientes líneas. Al manto radioactivo correspondería una ubicación entre los -2450 y -2900 km. Por el momento concentramos en él los elementos radioactivos y le atribuimos una densidad de 19,5 la que obtuvimos para la Tierra, dotada aún de corteza siálica intacta. De acuerdo con ello, al núcleo corresponde una densidad de 1,275, más o menos

mil veces mayor que la del N en la superficie de la Tierra.

Se cita N por lo siguiente: tal como en el caso de los mantos suprayacentes, pueden buscarse los testimonios de la índole de los gases del núcleo en la superficie, en la atmósfera que se considera derivada, desde luego, de una fuente terráquea que no puede ser sino el conjunto de las sustancias radioactivas. Ateniéndonos también a las atmósferas de otros planetas, hemos de contar con la presencia de N, H, He, O, C más amoníaco, anhídrido sulfúrico, hidrocarburos, etc.

La densidad anotada del núcleo indica que el número de los Loschmidt sería de $2,7 \cdot 10^{22}$ en lugar de $2,7 \cdot 10^{19}$ número que rige para la superficie de la Tierra a presión normal. La temperatura que queda determinada adiabáticamente podría intentarse extrapolarla sobre la base de las experiencias hechas en los frentes alemán y francés durante la guerra de 1914/18, según las cuales la velocidad del sonido es de 330,8 m/sec a 0°C y de 339,8 m/sec a 15°C . Una velocidad de las ondas sísmicas longitudinales de 9 km/sec indicaría una temperatura de 15.000° .

Ateniéndonos a la fórmula:

$$p = \frac{m \cdot n \cdot c}{3V}$$

donde p = presión buscada del gas / cm^2 (tensión); n = número de moléculas en cm^3 ; m = masa de cada molécula; c = velocidad media de cada molécula y $c^2 = K$ = temperatura absoluta; V = volumen del recipiente, obtenemos una tensión de los gases del orden de los 1 a $1,5 \cdot 10^7$ atm/ cm^2 , algo superior a la rigidez del hierro que soporta presiones de $2,2 \cdot 10^6$ atm/ cm^2 .

Para equilibrar la tensión de los gases podrá recurrirse a la carga suprayacentes al núcleo, ya citada.

En ello debe tenerse en cuenta que la aceleración gravitacional decrece hacia el interior y que llega a cero en el centro. En una Tierra homogénea esta disminución sería rectilínea. Según el cómputo calculado por Helmert (I, 4) y por Weihrauch (II, 45) y el autor de este trabajo, el máximo de aceleración se encuentra a unos 800 km de profundidad y llega a $1005 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$. Si la aceleración gravitacional disminuyera desde este nivel sostenidamente hacia el centro, se tendría en el límite del núcleo la de $623 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$. Dadas las irregularidades en la distribución de las densidades anotadas en el cuadro precedente, se llega a este nivel a una aceleración de sólo $510 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$. En consecuencia simultáneamente disminuye el monto de la carga.

Subsistiría, pues, un apreciable exceso de la tensión de los gases sobre la carga contrastante.

En consecuencia, han de producirse desperfectos en la cohesión de los mantos sólidos de la Tierra; ellas tomarán la forma de fracturas que son las exteriorizacio-

nes de las fuerzas endógenas, de la actividad de los gases, durante el desenvolvimiento de la Tierra en tiempos geológicos. El aumento del espesor de los mantos envolventes debió repercutir en una disminución de tales manifestaciones, lo que es efectivamente el caso.

El aumento constante, aunque decreciente de la incorporación de gases, debida a la desintegración de sustancias radioactivas debe repercutir en una afeción de la cohesión de los mantos silicatados y barisférico.

Existen en la Tierra zonas habituales con pérdida de cohesión de los mantos; ellas se manifiestan por las llamadas "zonas de debilidad" en las cuales obran notablemente las "fuerzas endógenas". En vista de que los ambientes radioactivos y gaseosos se caracterizan por su gran movilidad, no es verosímil que exista una separación estricta y neta del manto compuesto supuestamente sólo por sustancias radioactivas y del ambiente gaseoso; será más propio admitir una interpenetración mutua y coexistencia.

Así lo insinúa la densidad de la parte nuclear obtenida por Helmert y Stapff. (ver pág.). En efecto, la suma de la masa del manto contiguo al núcleo más o menos la del núcleo, dividida por la suma de sus volúmenes, da una densidad media de 10,887 que es muy cercana a la que fué obtenida por estos autores y que es de 11,2.

AUREOLA DEL NUCLEO

El "manto radioactivo" ha de ser designado, pues, más propiamente con el de "aureola del núcleo", lo que se hermana mejor con el término "zona de pasaje" usado por Sieberg. Según Kober (1,6) debe contarse en el núcleo con "corrientes convectivas radiales continuas que se dirigen hacia la aureola y cuyo material vuelve al interior en forma de lluvia de partículas". Es factible admitir que parte de este material no regresa y que queda almacenado en la aureola. La disminución escasa de la velocidad de las ondas sísmicas de 13,25 a 13 km/sec desde el límite superior de este manto hacia su interior, indica una disminución ligera de densidad que se hace extrema en el límite del núcleo. Ello insinúa una agregación creciente de gases hacia el interior.

A la aureola corresponderían, pues, productos de desintegración nacientes y suministrados por las sustancias radioactivas del núcleo que son aportadas por las corrientes convectivas y que estarían entremezclados con gases. La aureola tendría, pues, el carácter de un manto en edificación y le correspondería un estado por el que han pasado con antelación los mantos suprayacentes (Núcleo en estado solar o de fisión).

El cuadro precedente de la distribución de las sustancias en el interior de la Tierra necesita, pues, un ajuste en cuanto a la aureola y al núcleo. A la aureo-

la adjudicaremos los materiales de un manto en formación de una densidad algo inferior a 11 y al núcleo elementos radioactivos en gas procedente de desintegraciones de épocas anteriores y en formación. Su densidad, algo superior a 11 y las que hemos obtenido en el cuadro para los gases y los elementos radioactivos, 1,25 y 19,5 respectivamente, permiten admitir que el núcleo está compuesto más o menos por partes iguales de gases y elementos radioactivos.

DESARROLLO FUTURO DE LA TIERRA Y FIN DE LA DISTENSION

La distensión proseguirá hasta el agotamiento de esta reserva dado que hay todavía un volumen de unos $0,85 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$ de sustancias radioactivas en el núcleo.

Lo expuesto permite mejorar la redacción del cuadro de la constitución interna de la Tierra de la manera siguiente:

Niveles de discontinuidad	Ambientes	Volúmenes en 10^{11} km^3	Densidades	Masas en 10^{11} km^3
0 km	Manto silicatado	5,040	3,5	17,640
-1.200 km	Barisfera superior	1,522	6,0	9,132
-1.700 km	Barisfera inferior	1,743	8,5	14,815
-2.450 km	Manto en agregación	0,773	10,8	8,363
-2.900 km	Núcleo, materia solar	1,750	11,2	19,600
		10,828		59,550

Si usamos el coeficiente 3,14 que resultó de la distensión acontecida desde el tiempo en que la tierra poseía aún una corteza sílica coherente e intacta, el volumen del globo terrestre debe aumentar todavía en

$$0,85 \cdot 10^{11} \cdot 3,14 \text{ km}^3 = 2,669 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$$

a $13,497 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$, en términos redondos

$$\text{a } 13,5 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$$

y tendrá

$$4,4 \text{ de densidad}$$

$$6,857 \text{ km de radio}$$

$$5,908 \cdot 10^8 \text{ km}^2 \text{ de superficie}$$

$$846 \text{ cm/sec}^2 \text{ de aceleración gravitacional en}$$

$$\text{la superficie } 43.080 \text{ km de longitud del ecuador}$$

$$25\text{h}49' \text{ de duración del día en el ecuador}$$

Si ubicamos el comienzo de la dispersión de la corteza sílica, esto es de la pérdida de su cohesión, entre Proterozoico inferior y superior, a $8 \cdot 10^8$ años de distancia, faltarán todavía 277.000.000 años para llegar al término de la distensión, es decir un período semejante al que comprende Antracolíico, Mesozoico, Terciario y Cuaternario. Si hacemos empezar la dispersión del síal con el Proterozoico Inferior, el lapso de tiempo aumenta a 380.000.000 años.

ERA DE CONTRACCION

Una vez agotada la existencia de los elementos radioactivos, la dilatación de la Tierra entra en receso. La distensión se trueca en contracción. En primer término, los gases se incorporan a la atmósfera exterior.

El sostén que su tensión ha dado a los mantos, cede y la gravitación aumenta con la reducción del radio en las partes cercanas a la superficie. Las sustancias existentes son substituídas por metasomatosis por otras más densas y se hace verosímil un desarrollo de un nuevo sistema periódico de elementos, tal como lo vislumbró Kober.

El desenvolvimiento de la Tierra sería, pues, cíclico y tendería en esta segunda etapa de regresión hacia la densificación de la materia que desembocó, en el caso del acompañante de Sirio en $d = 50.000$.

BIBLIOGRAFIA

- 1) FRANKLIN, W. Conjectures concerning the Formation of the Earth. Transact. of the Society of Philadelphia.
- 2) 1889 GÜNTHER, S. Die Entwicklung der Lehre vom gasförmigen Innern der Erde. Jahrb Geog. Ges. München XIV.
- 3) 1897 GÜNTHER, S. Handbuch der Geophysik. I Stuttgart.
- 4) 1884 HELMERT, F. R. Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie II. Leipzig Teubner.
- 5) HUMBOLDT, A. v. Kosmos I.
- 6) 1949 KOBER, L. Vom Bau der Erde zum Bau der Atomc. Viena. Universum.
- 7) 1818 LICHTENBERG - GAMAUER Erinnerungen an Vorlesungen.
- 8) 1909 MOHOROVICH, S. Das Beben von Sten Oktober. Jahrbuch d. meteorologischen Observatorium's von Zagreb.
- 9) 1914 MOHOROVICH, S. Die reduzierte Laufzeitkurve und die Abhängigkeit der Herdtiefe eines Bebens von der Entfernung des Inflexionspunktes der primären Laufzeitkurve. I die Ausbreitung der Erdenbebenstrahlen, in den obersten Schichten der Erde. Beitr. z Geophysik XII, XIV.
- 10) 1687 NEWTON, J. Principia naturalis philosophiae mathematicae. London III/IV.

- 11) 1879 RITTER, A. Anwendungen der mechanischen Wärmetheorie auf kosmologische Probleme.
- 12) 1928 SIEËRG, A. Erdbebenkunde, Jena. Fischer.
- 13) SPENCER, H. The form of the Earth no proof of original fluidity. Philosophical Magazine (Z) XXX.
- 14) 1902? STAPFF, F. Über die Zunahme der Dichtigkeit der Erde nach dem Erdinnern. Gerl. Beitr. z.
- 15) 1915 WEGENER, A. Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig. Vieweg.
- 16) 1910 WIECHERT, E. Bestimmung des Weges der Erdbebenwellen im Erdinnern. Physik. Zeitschr. XI.
- 17) 1894/5 WOODWARD, The condition of the interior of the Earth. Transac. Acad. New York. 19.
- 18) ZOEPFPRITZ, Über Mittel und Wege zur besseren Kenntnis vom innern Zustand der Erde zu gelangen. Verband d. deutschen Geographentags.

II ALGUNOS FUNDAMENTOS GEOLOGICOS

La distensión de la Tierra resultante de la exposición contenida en el primer capítulo de este trabajo, puede ser abonada por hechos geológicos que pertenecen a un lapso de tiempo de comienzo relativamente cercano y que, por ello, ofrecen muchos rasgos que pueden ser analizados en detalle y ser fechados con exactitud. Se cuenta, ante todo, con la dispersión del continente Gondwana que ha sido reconocida por Wegener (II,44) en su trabajo sobre el "Origen de los continentes y océanos" en que fundó su teoría sobre la "Kontinental-Verschiebung" traducible como "Deriva de los continentes".

Esta "trouvaille" de Wegener dió por tierra con la "permanencia de los continentes y océanos", idea en boga aun en los primeros decenios de este siglo y todavía admitida por un decreciente número de geólogos que prefieren dejar descansar su mente en este concepto estático. A los argumentos en pro de la dispersión del continente Gondwana, empleados por Wegener, du Toit aportó comprobaciones sobre la base de observaciones propias sobre el terreno, en distintas partes de Africa y América del Sur (II,41/42), que hicieron incontrovertible la dispersión del continente Gondwana.

Aportaremos nuestra interpretación del fenómeno.

La coherencia primitiva de América del Sur y Africa del Sur queda atestiguada por la casi identidad de los depósitos pérmicos y triásicos en las porciones australes de uno y otro continente, prueba ampliamente tratada por du Toit, a la que se agrega la coincidencia de la constitución —devónica— de la zona del Cabo y de las sierras del Sur de la provincia de Buenos Aires, reconocida y puesta de relieve por Keidel (II,26) tiempo ha, más otros hechos que sería largo enumerar.

Hacemos hincapie, entre ellos, en la existencia de morenas infrapérmicas en América y Africa del Sur, en Madagascar, India y Australia, a las cuales se asocian estratos con una fauna singular y propia, caracterizada por *Eurydesma* y *Conularia*, presentes en el SE

de Australia, India, Africa Oriental (Tanganika), Madagascar, región del Cabo y en la sierra de Pilla Huincó (S. de Buenos Aires) (II,21). El continente fué poblado por una flora común, la de Gondwana o de *Glossopteris* que caracteriza el Paleozoico superior (Pérmico) de India, Australia, Sudáfrica Sudamérica y Antártida.

Intimo parentesco muestran también los reptiles de esta época; hace pocos meses, Romer (com. verb.) encontró reptiles de Molteno (Sudáfrica) en Ischigualasta (La Rioja).

No es preciso abundar en detalles respecto al carácter de ente independiente y coherente del continente de Gondwana, lo que cuenta con el consenso general. Para nuestros fines es necesario delimitarlo adecuadamente. De esta manera se podrá apreciar la medida de su dispersión, habiéndosele reconstruido previamente. La reconstrucción ofrecida aquí difiere ligeramente de las que ensayaron Wegener, du Toit y Salomón-Calvi (II,35/36).

La guía para ubicar sus contornos consiste en los depósitos glaciales, ante todo morénicos, cuya máxima distancia del polo, según Wegener y du Toit situado al N de Transvaal, no podía exceder los 55° de latitud, contados desde el polo, dado que el englazamiento regional cuartario no sobrepasó, en América, los 35° de latitud S y N. En vista de que en Australia, India y América del Sur se encuentran tales depósitos en sus porciones marginales, éstas deben haberse encontrado dentro de la calota polar delimitada por el paralelo de 35° a 40° contados desde el ecuador de aquella época.

Al yuxtaponer las masas continentales componentes, se ha tenido en cuenta el área ocupada por las dorsales y se las ha incorporado o reintegrado como trozos continentales emergidos, sin destacarlos en el mapa, (Fig. 6).

Al haber procedido de esta manera, se ha verificado que los contornos del ambiente gondwánico estaban ceñidos por una faja o cadena de plégamiento, cuya porción más conspicua es la cordillera sudamericana creada por movimientos intermitentes que se produjeron en el Kimmeridgiano, Santoniano, Maestrichtiano/Daniano, Bartoniano, Chattiano/Aquitano, Vinoboniano/Póntico, Plaisanciano / Eocuartario/Günz como eventos más eficaces, sin contar otros, como el que terminó con la sedimentación pérmica, en gran parte marina, el nevádico etc. y sin incluir fases menores, ante todo terciarias y cuartarias.

Este cinturón orogénico es circumgondwánico puro desde Venezuela por los Andes sudamericanos y antárticos hasta las cadenas de Nueva Zelandia y Nueva Guinea.

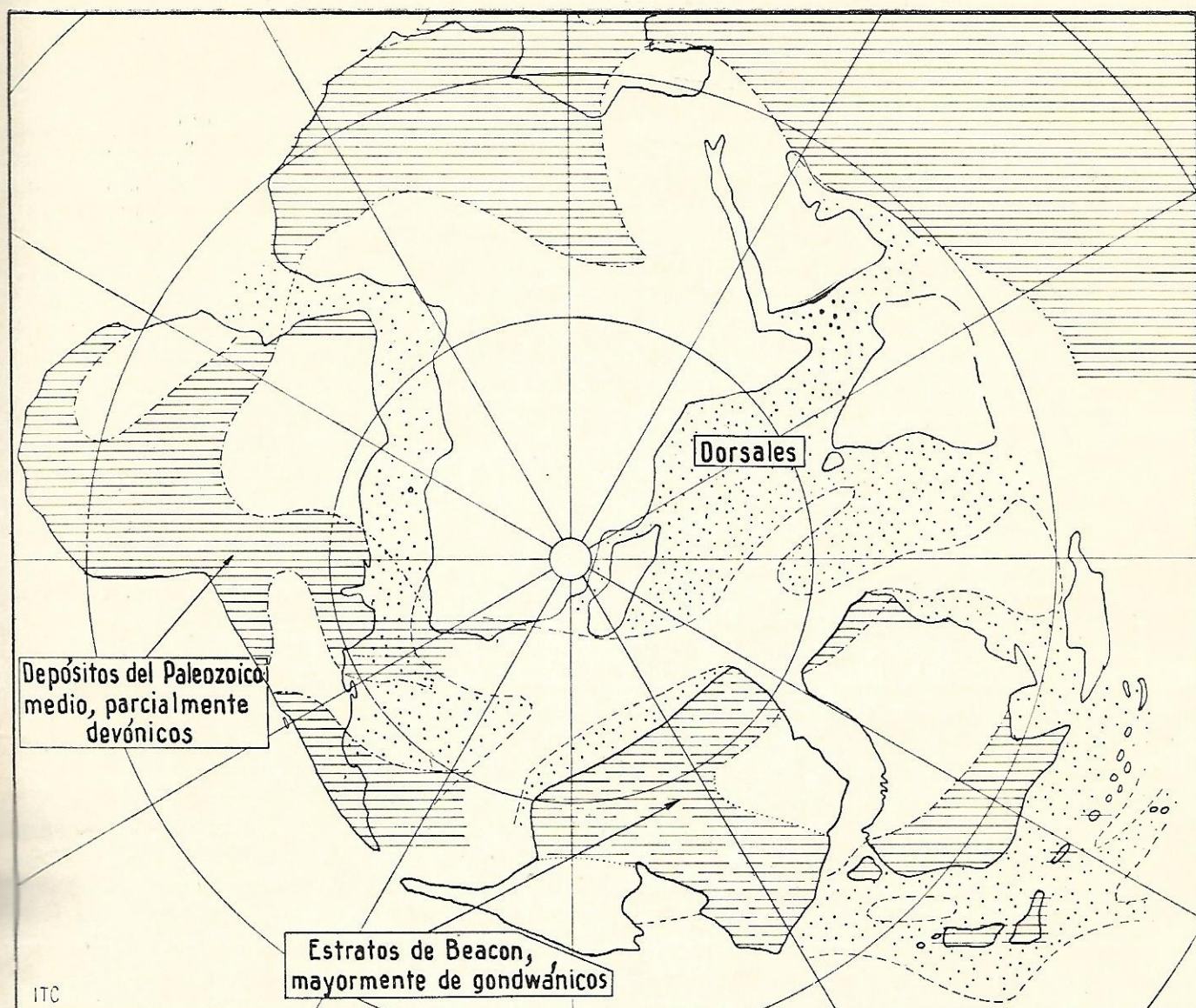


Fig. 6

Desde allí hasta Marruecos se refunde con las cadenas de plegamiento eurasiáticas de la misma edad.

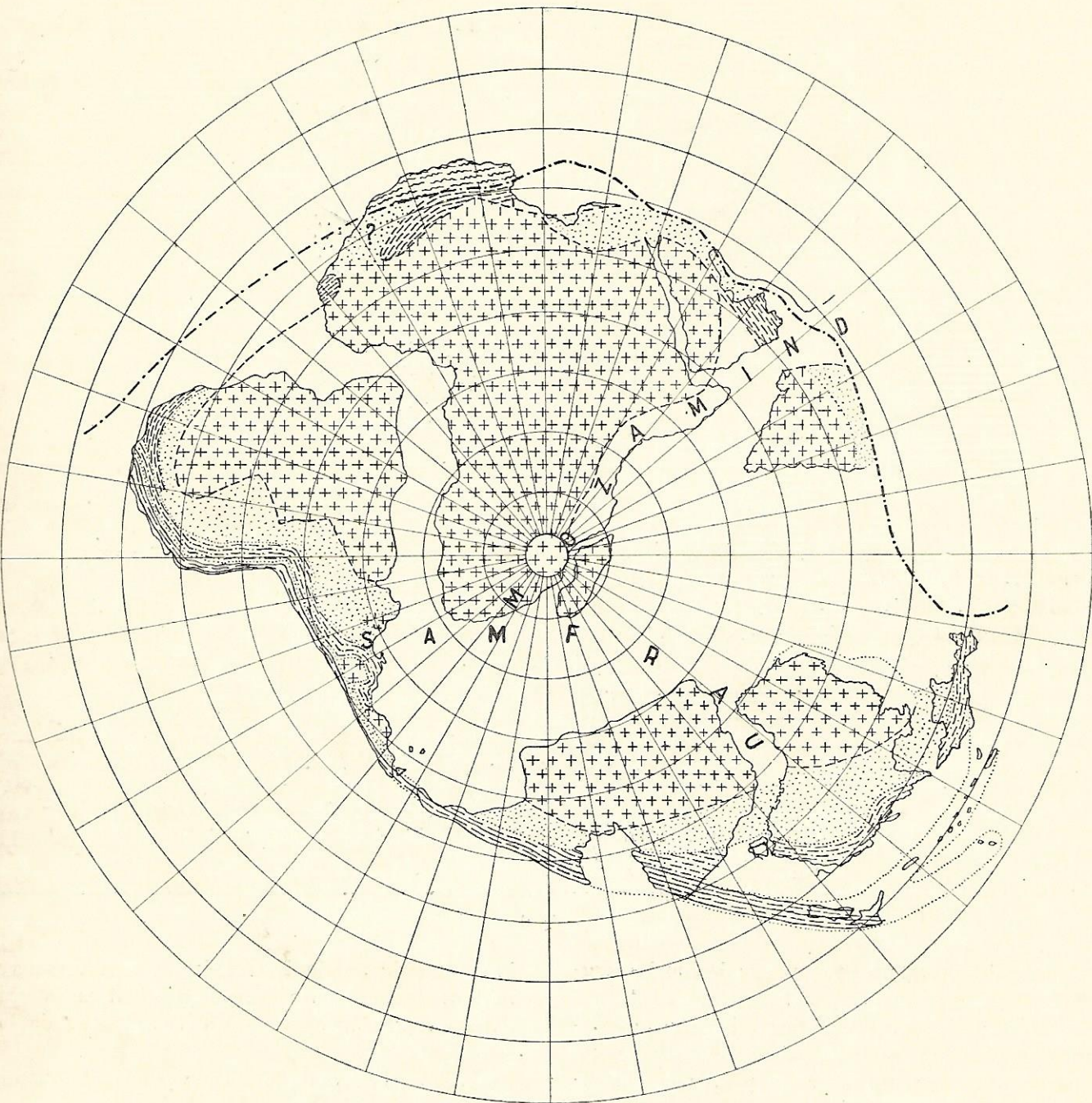
En Colombia (Chocó) se la agrega la cadena centroamericana de origen neoterciario/cuartario como guión entre la cadena circumgondwánica y las del hemisferio norte — circumlauréntica.

En el tramo eurasiático, las etapas de los movimientos creadores de las cadenas muestran una perfecta contemporaneidad, como se desprende de la confrontación de las de América del Sur (II,12) con las que fueron aisladas por Stille (II,38) en las regiones eurasiáticas.

Si bien el cinturón de cadenas se mantiene aproximadamente coherente desde Venezuela hasta Wilke's Land de Antártida, sufre una interrupción importante en su tramo hasta Nueva Zelandia, donde la angosta dorsal de la isla Macquerie, guión entre aquella is-

la y Antártida, se halla cortada por una ventana símica transversal, cuyo cuerpo principal se intercala entre este continente y Australia. Una segunda brecha separa las terminaciones de las cadenas entre Venezuela y Marruecos. Ella corresponde al Atlántico y sus ventanas símicas.

Tales interrupciones, a las que se agrega la poco importante entre las Tierras del Fuego y de Graham, se localizan, pues, en el Terciario, lo que significa que la distensión continúa y que los plegamientos no son un fenómeno antagónico. Ello queda atestiguado por la circunstancia de que el continente gondwánico ya no era tal en tiempo carbónico—pérmico. Estaba dividido por brazos de mar a los que podemos llamar "geosinclinales". En primer término cabe mencionar el de "Samfrau", reconocido por du Toit, que se extendió desde el SE de Australia por Africa del Sur has-



CONTINENTE GONDWANA EN EL PÉRMICO INFERIOR

- | | |
|---|---|
|  Cratógenos |  Divisoria entre Gondwana y Laurentia |
|  Zonas de estiramiento terciario | |
| Orógenos circungondwánicos | {
 Intersenonianos terciarios
 Terciarios
 Neógenos |
|  Orógenos circumlaurentinos | |

Fig. 7

ta América del Sur, tramo al que Harrington (II,20) dedicó un estudio, del que se desprende que este "geosinclinal" remató en el Sur de la provincia de Buenos Aires. Entre sus depósitos cuentan como significativos las areniscas cuarcíticas eodevónicas que, en el S de Australia, yacen con discordancia angular en el Gótlándico y en Sudáfrica en el cristalino.

Hubo, pues, una separación o segregación de la porción antártida del continente Gondwana desde el Eodevónico.

A partir del Pérmico se expandió un brazo marino desde el Samfrau por Mozambique, Madagascar y Tagañika hasta la India, caracterizado por la fauna de *Eurydesma*, propia también de Australia y del S de la provincia de Buenos Aires. Sus depósitos se posan sobre el basamento cristalino. Por lo tanto, la abertura de esta brecha significa un nuevo desmembramiento del continente Gondwana, aun coherente hasta el Pérmico exclusivo.

Su desmembramiento se acentuó en el Mesozoico, como vemos por la amplia expansión marina en la cuenca Mozambique-India que como símil de Samfrau, podemos designar con "Mozamind", invasión que se hizo notable desde el Caloviano, con el cual llegaron los *ammonites* típicamente indios a Sudamérica y se acentuó, según una observación de Leanza (com. verb.) en el Kimmeridgiano, tomando mayor incremento en el Cretácico y, sobre todo, en el Senoniano, como demuestra el unicato de los *ammonites* indios y madagascueños en las faunas campanianas de Patagonia y Antártida contigua. El Cretácico es, a su vez, la época en que la separación de Africa y Sudamérica se hizo fehaciente, como lo indica la presencia de depósitos marinos de esta edad en Angola y en el NE del Brasil.

De qué época puede ser la cuenca del Indico oriental no se trasluce mayormente de los datos geológicos conocidos, pero el hecho de que se desarrolló en el Cretácico un mar marginal (pacífico) entre el núcleo cristalino occidental del continente y los Alpes australianos, que pueden tenerse por una guirnalda de islas, delimitadoras del mar marginal y la circunstancia de que la costa oeste lleva depósitos cretácicos, hace probable que la cuenca oriental del Indico sea esencialmente cretácica.

Queda, pues, reconocible que, dispersión y plegamiento no son fenómenos dispares, siendo la primera sostenida, hasta permanente, mientras que el segundo tiene carácter episódico.

MEDIDA DE DISPERSION DEL AMBIENTE GONDWANICO DESDE EL PERMICO

De acuerdo con lo expuesto se ha trazado la reconstrucción del ambiente gondwánico continental con sus

mares internos; se observa que cubría unos 10^8 a $1,05 \cdot 10^8 \text{ km}^2$. Su distensión llega, pues, a $9 \cdot 10^7 \text{ km}^2$.

Ya Wegener ensambló la estructura caledónica de Noruega-Escocia-Inglaterra-Irlanda con la de los Apalaches, además el "Old Red" de ambos lados del Atlántico norte, como se observa en el mapa adjunto (fig 8), diseñado sobre la base de la compilación de Kossmat (I, 29), el plegamiento caledónico, dividido en varias ramas, se ciñe en torno de Laurentia (en la cual comprendemos los trozos cratogénicos de Eurasia, exceptuando India y Arabia) del mismo modo que el plegamiento alpidico, más propiamente andínico y sus antecesores cerca de Gondwania.

El cinturón es coherente entre Asia y América del Norte, pero interrumpido entre este continente y Europa por el Atlántico Norte, que hemos de tener por post-caledónico y por generado conjuntamente con su porción sur, es decir, en el Mesozoico y Terciario. De esta porción conocemos, en la hoya del Brasil, lobanillos de rocas básicas de edad nórica, de los cuales emergen las islas Trinidad, Fernando Noronha y Sao Paulo. Un fenómeno semejante consiste en el lobanillo de la hoya de Norte América: sobre su fondo símico se halla emplazada la isla Bermudas —basáltica— compuesta en su parte superior por sedimentos marinos eocenos a miocenos, caracterizados por foraminíferos.

Ya nos hemos referido a la interrupción que, en el Atlántico Sur, sufre el cinturón del plegamiento terciario entre Marruecos y Trinidad, a lo que debemos agregar que el plegamiento rumbea más o menos perpendicularmente a la costa de Europa y de Africa, lo que indica que ésta no representa el contorno de una masa continental individualizada desde tiempo precámbrico, como Gondwania y Laurentia, ambos circundadas por cordones de plegamiento en todo su perímetro.

La abertura del Atlántico Norte parece corresponder a un giro de 60° de América del Norte, digamos, en torno de un punto situado aproximadamente en $+60 \text{ lat}/-166 \text{ long}$. El ensamblamiento de Asia y Norte América, ambas pertenecientes a una misma masa siática, queda conservado al enderezarse el acodamiento de la faja andina, o mejor, de las Montañas Rocallosas de Alaska. El giro que no repercutió en América del Sur, por tratarse de una masa siática independiente y parte de Gondwania, se presenta como producto de una distensión del área de Atlántico Norte que era escasa en su porción ártica, pero creciente hacia el sur (fig. 8).

El criterio de la aparición de sima en la superficie como consecuencia de distensión, tiene aplicación al Atlántico Norte, en cuya porción ártica y subártica se alojan Islandia, Jan Mayen y otras islas del llamado "escudo basáltico" subártico, que corresponden en

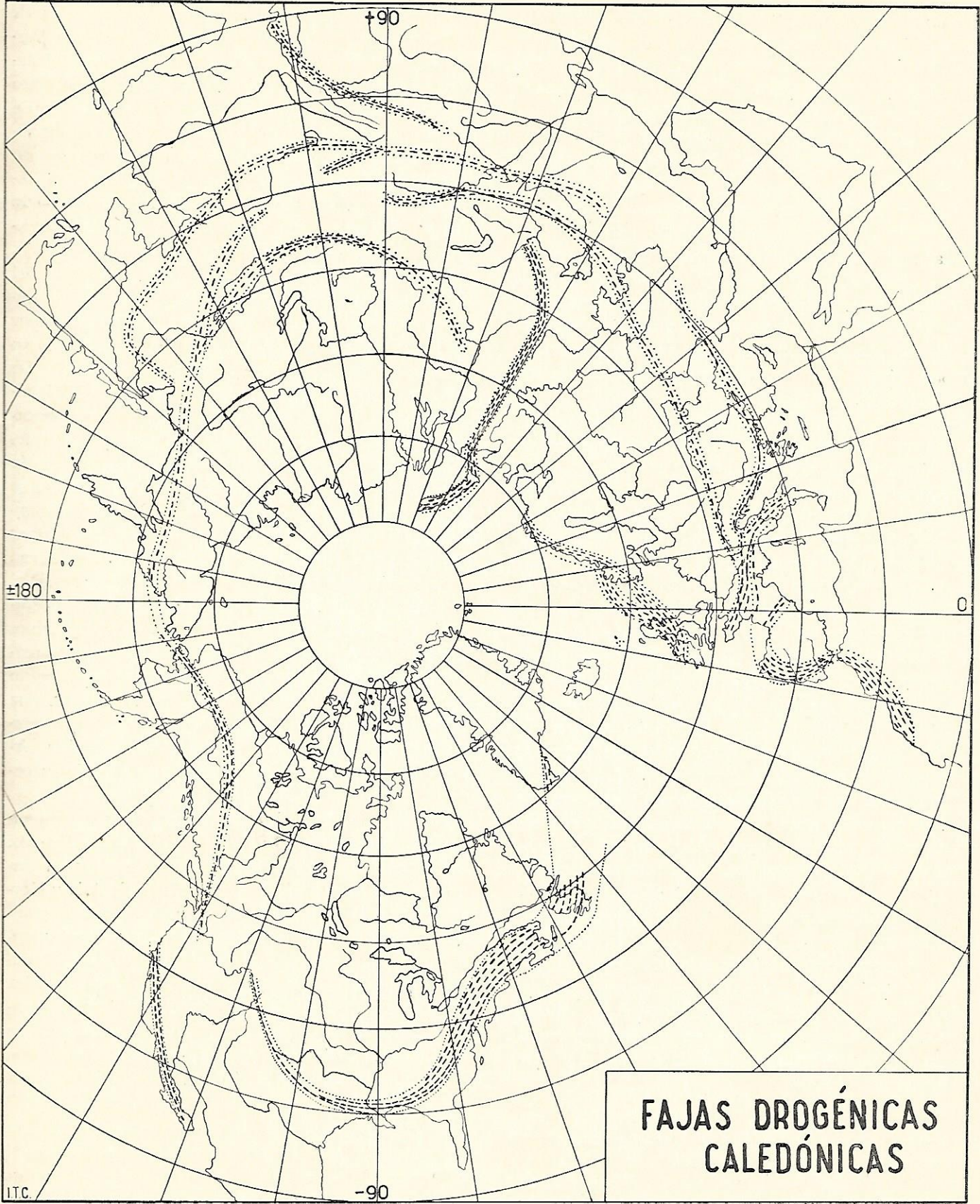


Fig. 8

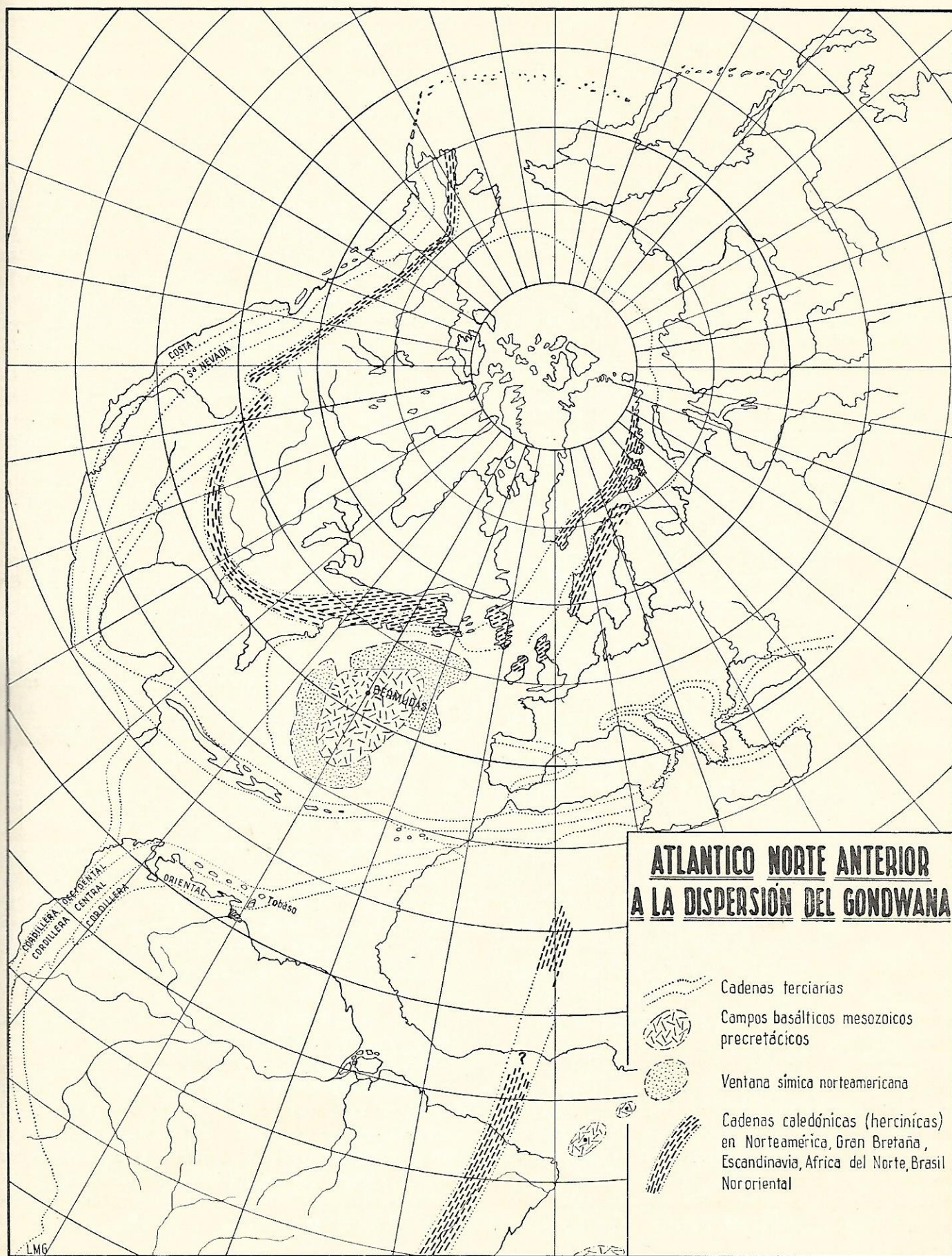


Fig. 9

edad al Terciario con manifestaciones tardías cuartarias y actuales.

La superficie, producto de la distensión del Atlántico Norte, ocupa un área de $18 \cdot 10^7 \text{ km}^2$.

DISTENSION DE LA TIERRA DESDE EL PERMICO

Con esta cifra, el total del aumento postpérmico de la superficie de la Tierra llega $1,1 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ o sea de $4 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ a $5,1 \cdot 10^8 \text{ km}^2$.

ANOTACIONES AL MAPA (FIG. 9)

En ella figuran:

1) los conductos de las estructuras caledónicas sobre ambos lados del Atlántico. En América se le sigue desde su inflexión en el Mississippi inferior por los Apalaches hasta Terranova, de donde prosigue por la costa este de Groenlandia. Por ello, se ha preferido ensamblarla con sus congéneres europeos por yuxtaposición, en lugar de hacerla continuar desde Terranova por Irlanda-Escocia hasta Noruega. Pero no hay inconveniente en desplazar a Terranova algo al SE y hacer continuar su parte SE hacia el N de Escocia; la semejanza estructural entre ambos tramos lo permite.

2) los conductos terciarios, elaborados sobre otros anteriores, caledónicos y hercínicos, rodean Norte América por el sur y cruzarían el Atlántico paralelamente a la faja caledónica. Se sabe por Sapper (II, 37) que en el sur de México el conducto "andínico" norteamericano se encorva en Chiappas, y luego en los Coxcomb Mountains y que se dirige muy encorvado, casi acodado hasta Cuba, envía otra rama por el norte de Nicaragua, que prosigue en Jamaica y de allí a Haití austral, a Puerto Rico y a las islas Vírgenes. En la reconstrucción se ha eliminado el casi-lazo entre los Coxcomb y Cuba y se le ha enderezado y acortado en atención a la circunstancia de que las islas interpuestas parecen ser producto de un estiramiento del que puede responsabilizarse a la expansión del área del mar Caribe, que habría desplazado las Antillas Mayores hacia el continente norteamericano. El mar Caribe y su cuenca aparecen como hoya símica reciente, cuya formación he atribuido a la época posterior, al primer movimiento andino terciario y anterior al segundo, es decir al Eógeno. (II, 15).

En efecto, la cordillera central de Colombia que termina en la sierra de Santa Marta y cuya prosecución se insinúa por la presencia de rocas cristalinas en la península de Coro, que se halla en el rumbo de las islas de Barlovento. El conducto fué estirado y desmembrado, mientras que la cordillera oriental de Colombia erigida por el segundo movimiento terciario andino ha conservado su cohesión longitudinal, cor-

tándose, sin embargo, definitivamente en Trinidad. Debe destacarse que no sigue por las Antillas Menores que son un agregado individualizado e independiente a la manera de Centro América.

En la reconstrucción, en la cual se ha dejado de lado en giro de 60° de Norte América, el conducto terciario de las islas Vírgenes se halla a sólo 15° de longitud del remate oeste de los Alpes de Marruecos y a 8° de las Canarias, según su vulcanismo mesosilíceo emplazadas sobre sial. La zona se halla a la latitud de las Islas Vírgenes en el mapa de reconstrucción, de manera que se impone una primitiva coherencia entre uno y otro extremo, cuyo alejamiento puede atribuirse a la formación de la hoya símica de Madeira. Ella sería, pues, de elaboración terciaria, mientras que la de Bermudas ha de haber comenzado en el Nórico.

3) En el mapa de reconstrucción se ha destacado el lobanillo básico de Bermudas que soporta el centro eruptivo basáltico que desde los -300 m lleva un sombrero de Eógeno-Mioceno marino, fuera de productos volcánicos más recientes.

4) Sobre su lado este se emplaza la dorsal mediana del Atlántico, ahora desplazada por la hoya símica de Madeira.

5) Es verosímil que fuera de la cadena Cuba-Haití-Puerto Rico-Vírgenes-Marruecos axil que es marcadamente circumlaurentica, se encuentre en Río Oro, en el sur de Marruecos y de Algeria, un conducto que tendría su continuación en el de América del Sur, que queda cortado en Trinidad y Tobago, cuya edad es aquitaniana/chattiana.

Para el Atlántico Norte ha de admitirse, pues, un desarrollo mesozoico-terciario.

SUPERFICIE. RADIO. VOLUMEN Y DENSIDAD DE LA TIERRA AL PRINCIPIO DEL PERMICO

Habiéndose llegado a reconocer que la distensión del área de ambiente gondwánico y del Atlántico Norte se eleva, desde el Pérmico inferior a $1,1 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ la superficie de la Tierra era, como dijimos, de $4 \cdot 10^8 \text{ km}^2$. El radio era, entonces, de $5 \cdot 642 \text{ km}$, su volumen de $7,522 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$ y su densidad 7,9, teniéndose por constante su masa.

Desde la llamada "regeneración postvariscica" de Stille (II, 39) la Tierra aumentó su radio en unos 700 km , su volumen en $3,3 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$ y su densidad disminuyó en 2,4. Comparando estas magnitudes con las que se obtuvieron para una Tierra de corteza sílica coherente, vemos que, en el lapso de tiempo entre este estado y el comienzo del Pérmico, se cuenta con un aumento del radio de 1.440 km , del volumen de $4,390 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$ y con una disminución de la densidad de 11,5 aproximadamente.

Los hechos considerados en el párrafo anterior permiten llegar a un concepto respecto a las probables etapas anteriores al comienzo de la distensión gondwánica-postpérmica.

ABRA DEL PACIFICO

La reconstrucción del recorrido de las cadenas caledónicas permitió cerciorarse de que ellas circundan la antigua masa continental de Laurentia, en la cual comprendemos no sólo el escudo canadiense y las islas vecinas, sino también Angara, China, Rusia y otros núcleos continentales abrazados por estas cadenas. Por el Sur le acompaña el mar de Thetys, depresión interpuesta entre Laurentia y Gondwanía; por el oeste, norte y este se limita contra la hoya del Pacífico. Es prudente desglosar del área pacífica propiamente dicha, los mares marginales del este de Asia y de Australia, abrazados por las guirnalas de islas siálicas de Bonin, Marianas, Carolinas y versísimilmente siálicas de Marshall, Ralik, Batak, Gilbert, Lagunos y las reconocidamente siálicas de Fidyi, Tonga y Kermadec, más la dorsal de la "meseta del Albatros".

La hoya símica propiamente dicha cubre unos 90.000.000 km². Está rodeada por los cordones de plegamiento caledónico que corren paralelamente a sus costas. Se han desarrollado en los bordes de las masas continentales que fueron individualizadas como tales

en tiempo prepaleozoico en que colocamos la creación de Gondwanía y Laurentia. Ello significa que la hoya pacífica símica es de elaboración proterozoica, en especial proterozoica superior, época de rasgos semejantes a los de épocas posteriores, entre ellos la deposición de sedimentos terrígenos impuestos en cristalino y no o muy escasamente metamórficos.

MEDIDA DE DISTENSION EN EPOCAS SUCESIVAS

Según el testimonio obtenido de la consideración del Pacífico, la distensión proterozoica superior habría tenido la magnitud de 90.000.000 km², los que agregados a los 220.000.000 km² de superficie de la Tierra con corteza siálica coherente, daría para el comienzo del Paleozoico una superficie de $3,1 \cdot 10^8$ km² un radio de 4.967 km, un volumen de $5,132 \cdot 10^{11}$ km³ y una densidad de 11,6.

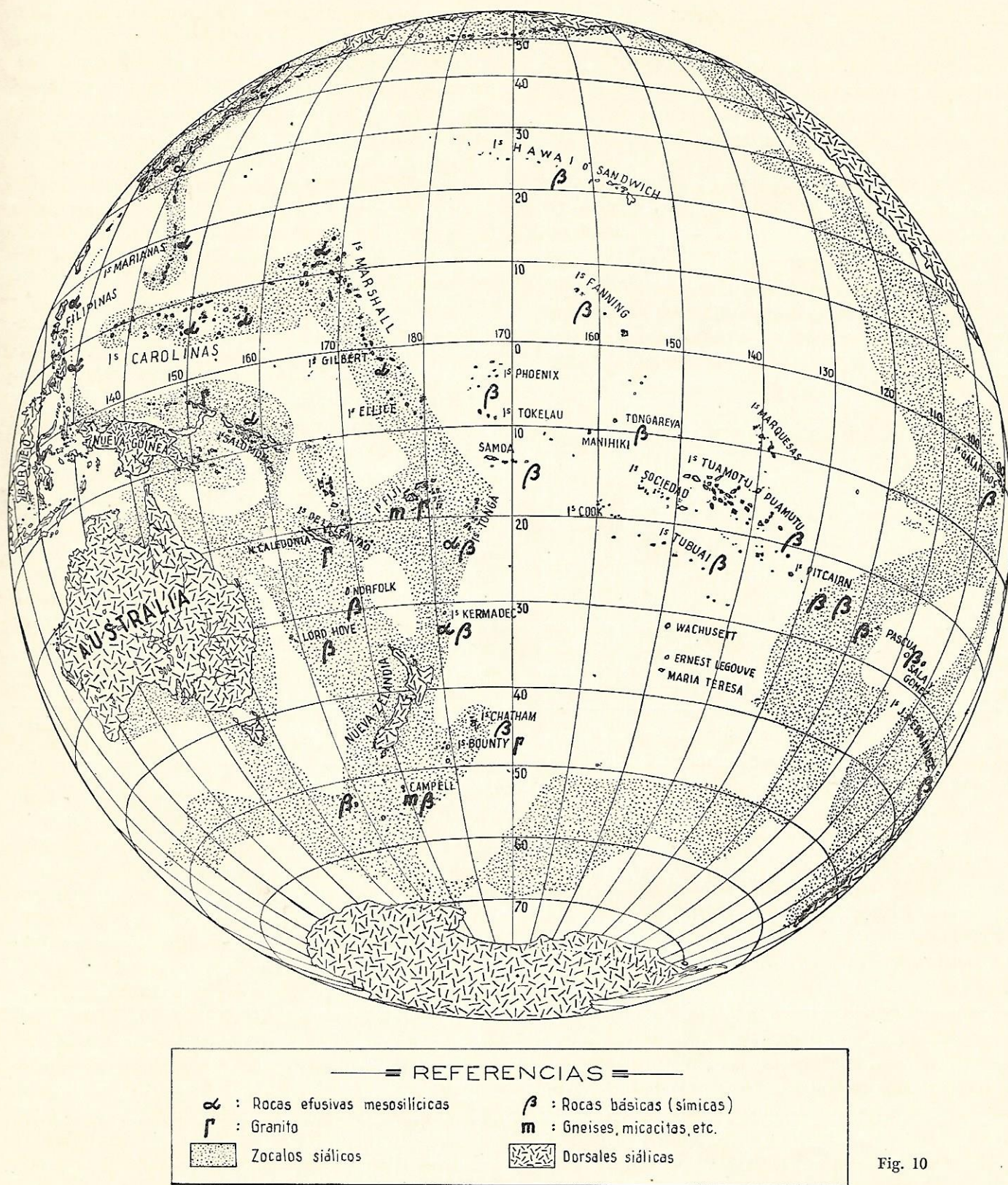
Al lapso de tiempo paleozoico (Pérmico exclusive) habría correspondido, pues, un aumento de superficie de otros 90.000.000 de km². Este aumento cabría en el área del Pacífico, pero no es necesario colocarlo dentro de los 181.000.000 de km² de su área, siendo verosímil que se cuenta con otras abras o ventanas símicas, p.e. con el mar de Thetys, ya presente en el Paleozoico, y con mares internos del ambiente gondwánico. En resumen se puede trazar el siguiente cuadro:

Eras y Edades	Superficies	Radios	Volúmenes km ³	Densidades	Alargamiento del radio
Cuartario/Pérmico -2,4·10 ⁸ años	5,1·10 ⁸ km ²	6370 km	10,828·10 ¹¹	5,5	728 km
Paleozoico -5,1·10 ⁸ años	4,0·10 ⁸ km ²	5640 km	7,522·10 ¹¹	8,0	675 km
Proterozoico sup. -8·10 ⁸ años	3,1·10 ⁸ km ²	4970 km	5,142·10 ¹¹	11,6	763 km
Proterozoico inf. -11·10 ⁸ años	2,2·10 ⁸ km ²	4200 km	4,130·10 ¹¹	19,5	

Es muy posible que el cuadro precedente no abarque la totalidad de los acontecimientos, esto es, en cuanto a los más distantes, los del Proterozoico inferior y del Arcaico. Si ubicamos en el Arcaico de formación de la corteza siálica, podemos admitir que la generación del sima caiga en el Proterozoico inferior. Como tal fenómeno significa distensión, es admisible un estiramiento y un adelgazamiento de la corteza primitiva, que no debía conducir necesariamente a su desmenbramiento, porque la alta temperatura aun reinante, suministrada por los elementos en desintegración pudo conferir plasticidad a la corteza siálica.

Esta circunstancia inhibe la obtención de medidas para la Tierra primitiva. Pero se podría intentar obtener un concepto al respecto, utilizando la aparente *ritmicidad de la distensión* que trasluce del cuadro.

Observamos que en lapsos de tiempo semejantes de 2,4 a 3·10⁸ años el radio solía crecer en 70 km aproximadamente. Si extrapolamos esta magnitud hacia el comienzo del Proterozoico inferior, obtenemos un radio de 3.500 km, una superficie de $1,54 \cdot 10^8$ km², un volumen de $1,798 \cdot 10^{11}$ km³ y una densidad de 33 no muy verosímil. Lo excesivo de este valor suministra el cri-



L.M.G.

Fig. 10

terio de que las medidas mínimas de la Tierra se hayan mantenido entre estas últimas y las que resultaron de la etapa que concluyó con el Proterozoico inferior.

RETRAIMIENTO DEL MAR DE LOS CONTINENTES

El hecho de que, por doquier, encontramos afloramientos de depósitos marinos en tierra firme, nos indica que tuvo lugar un destape paulatino, un retiro

de las aguas oceánicas de los continentes. La medida de este retiro sería aún mayor, si no fuese que, durante el englazamiento cuartario, los bordes de los continentes no hubiesen sido rebajados en bisel al descender las aguas marinas, por acumulación de parte de ellas sobre los continentes bajo forma de hielo y por el retraso en la reincorporación de estas aguas al océano, como consecuencia de la disminución de la velocidad de escurrimiento debida a la congelación.

Al observar la extensión de las áreas ocupadas por los sedimentos de las diferentes eras geológicas, comprobamos que éstas han disminuido progresivamente, hasta llegar a un mínimo en la actualidad, en realidad falseado en su real medida por los mares de los "shelves" cuartarios.

El cómputo de las áreas cubiertas por el mar en las diferentes eras no puede llevarse a cabo con exactitud, porque el arrugamiento por plegamiento ha reducido su extensión primitiva, sólo apreciable a ojo de buen cubero, pero utilizable a nuestros fines.

Los depósitos marinos paleozoicos cubren, sobre los continentes actuales, unos 10^8 a $1,1 \cdot 10^8$ km² que pueden haber alcanzado 10^7 a $2 \cdot 10^7$ km² más, teniendo en cuenta un reiterado apilamiento de los sedimentos por plegamiento. Los espesores de los sedimentos paleozoicos llegan a muchos miles de metros. Ello no significa que los mares hayan tenido una profundidad semejante al iniciarse la sedimentación en algún distrito, la cual puede estimarse a lo sumo en 2-3 km, porque en ninguna parte estos sedimentos se apoyan en sima, sino siempre en sial, lo que no sería posible, si las profundidades iniciales de las cuencas de recepción hubiesen excedido los 4.500 a 5.000 metros, niveles en que aflora el sima en ventanas.

En consecuencia, el volumen máximo de las aguas de los mares epicontinentales habría llegado de $3,9$ a $4 \cdot 10^8$ km³.

Si tenemos el volumen total de las aguas marinas como constante, algo menos que la cuarta parte de este volumen habría correspondido a los mares epicontinentales. En una Tierra de $4 \cdot 10^8$ km² de superficie al comienzo del Pérmico, habrían correspondido los $13,5 \cdot 10^8$ km² restantes a las hoyas símicas de la época. Siendo constantes los bloques siálicos con $1,5 \cdot 10^8$ km² de superficie, a las cuencas oceánicas pertenecían los $2,5 \cdot 10^8$ km² restantes. La profundidad de los mares habría sido de unos 5,4 km, medida común en las cuencas oceánicas actuales.

En el Mesozoico se observa una merma de la extensión de los mares epicontinentales, ya que el área cubierta por ellos se ha reducido a unos $3,5 \cdot 10^8$ km². Si admitimos una profundidad media menor de unos

3 km, el volumen de los mares epicontinentales habría sido de $7 \cdot 10^7$ km³.

En el Terciario disminuyó aun más el área de los mares epicontinentales los que cubrieron $2 \cdot 10^7$ km². Con un espesor de las aguas de 2 km, el volumen era de $4 \cdot 10^7$ km³.

Los mares epicontinentales actuales son los de las plataformas submarinas, que tienen una superficie de $1,28 \cdot 10^7$ km². Siendo su profundidad media a lo sumo de 0,1 km, el volumen no pasa de $1,2 \cdot 10^6$ km³, cantidad que aumenta modestamente si agregamos los volúmenes de los mares marginales.

En consecuencia, el agua marina expandida notablemente en el Paleozoico sobre tierra continental, se gradualmente en etapas. Siendo constante el volumen de las aguas del mar, este hecho es explicable solamente admitiendo que el área de las cuencas oceánicas haya aumentado sostenidamente, ya que no puede aumentar su hondura a causa del mantenimiento del equilibrio isostático entre las masas siálicas y el sima de los fondos oceánicos lo que fija la profundidad media de estos alrededor de los 5.000 m. El aumento de la superficie de los océanos sólo puede ser debido a la distensión de la Tierra. En nuestros días el área de los mares epicontinentales es prácticamente nula. El volumen de los mares epicontinentales del Paleozoico ha sido acumulado en las cuencas oceánicas generadas por la distensión de la Tierra en el lapso de tiempo transcurrido desde el comienzo de esta era. No se puede presentar magnitudes más exactas porque la profundidad de estos mares está sujeta a apreciaciones aproximadas.

PLEGAMIENTOS

Aparentemente, los plegamientos contradicen firmemente a la posibilidad de que pueda admitirse distensión de la Tierra en tiempos geológicos y pueden ser utilizados para demostrar lo contrario, es decir la contracción de la misma como se ha estilado siempre.

Mientras que se estaba familiarizado solamente con cuadros tectónicos como los del Jura suizo y se pensaba que todas las cadenas de montaña albergaban variaciones de un mismo planeamiento tectónico y estructural y se prestó atención a recortes más o menos pequeños de los conductos mundiales de dislocaciones y de levantamientos imponentes y se pasaba por alto las depresiones contiguas y orgánicamente ligadas a ellos, era inevitable poner todo el peso del fenómeno en el argumento a favor de la contracción. Este punto de vista sucedió al de la influencia orogénica de las penetraciones ígneas, de preferencia axiales, tal como lo conceptuaron von Buch (II, 6) y Darwin (II, 9) en sus "Hebungssachsen" ejes de levantamiento que dominaban aún la redacción y la con-

fección de los mapas de conjunto de los continentes en el Atlas Fisiográfico de Berghaus (II, 4). Pero cuando los grandes corrimientos alpinos se habían hecho familiares y habían salido del trance de ser combatidos acerbamente y de ser tildados de invenciones, Ampferer (II, 2) reconoció que ya era imposible sostener que los plegamientos se debían a una compresión de terrenos blandos entre las mandíbulas de una morsa gigantesca, como los Alpes entre la "Vindelische Barre" —barrera vindelíca— y Africa y que era imposible que, en mayor escala, la compresión de zonas de debilidad de los geosinclinales era debida a que la bóveda de la corteza terrestre, carente de apoyo, se mantuviese como tal sobre un diámetro de 12.000 km de largo, sin que se triturara enteramente, dada la insuficiente rigidez y resistencia contra las presiones resultantes. Este autor recurrió, entonces, a la admisión de corrientes subcutáneas de la corteza que transportaban trozos de la corteza contra obstáculos, contra porciones rígidas preexistentes y Argand comparó los pliegues de las cadenas con olas que se rompían contra los macizos continentales. El concepto de Ampferer era obtenible, porque Mohorovicic (II, 3) en su análisis del terremoto de Carintia, había encontrado la existencia de un nivel de discontinuidad a unos 40 km de profundidad, donde cambiaba la constitución de la Tierra de rígida y pétrea en otra, elástica y deformable sin fractura, donde la velocidad de las ondas longitudinales aumentaba bruscamente de 5 a 8 km/sec.

La existencia de fajas de debilidad en que se acumulaban grandes masas de sedimentos fué reconocida por Dana (II, 8), a raíz de sus estudios en los Apalaches y les aplicó la designación de "geosinclinales". El concepto fué recogido ampliamente por Haug (II, 22) en su "Traité de Géologie", en que opinaba que la acumulación de sedimentos en posición original, horizontal dificultaba la conducción del calor interno y daba lugar a acumulación de calorías y a un ablandamiento de la masa de depósitos, además de un aumento de su volumen y de ahí a plegamiento.

Anteriormente Reyer (II, 33) había atribuído los plegamientos a la gravitación y admitido que las masas de sedimentos se plegaban porque se deslizaban a una depresión que les había servido previamente de receptáculo y que había sido ahondada por la carga de los mismos.

Más adelante Kober (II, 27) hizo suyo este concepto y edificó su explicación de los fenómenos tectónicos conducentes a la formación de cadenas de plegamiento entre cratógenos y sus bordes, sobre la concurrencia de materiales plegables hacia depresiones crustales y aportó numerosos ejemplos interpretativos, representados por perfiles esquemáticos de mu-

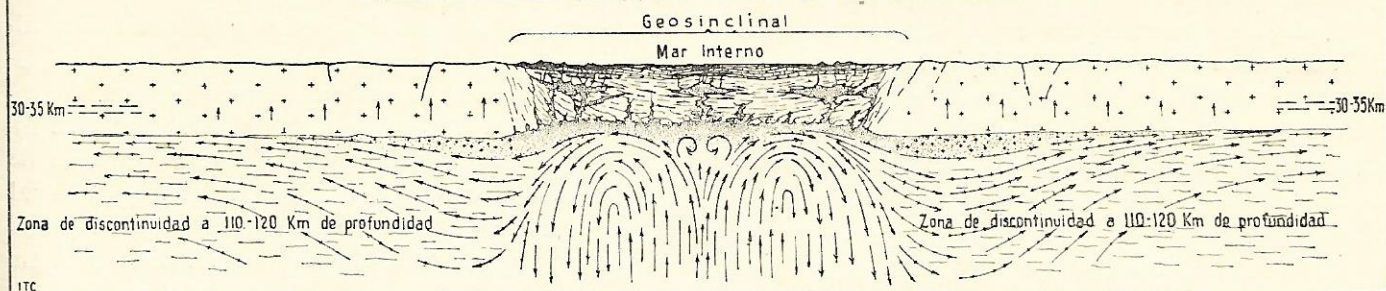
chas cadenas, para ilustrar el concepto debido a Reyer.

En 1927 el autor (II, 13) aplicó el criterio del plegamiento gravitacional a los Andes, dándole una base teórica, derivada de sus estudios en la Cordillera. Adujo que, en ella, y en tiempo del geosinclinal andino se produjo, fuera de acumulación de sedimentos, la de masas efusivas mesosilíceas, producto de la mezcla del sial de la corteza con el sima subyacente; que esa mezcla era debida a la fusión del sial por corrientes convectivas símicas procedentes del interior y que el adelgazamiento del sial era responsable de la exondación de la cuenca geosinclinal. Esta era posible porque las ramas descendentes de la corriente convectiva que arrastraban sial fundido y que lo incorporaban fuera de la faja geosinclinal, lo perdían por desintegración o "desmezcla" y diferenciación, siendo agregado este sial segregado a la base del cratógeno vecino. El aumento de espesor resultante, ocasionaba su ascenso isostático y esta era la causa de que en los cratógenos podían aparecer rocas de la catazona de metamorfismo. Con ello dió una explicación del fenómeno, cuyas causas no habían sido encaradas nunca. Donde no podían ser acarreados sedimentos terrígenos a las depresiones geosinclinales porque éstas se hallaban a distancia excesiva de los continentes, tras de la fusión total del manto siálico y su agregación a la base de los cratógenos vecinos, se abrían ventanas símicas, como las del Atlántico. Admitía, además que las corrientes convectivas se ponían en movimiento al disminuir la carga siálica sobre el sima al adelgazarse aquél por estiramiento. Tal estiramiento lo atribuimos ahora a la distensión de la Tierra. Nótese que tal evento es admitido por Ewing y Heezen (II, 10a) para la formación de la fosa de Puerto Rico.

La formación de las hondadas en las fajas geosinclinales hacia las cuales se deslizaban los terrenos interiores y marginales era atribuida al retraimiento de las cúspides de las corrientes convectivas por causas, entonces desconocidas, acaso por agotamiento de la energía que las había puesto en movimiento. La concurrencia de porciones vecinas a la depresión símica podía explicar la existencia de largas zonas de hundimiento, como la chaco-bonaerense que llega hasta Venezuela. Tales depresiones acompañan todas las cadenas de plegamiento y se designan con "Vortiefe", traducida al inglés con "foredeep".

La sustitución de sial compacto y de mayor densidad que había sido acarreado fuera de la faja geosinclinal subcutáneamente, por sedimentos de menor densidad, traía consigo un defecto de masa, acusado por todas las mediciones gravimétricas efectuadas en tales zonas de plegamiento, ante todo terciario, y, co-

ESQUEMA TEÓRICO DE LA FORMACIÓN DE UN GEOSINCLINAL

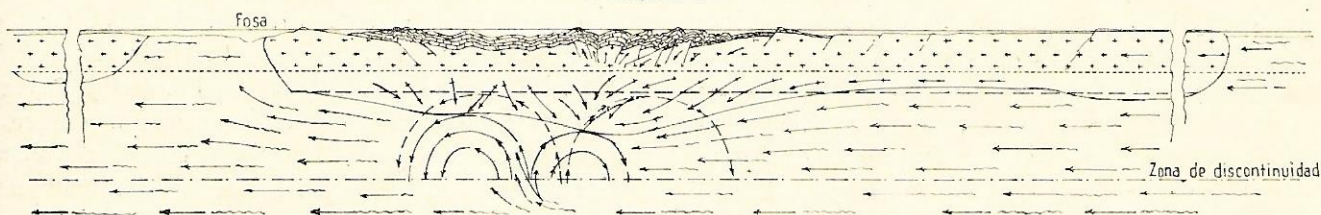


- | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | Sial en masa continental | | Fracturación consecutiva de esta zona y agrietamiento. | | Sial en fusión arrastrado por las corrientes de convección las abandona, asciende lateralmente por difusión a través del sima lerdo. |
| | Sima (lerdo) normal | | Sial fundido y mezclado con sima (resultante magma mesosilíceo) que se acumula en la base del geosinclinal | | Se agrega a la base del sial de las masas continentales. |
| | Corriente de convección | | Penetra en el sial formando batolitos en lugares y profundidades propicias | | Ascenso que sufren estas masas a causa del aumento de su espesor (movimientos secundarios y epirogénicos) |
| | Zona sílica arqueada por descenso y afectada en su base por ablandamiento y adición de material sílico | | Centros eruptivos superficiales y series de mantos de rocas mesosilíceas, y series de sedimentos acumulados en el geosinclinal | | |

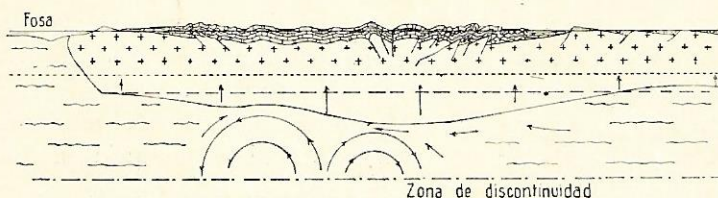
Fig. 11

ESQUEMAS DEL PROCESO OROGENICO

— ESQUEMA A —



— ESQUEMA B —



- | | | | | | |
|--|--|--|---|--|---|
| | Sial { mayormente rígido.- plástico.- | | Ubicación y radio de acción de las corrientes de convección durante el pasado estado del geosinclinal.- | | Cambios de lugar del sial (y sima) rígido.- Ascenso "en block" de la zona orogénica.- |
| | Sima { mayormente rígido.- plástico.- | | Ubicación y radio de acción de las corrientes de convección después de su encogimiento.- | | Pliegues en la región de los sedimentos y "sobreescurrimientos".- |
| | Ubicación de la zona de discontinuidad en 30-35 Km. de profundidad.- | | Dirección del desplazamiento del sial plástico.- | | Desplazamiento de la cúspide de las ramas de las corrientes de convección.- |
| | Límite inferior del sial { bajo condiciones normales.- después de la deformación.- | | Dirección del desplazamiento del sima.- | | |

Fig. 12

mo consecuencia, un ajuste isostático expresado en un ascenso "epirogénico" de la cadena plegada.

Había, pues, dos etapas en todo plegamiento:

1) plegamiento en niveles bajos, inferiores al nivel del mar; casos como el de los Alpides en tiempo del Nummulítico" y

2) un ascenso general a las alturas actuales, lo que representaba el verdadero movimiento "orogénico", es decir creador de montañas.

EJEMPLO EN LA CORDILLERA

En un trabajo reciente sobre la cordillera entre los 20 y 40° S, acompañado por un mapa en 1:2.500.000, he dilucidado la composición y la estructura de este tramo de una "cadena de plegamiento".

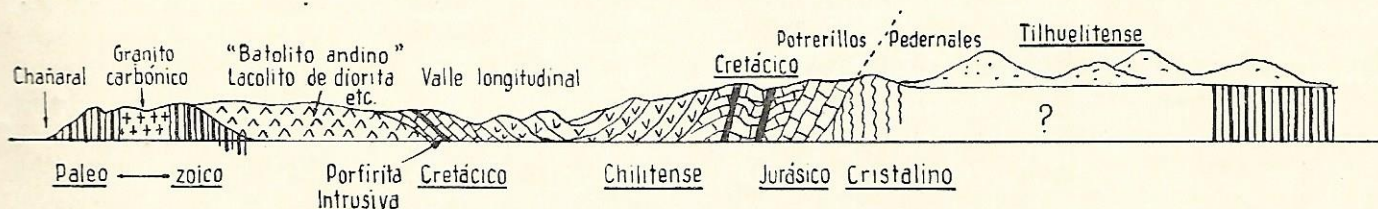


Fig. 13

He llegado a establecer que la Cordillera Frontal, consistente en las sierras del Arroyo Hondo, del Plata, del Tigre, del Espinacito, de Alma Negra, del Mercedario, de Ansilla, de Olivares, de Conconta, de Colanguil, de San Guillermo, de la Brea y su prolongación por el borde oeste de la Puna con asomos al Oeste de Antofalla, en el salar Pedernales, Arizaro, etc., constituye el ala oriental de un "megasinclinal", cuyo eje concuerda con el Valle Longitudinal de Chile. Su ala occidental está formado por la Cordillera de la Costa, consistente en sedimentos paleozoicos, en especial carbónicos, con participación de rocas proterozoicas, todo intruido por granitos del Carbónico superior y pórfiros de esta edad, conjunto mochado por erosión pérmica y cubierto discordantemente por sedimentos triásicos marinos y terrestres, serie entre cuya parte superior se intercalan hasta 3.000 m de porfiritas, keratófiros y pórfiros del Choiyolitense. Sigue Jurásico y Cretácico marino con participación de rocas mesosilíceas en el Lías y Malm, acaso también en el Cenomaniano-Turoniano. En el ala oriental se repite esta constitución con exclusión de las efusiones mesosilíceas del Malm y Cretácico.

El ambiente de la Cordillera Frontal se eleva a más de 6.000 m de altura y el ala occidental asoma sobre el mar sólo en tramos estrechos y de algunos cientos de metros de elevación. Su cubierta sedimentaria y efusiva se inclina débilmente al este, mientras que las del ala oriental acusan una fuerte inclinación al

oeste, un violento plegamiento, hasta un intrincado amasamiento. En la faja axil del megasinclinal penetró el llamado "gran batolito andino" que se expandió bajo la forma de lacólito y fué dividido o digitado en "filones capas" muy potentes entre las láminas del conjunto sedimentario-efusivo mesozoico, apoyándose en el zócalo de gestión hercínica y su superficie mochada. Tal penetración se ha dirigido de preferencia al oeste de la faja axil del megasinclinal y ha digerido y asimilado en gran escala, en especial los miembros sedimentarios de la serie mesozoica. La penetración tuvo lugar en el Santoniano.

Todo este conjunto soporta con discordancia el complejo importante por su potencia y extensión que abrazamos con el término "Chilelense", cuya parte inferior es maestrichtense y es seguida por el ente se-

dimentario paleoceno del Patagónico I (paleoceno) de Nahuel Huapi = Trafulense = Lonquimay = Cuevense = Saldeño (del alto Tunuyán) estratos del Valle del Cura = Terciario de los ríos Pulido, Jorquera y Figueroa = Purilactis, Pular y cuya parte superior, nuevamente eruptiva, cae en el Paleoceno superior y el Lutetiano-Auversiano, siendo de notar que el Chilelense inferior y el Paleoceno sedimentario están separados por una discordancia regional vasta.*

El ala oriental ostenta notable aplastamiento tectónico de los entes mesozoicos y perturbación del conjunto chililense, donde el ambiente de la Cordillera Frontal se eleva a gran altura, pero muestra "apaciguamiento" tectónico al sur del río Diamante, donde se hunde este ambiente y desvía su rumbo hacia el SSE. La prolongación del ente estructural de la Cordillera Frontal se denuncia en una hilera de braqui-anticlinales oriental y marginal que alcanzan mayor elevación estructural que los anticlinales del interior. Estos entes tectónicos terminan contra el pasador de cristalino del centro del Neuquén, ramificación de la masa norpatagónica.

El cuadro estructural cordillerano al N del paralelo 39° S es común a todo el resto de los Andes sudame-

* Se ha notado que gran parte de lo que figura en la citada publicación como "Diamantelense" es decir como erupciones del Cenomaniano-Turoniano, puede ser asimilado al Chilelense inferior.

ricanos. Conocida es la división de la misma en Perú en "Cordillera Oriental", de constitución paleozoica y cristalina y prolongación de la Cordillera Frontal y en "Cordillera Occidental" de constitución mesozoica; entre las dos componen el ala oriental del megasinclinal cuyo eje corre por la cercanía de la costa y cuya ala occidental se halla casi del todo hundido en el Pacífico.

Este ordenamiento estructural continúa al N hasta el mar Caribe, correspondiendo la Cordillera Central a la Frontal y la Occidental, como en Perú y Ecuador a la Principal de Argentina-Chile. En la península de Paita y Esmeralda se asoma el ala occidental del megasinclinal del sur.

Esta reseña permite cerciorarse de que el plegamiento de la cordillera está confinado al ala oriental del megasinclinal y que se debe al deslizamiento de su cubierta sedimentaria mesozoica (y paleocena mixta efusiva-sedimentaria) hacia el eje del megasinclinal, conforme con la idea de Reyer (II, 33) y al concepto de Kober (II, 27).

La sobre elevación del ente estructural de la Cordillera Frontal y su vuelco hacia el eje del megasinclinal se explica, como ya expuse, por la concurrencia de porciones siálicas del antepaís oriental hacia la faja a la que se desplazó gravitacionalmente el megasinclinal; estas porciones se intercalaron por "subempuje" o "subcorrimiento", por "Unterschiebung" o "underthrust" entre el basamento y los componentes de la cordillera Frontal, elevándola y volcándola de esta manera.

La época a que pertenece este mecanismo abarca el Santoniano Paleoceno y Eógeno y termina con el segundo movimiento andino = sávido de Stille (II, 38) que se coloca entre el Chattiano y Aquitaniano.

CONSIDERACION TECTONICA GENERAL

Dados estos hechos, no hay lugar a la intervención de morsa alguna entre cuyas mandíbulas se haya producido el plegamiento que es confinado a ala oriental del megasinclinal y falta en el ala occidental por su escaso buzamiento. Las rocas paleozoicas y proterozoicas del antepaís oriental no muestran ningún fenómeno de compresión, por el contrario, la faja de la corteza terrestre a que pertenecen, ha sido distendida y dividida en bloques fracturados, volcados al Oeste o separados por "bolsones" o sea por "graben".

Es, pues, incuestionable que la formación de la cordillera es debida a la concurrencia gravitacional de los componentes de la faja contigua — más ancha — a la depresión megasinclinal.

El proceso no se limita al ala oriental del megasinclinal, es, en cambio, bilateral aunque dispar en

tiempo, porque, en el ala occidental es de iniciación reciente, casi actual, mientras que en su "pendant" está prácticamente finiquitado. Es por ello que los sismos del ala este y de su antepaís oriental son de gran mansedumbre, mientras que los del ala oeste se destacan por su gran frecuencia y violencia.

Las dislocaciones ascensionales y su edad han sido reconocidas por Brueggen (II, 4 bis) para las regiones de Iquique — Cobija — Pampa de Tamarugal y de Antofagasta — Mejillones.

En la primera de ellas, el relleno del Valle Longitudinal, a cuya superficie corresponde la de la Pampa de Tamarugal y que consiste en material de rodados del segundo nivel de pie de monte o de mesetas de la edad del englazamiento Colorado = Mindel, llega por escotaduras en las lomas de la cordillera de la Costa hasta el precipicio que cae en desnivel de 1.500 y más metros al Pacífico. En la cornisa aflora el perfil del relleno, principalmente formado por rodados entre los cuales se intercalan depósitos areniscosos y bancos de tobas blancuecinas mesosilícicas (dacíticas) del Tilhuelitense inferior de la citada edad Colorado = Mindel.

Sobre esta "pampa" se elevan lomas y cerritos, algunos de ellos cubiertos de guano, en especial de pingüinos, cuyos esqueletos se encuentran esparcidos entre el depósito.

El ascenso de la Cordillera de la Costa y de la Pampa del Tamarugal es, pues, posterior a Colorado = Mindel.

Sobre la superficie de esta Pampa se asientan los volcancitos numerosos traquítico-dacíticos-liparíticos del Tilhuelitense superior que es en edad paralelo al englazamiento Diamante = Riss. De ellos se derivan los depósitos de las salitreras del norte de Chile. Ellas se hallan en sartenes, en hondonadas primitivas del segundo nivel de pie de monte o de mesetas. Algunas de ellas llegan hasta las inmediaciones del precipicio.

Podemos, pues, circunscribir la edad del comienzo del ascenso de la Cordillera de la Costa de Iquique etc., más estrechamente y ubicarlo aproximadamente en el comienzo del último Interglacial = Diamante/Atuel = Riss/Würm.

A esta juventud corresponde la caída empinada y el carácter de garganta rocosa de los pocos surcos de desagüe que conducen de la Pampa del Tamarugal al mar. Asimismo, le corresponde una superficie casi plana de fractura, aún prácticamente intacta. Se distinguen dos etapas de elevación, una que es la mencionada y otra menor, con desplazamiento de 200 y 250 m, igualmente con montículos de cubierta de guano que forma un escalón al pie del barrancón mayor.

La península de Mejillones es cruzada por fractu-

ras meridionales predominantes y transversales menos pronunciadas, que circundan bloques sobre algunos de los cuales se hallan sombreros de ripio con conchilla marina hasta 850 m sobre el nivel del mar y con montículos sobresalientes con guano y restos de pingüinos subrecientes.

Los desplazamientos son pues, neocuartarios y contemporáneos.

El levantamiento de la zona costera (y con ella desde luego todo el sector contiguo del continente) del N de Chile, es especialmente intenso y comienza a hacerse sentir al S y al N de la zona. Por ejemplo: los "tablazos" del Perú indican que el ascenso actúa también allí. Se debe a intercalación, a "Unterschiebung" o "subempuje" desde el oeste. El ascenso progresa al S hasta el Ñuble y Bío Bío.

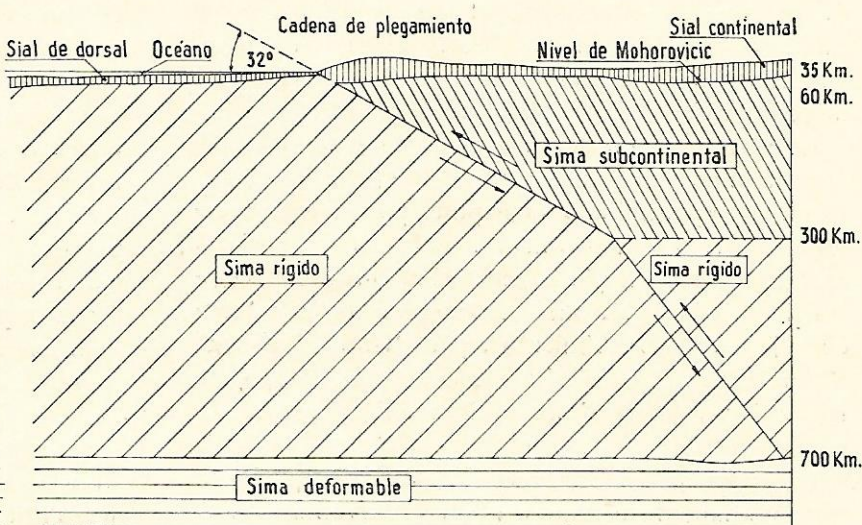
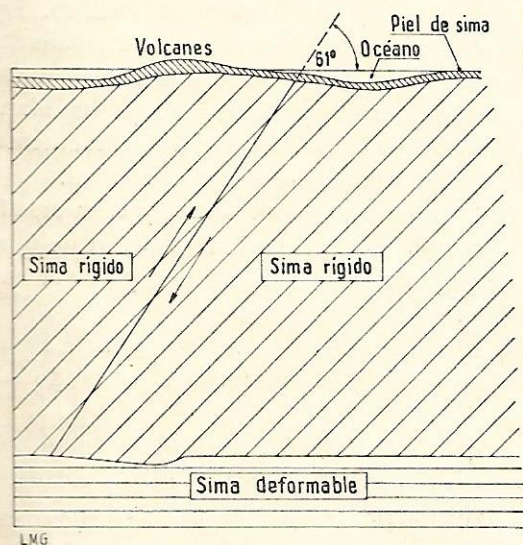


Fig. 14

Este punto de vista, decididamente sostenido por el autor de estas líneas en 1927 encuentra su corroboración en los resultados sismológicos modernos que llevaron a Benioff (II, 3) a trazar un corte esquemático que acompaño (fig. 14).

A los -700 km se localizan los focos de los sismos profundos que parten generalmente de los ámbitos oceánicos. Los que parten de los -300 km se originan en ámbitos subcontinentales.

Se destaca claramente el sentido de los desplazamientos por fallas y es de especial interés (para el autor) que los "subempujes" —"Unterschiebungen", "under-thrusts"— se confirman con las observaciones sismológicas. Estos fenómenos sísmicos se originan en los bordes de las cadenas de "plegamiento".

En el perfil esquemático de Benioff (II,5) se observa la fuerte inclinación de los planos de fractura, que figura también en el corte ideal con que el autor

de estas líneas ilustró su exposición de 1927 (II,13). Tal inclinación posibilita el deslizamiento de porciones continentales a hondonadas, con lo cual se producen plegamientos y aparentes "sobreescurrimientos". Los ángulos de 30-32° y de 61° han sido obtenidos por vía sismológica para las inclinaciones de los planos de las fallas.

PLEGAMIENTO Y DISTENSION

Lo dicho es testimonio de que la distensión de la Tierra tiene como consecuencia, el plegamiento de determinadas fajas de la superficie y esto en los márgenes de las masas continentales. No se trata, pues, de fenómenos en pugna, sino de diferentes aspectos de un mismo proceso.

El plegamiento es exclusivo del sial; los fondos oceánicos son llanos y no ostentan ese fenómeno. Ellos pueden tener lugar en dorsales siálicas, como lo parecen indicar asperezas del relieve de parte de la dorsal axil del Atlántico y, ante todo, Nueva Zelandia que, con espesor de sólo 20 km nació como emergencia plegada, a causa de sial de escaso espesor primitivo en una hondonada del substrátum símico.

Una consideración de las cadenas terciarias desde el punto de vista enunciado podrá ser objeto de otro estudio.

ACTIVIDAD IGNEA

La actividad ígnea, a la par de la sismicidad, suministra elementos de juicio referentes al interior de la Tierra. Como base puede servir el vulcanismo andino y el intrapacífico. El primero es parte importante del "cinturón de fuego" circungondwánico del que, jun-

to con la Tierra de Graham, abarca la mitad; además es exponente del vulcanismo "circumpacífico" o sea de la casi totalidad del fenómeno. El vulcanismo "intrapacífico" no le va en zaga en cuanto a su importancia regional, aún lo supera en volumen.

Cada uno representa no sólo una provincia magmática regional, sino también un conjunto de distinta procedencia y distinto origen.

El vulcanismo circumpacífico es mesosilícito, el intrapacífico símico.

a) Si en el ambiente intrapacífico se presentan andesitas y liparitas y si éstas están emplazadas en girones de sial dispersado, como en los casos de las islas de Bo-

ta Elena y otras y Lacroix (II,30) de la de Reunión y otras vecinas a Madagascar. El volumen de tales diferenciaciones es insignificante frente al de las masas de material símica intrapacífico; ellas traen a colación la aparición de rocas pobres en sílice de porte "alcalino" igualmente de volumen irrisorio y carentes del significado que se les ha querido adjudicar desde el laboratorio. Su volumen llega a pocas decenas de km^3 , mientras la masa de sima producido en el interior de Pacífico llega 60.000.000 km^3 o más.

Este clan de magma, al entrar en contacto con el sial, se mantiene estrictamente apartado de éste, como asimismo del magma mesosilícico activo que puede coe-

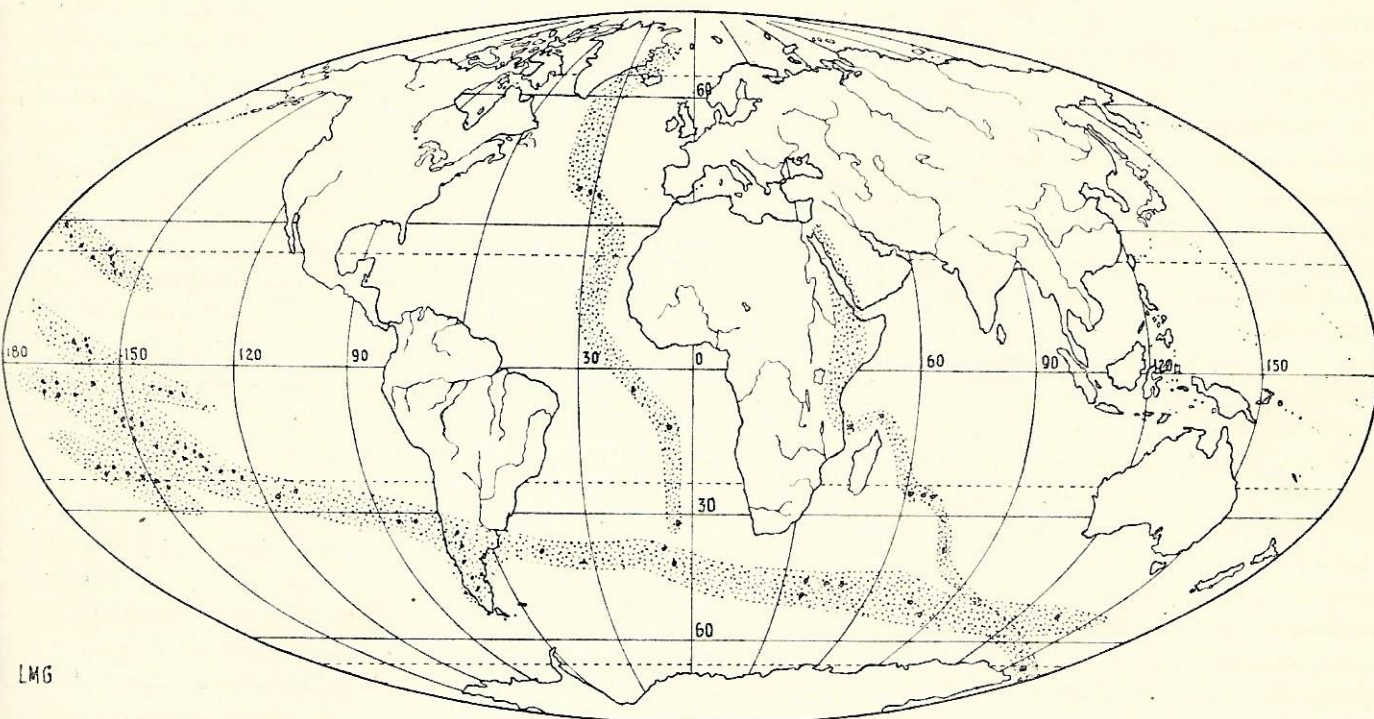


Fig. 15

Banda pacífico-sudamericana-suratlántica-surindica de vulcanismo símico terciario.

Desde las islas Samoa-Takelau-Phoenix se extiende una banda inclinada 10° contra los paralelos en forma rectilínea y helicoidal con respecto a la Tierra hasta $135^\circ \text{E}/50^\circ 10' \text{S}$, completando casi un giro completo en torno de ella. Está jalonada por las islas Cook-Tubuai, Manihiki Société-Paunotu-Pitcaira-Pascua-Salas y Gómez-San Antonio-Juan Fernández y la hilera Palmyra-Christmas-Marquesas, más el agregado lateral de las islas Hawai-Midway. La banda cruza Sud América al S de 35°S y está representada por erupciones que abarcan Paleoceno a Cuaternario hasta Magallanes. En el Atlántico le pertenece verosimilmente la elevación emplazada en medio de la boya argentina a $41^\circ \text{S}/46^\circ \text{S}$ llamada Banco del Sur y las islas Tristán da Cunha, Gough y Bouvet; en el Indico los umbrales coronados por los grupos de islas Prince Edward-Crozet-Kerguelen-Head-Mac Donald y una elevación submarina (-2818 m) sita a $50^\circ 10' \text{S}/135^\circ \text{E}$, más el grupo de New Amsterdam.

Se recoge la impresión de que se trata de un sistema de grietas paralelas a veces tupido, a veces ralo, consecuencia de una distensión de toda la Tierra con tendencia de localización ecuatorial, pero desviada helicoidalmente.

nin, Marianas y Carolinas o en las de Filipinas, Japón Kuriles y Aleutinas, se trata de efusiones mesosilícicas. En tal caso el grueso del material efusivo mesosilícico; si hay alguna colada de basalto, se trata de un fenómeno de diferenciación. Si hallamos en especial traquitas o traquiandesitas en un gran centro eruptivo basáltico, estamos frente de una diferenciación de basalto, tal como lo describió Daly (II,7) de la isla San-

xistir en la misma zona. Así acontece en Argentina, donde la zona andina, como toda ella, contiene una faja mesosilícica que actuó intermitentemente desde el Triásico medio, que se instaló en ella conjuntamente con el geosinclinal andino y donde apareció en el Paleoceno también el magma símico. Si éste es dispar en tiempo, lo es también regionalmente, porque ocupa una zona transversal a la andina y se expande amplia-

mente a la Patagonia extraandina, donde adquiere su mayor volumen. Pertenece, no a la zona andina, sino a la banda de efusiones basálticas que figuran en fig. 15 que se analiza luego.

Otro ejemplo de masas efusivas símicas expandidas sobre plataformas continentales en vastas proporciones consiste en la serie de mantos de meláfiro nórico del continente Gondwana que cubren en América y África del Sur más de 2.10^6 km², sin que haya asimilación de sial subyacente.

Tampoco se produjo tal asimilación al afluir el sima, en tiempo terciario a Abisinia y Somalia y lo mismo vale para las efusiones de basalto emplazadas sobre la dorsal atlántica que, su paso a través del sial sólo lograron arrancar trozos de gneis, granito y esquistos cristalinos y albergarlos como xenolitos en sus aparatos volcánicos de superficie; lo mismo sucede con los aparatos volcánicos superpuestos a la "meseta Albatros", situado al oeste de América del Sur.

El clan de las rocas símicas carece de capacidad para incorporar sial y para mezclarse íntimamente con él, dando lugar a la generación de magma mesosilícico que carece de patrimonio metalífero. Con ello delata su procedencia desde el manto símico, de la zona situada entre los -700 y -1200 km. Su aparición en superficie no se debe a que su magma esté capacitado para abrirse paso a través de la corteza suprayacente, pues se requiere la abertura de grietas para que sea posible su evasión que, verosíblemente es pasiva y debida a ajustes de equilibrio isostático.

b) El clan de las rocas mesosilícicas ha nacido de la mezcla de material símico y siálico, normalmente inmiscibles y, por su inercia, incapaces de asimilación mutua, tal como lo deja ver su comportamiento anotado en las líneas precedentes.

Para el magma mesosilícico es característica su tenencia de óxidos y sulfuros de metales pesados que se interpreta lógicamente como aporte desde el manto correspondiente. En vista de que este manto se muestra inerte e inactivo, sus materiales deben ser acarreados por "fuerzas endógenas" oriundas de niveles más profundos, emanadas del núcleo. Se deduce que la generación de magma mesosilícico y su dotación de materiales de mantos infrastantes se debe a afluencia de materia solar desde el núcleo, en especial de sus gases que dan lugar a desplazamientos ascendentes de componentes de estos mantos y a la activación de los mismos. Las guías de afluencia se amplían en forma algo abanicada, al disminuir la contención lateral y la carga y se establecen fajas de asimilación del manto siálico por el sima activado y magma mesosilícico, propio de las zonas de debilidad y de diastrofismos, que son consecuencia de la inestabilidad provocada por las "fuerzas endógenas" con sede en el núcleo. Se explica, pues, el por-

que de la esterilidad de las provincias magmáticas de carácter símico exclusivo y el patrimonio variado de sustancias con sede en los mantos infrastantes, hasta en el núcleo. En este conjunto de antecedentes es decisiva la dotación de uranio, característica del Chilelítico superior, tal como lo muestran las experiencias acumuladas por Stipanovic (com. verb.) En el mismo ámbito se interpreta la presencia de baritina y cobre en el Neuqueniano, de acuerdo con las observaciones del doctor De Ferrariis, minerales descendientes del uranio.

Ejemplo destacado de la actividad magmática mesosilícica es la que corresponde al circuito gondwánico. En su sección sudamericana llegó a producir desde el Triásico unos 7.000.000 km³ de material efusivo e intrusivo, cantidad que se incrementa en medida aun no calculable, en la cara pacífica de Antártida, en Nueva Guinea y Nueva Zelandia, acaso a 9.000.000 km³. Producción importante corresponde al Triásico y al Malm, más al Senoniano y Paleoceno. Se nota una acentuación durante el Terciario.

El otro ejemplo está representado por la banda marginal austral de vulcanismo de Laurentia que arranca en el este con las Antillas Menores y Centro América en dos ramas de nacimiento en el Terciario superior, por ello reputables como independientes, y contornea el Pacífico por el norte hasta las Filipinas con masas mesosilícicas que p. e. en estas últimas comprenden el Mesozoico y parte del Terciario, tal como sucede también en Indonesia donde termina prácticamente este conducto, siendo esporádicas y pequeñas sus manifestaciones en el mar de Thetys de Eurasia.

Como tercer ejemplo puede figurar el conjunto mesosilícico que se liga a la formación de Angara y se desarrolla sobre la cara septentrional de Laurentia.

Es notorio que las actividades geosinclinal-orogénica y la ígnea-mesosilícica han sufrido una restricción creciente a través de la historia geológica. Ambos fenómenos fueron casi ubicuitarios en el Arqueozoico y cercenados en el Proterozoico, en especial en el superior y fueron limitados a fajas cada vez menos frecuentes y menos amplias desde el comienzo del Paleozoico. Conocida es la yuxtaposición de las fajas orogénicas caledónica, hercínica (variscica) y terciaria, marcadamente decrecientes en ancho e importancia. El fenómeno denota un decrecimiento de la efectividad de las "fuerzas endógenas", sea por merma de la cantidad de las sustancias capaces de actividad, sea por creciente espesor y rigidez de los mantos.

Si bien en todo tiempo han aparecido rocas símicas en la superficie de la Tierra, empezando por los "greenstones" proterozoicos, no se ha contado hasta el Triásico con efusiones areales que hayan cubierto millones de kilómetros cuadrados. Según los datos cono-

cidos se trata de una adquisición relativamente reciente que va en aumento. Testimonio de ello es la actividad símica terciaria a la que corresponde la producción de 60.000.000 km³ de rocas básicas (o más) en el ámbito del Pacífico y la banda de tales rocas que rodea el hemisferio sur. Complementario de este fenómeno es el del agrietamiento meridional del valle del Jordán, Mar Muerto, Mar Rojo. Africa del Este, Indico Sudeste con aparición de Sima en Jordania. Arabia, Abisinia, Somalia, Africa del Este, islas Comoras,

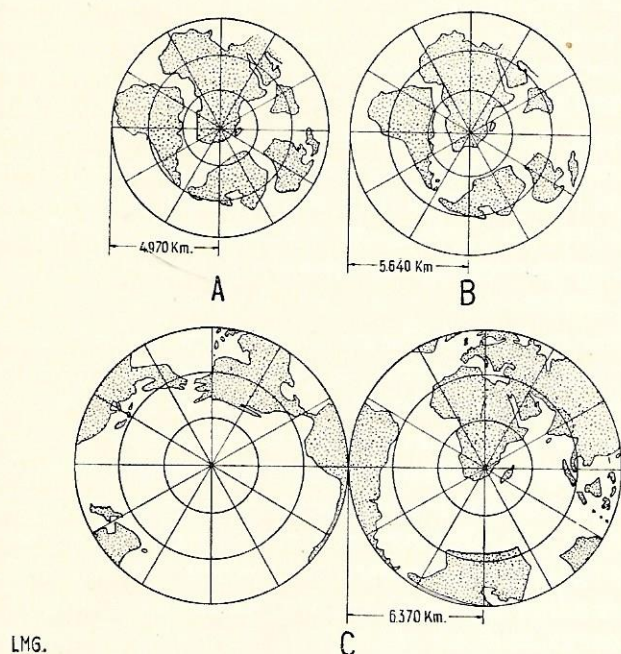


Fig. 16-a-c

Amirantas, Seychelas, Garayos y Mascarenas (Nueva Amsterdam) y la línea pobremente dotada de vulcanismo símico que recorre meridionalmente el Atlántico.

Sin dificultad se atribuye estos fenómenos a una sola causa: al agrietamiento de la corteza por distensión.

En las figuras 16a-c se resumen las etapas de transformación habidas en el hemisferio gondwánico desde al Paleozoico inferior/medio hasta el Pérmico y de allí a la actualidad. Para una confrontación adecuada de estas transformaciones se ha usado la proyección polar referida al polo S gondwánico, ubicado al N de Transvaal y se la ha aplicado a los tres estados considerados, pese a que este polo ha migrado en el lapso de tiempo abarcado debido a las transformaciones. Dado que se ha desplazado desde el Pérmico del Sur de Africa a la Antártida, es verosímil que haya migrado también desde el Paleozoico inferior/medio

al Pérmico, pero por ahora no se dispone de datos precisos al respecto

No se duda de que el traslado desde el Pérmico a la actualidad ha correspondido tanto al polo geográfico, como al magnético. La falta de coincidencia de ambos y la no-oposición exacta de los polos magnéticos S y N actuales, hace suponer que los ambientes que determinan el magnetismo están en retardo en su ajuste con las condiciones que han dado lugar a la migración de los polos geográficos. Esta no-coincidencia puede radicar en esto:

A los -700 km se encuentra el límite del sima rígido y del sima deformable y ello implica la posibilidad de que el primero tenga la facultad de desplazamiento independiente del segundo, dada la plasticidad de éste. En ello estaría la causa de los sismos profundos que parten de los -700 km.

La migración dispar de los polos geográfico y magnético puede ser explicada como sigue: al dirigirse materiales de desintegración radioactiva hacia el manto en formación y hacia "zonas de debilidad" en que termina superficialmente un sistema de grietas radiales, puede desequilibrarse el interior de la Tierra, amoldado a la influencia de la rotación y dividido en elipsoides más o menos concéntricos, aumentando o disminuyendo el peso de los mantos atravesados por tales grietas. Tales irregularidades son tanto más verosímiles, cuanto que la Tierra no es un elipsoide de rotación perfecto, por lo cual se le ha dado el nombre de geoide. Si ello rige para la forma exterior, donde la velocidad de rotación es de 463 m/sec, más lo hará p. e. a un nivel de -2.900 km donde la velocidad de rotación es de sólo 279m/sec y la influencia reguladora de la fuerza centrífuga es proporcionalmente menor. Es, pues, factible que la orientación de la Tierra en el espacio se ajuste a la agregación "autónoma" de masa y que este "ajuste" sea inmediato en cuanto a su parte exterior dado que no hay roce con los materiales distribuidos en el espacio contiguo. Pero tratándose de mantos internos, por fricción de un manto con otro podría producirse un retardo. En este caso el manto en gestación y el nife serían los que han sufrido el retraso mencionado.

La posición no simétrica de los polos magnéticos puede tener su explicación en lo mismo.

La irregularidad anotada se expresa también en la modificación continua de la declinación e inclinación magnética.

Al manto-nife debe darse preferencia como portador del magnetismo frente al manto silicatado y al de los óxidos y sulfuros cuyos representantes carecen prácticamente de esta propiedad. El estudio del paleomagnetismo puede suministrar amplia información al respecto.

La comparación de las figuras ilustra, pese a los inevitables defectos de su construcción, el crecimiento de las áreas de las ventanas símicas a través de las etapas representadas, crecimiento que es especialmente acentuado en la última etapa. La proyección elegida permite reconocer con facilidad que la dispersión de los entes continentales gondwánicos ha sido radial con respecto al polo de aquella época, de suerte que ellos se agrupan con su grueso sobre el ecuador correspondiente a este polo, así América del Sur, Eurasia y Australia, no habiéndolo logrado del todo Antártida y América del Norte; es inverosímil que Antártida haya emprendido un traslado de regreso, después de haberse ajustado sobre el ecuador gondwánico, porque subsiste la discrepancia entre la ubicación de los polos geográficos y magnético.

Disponemos de un indicio en cuanto a la época en que subsistía todavía la ubicación gondwánica de los polos geográficos S y N; este indicio consiste en la banda de erupciones básicas, símicas anotada en la fig. 15. Esta banda se extiende desde el polo "gondwánico" norte, sito en la extremidad SE de las islas Hawai hasta el polo S actual y parece corresponder a un agrietamiento del sima rígido durante la época del traslado de los polos. El tramo de la banda correspondiente al Pacífico ha de corresponder al tiempo en que el polo N estaba por la actual Honolulu y era de orientación meridional con respecto a las coordenadas de entonces; la porción atlántica de la misma acusa ya una desviación del rumbo porque no se dirige derechamente al polo S gondwánico, sino que pasa a unos 20° de él y se encorva en el índico hacia el polo S actual, cuya dirección toma decididamente en el mar de Ross a partir de las islas de Scott y Balleny. Siendo la banda de efusiones símicas provocada por un agrietamiento meridional, tal como la que recorre el Atlántico y la faja Jordán-Mar Rojo-Africa Oriental-círculo N y E de Madagascar, su torsión en el Atlántico e Índico Sur denota un cambio en la dirección de los meridianos. Dado que las efusiones son, en el Pacífico Sur, del Terciario antiguo y en el ámbito índico más recientes, en especial en el mar de Ross, se puede admitir que la migración de los polos es de fecha relativamente reciente, neógena y cuartaria. El escaso tiempo transcurrido haría plausible la no-coincidencia de los polos geográficos y magnéticos, debido a la tardanza del nife en ajustarse a las nuevas condiciones en comparación con el sima superior, movable tangencialmente sobre el sima deformable.

APENDICE.

LA TIERRA, ELIPSOIDE DE TRES EJES

Los que como Helmert (II,24) han calculado con gran esmero y circunspección, geodésicamente las di-

mensiones de la Tierra sobre la base de su forma de elipsoide de rotación, teniendo en cuenta la atracción de la Luna y la ligera excentricidad de su centro de gravedad, han descartado categóricamente la posibilidad de que el globo terráqueo pudiera poseer 3 ejes.

Sin embargo está bien comprobado que su elipsoide tiene fuera de su eje N-S otros dos ecuatoriales, de los cuales el mayor emerge en el meridiano de Greenwich según los cálculos hechos por Heiskanen (II,25)

Su longitud es de 6.378.534 m contra 6.378.241 en Estados Unidos; a los 90 grados de longitud, tanto Oeste como Este; la diferencia de los ejes sería $a-b=242m$.

Dada la exigüedad de la diferencia, cabe encarar la posibilidad de que no corresponde darle la categoría de polo de eje a la eminencia situada sobre el meridiano de Greenwich, máxime que se asemeja a las irregularidades que se asignan al geoide, para el que se acepta una elevación hasta de 400 m en el ámbito de los continentes y una depresión de hasta -200 m en el de los océanos.

Estas irregularidades esbozadas en forma precaria y esquemática (ver el mapa mundi con curvas de nivel del geoide adherido a la obra de Helmert—I.c.) pueden ser tenidas por signos de distensiones verticales y tangenciales del globo. La representación gráfica de los desniveles del mapa citado y la de Hayford para U.S.A. dan solamente una idea somera y general de las formas para cuya fijación exacta no se dispone aun de observaciones geodésicas suficientemente densas.

Es posible que el conocimiento de mayor detalle ilustrará las vías de distensiones de la Tierra.

IRREGULARIDAD DE LA POSICION DE LOS POLOS MAGNETICOS

Que fuerzas internas de la Tierra modifican sus formas debidas a la rotación queda, además, atestiguado por la gran irregularidad de la posición de los polos magnéticos. El septentrional dista del Polo Norte casi 20° de latitud, el austral unos 15° de latitud del Polo Sur; tampoco se hallan sobre la misma longitud. Tal disparidad es inexplicable sobre base geodésica, pero ya no al contar con las migraciones de porciones corticales desde el Proterozoico.

RESUMEN

Lo expuesto precedentemente puede ser condensado en el cuadro histórico de transformaciones jaladas que se expresan con los datos del cuadro adjunto.

I. La máxima edad atribuida a la corteza terrestre, trasluce del cómputo compilado por Ahrens (II,1 pág.

Epoca en años	Superficie en 10 ⁸ km ²	Radio en km	Volumen en 10 ¹¹ km ³	Masa en 10 ¹¹ kmt	Densidad	"g" en cm. sec-2	Longitud del ecuador en km	Duración del día
I -3,5:10 ⁹	2,2	4200	3,13	59,55	19,5	2260	26390	15 ^h 17'
II -6,2:10 ⁸	3,1	4970	5,142	"	11,6	1610	31327	18 ^h 47'
III -2,8:10 ⁸	4,0	5642	7,58	"	7,9	1251	35437	21 ^h
IV actual	5,1	6370	10,828	"	5,5	981	40025	24 ^h
V 2,77:10 ⁸ a 3,8:10 ⁸	5,908	6857	13,497	"	4,4	846	43080	25 ^h 49'

160), donde figuran hasta $3950 \cdot 10^6 \pm 300 \cdot 10^6$ años, con una máxima edad de la Tierra en sí de 5300 a $5500 \cdot 10^6$ años. (ib. pg. 165). Para la época en que la corteza siálica era coherente podemos elegir la primera de estas edades. En tiempo anterior se habría producido o empezado la ordenación de las sustancias según su peso, correspondiendo la posición exterior a la menos densa que ha de haber sido la que dió nacimiento a los elementos litófilos y que sería el elemento 85 de peso atómico 175 postulado por Kober.

Parcialmente simultánea y mayormente posterior habría sido la generación de las sustancias componentes del sima, aun esencialmente litófilas, pero con agregados de mayor peso.

En vista de que desintegración significa formación de sustancias considerablemente menos densas que la sustancia-madre, es admisible que una primera distensión de la Tierra afectó la corteza siálica.

Es de presumir que las corrientes convectivas de aquella época eran casi ubicuitarias de manera que sus ramas descendentes pudieron aportar materiales al sima subyacente, aunque aun sin alcanzar las proporciones actuales.

Puede admitirse que el proceso de desintegración de sustancias radioactivas haya dado lugar a la formación del manto de óxidos y sulfuros y, luego, del "nífico"

BIBLIOGRAFIA *

- 1955 AHRENS, L. H. Oldest rocks exposed. Crust of the Earth. (A Symposium) Geol. Soc. America. Spec. Paper 62.
- 1906 AMPFERER, O. Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanstalt XVI/3-4.
- 1955 BENIOFF, H. Seismich evidence for crustal structure. Crust...
- 1892 BERGHAUS, Physikalischer Atlas. Gotha. Justus Perthes. Gotha
- 4 bis. BRUEGGEN, J. Fundamentos de la geología a Chile.
- 1949 BUBNOFF, S. von. Einführung in die Erdgeschichte. Halle.
- 1850 BUCH, L. von Die Anden von Venezuela. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges. II. Berlin.
- 1915 DALY R. Igneous rocks and their origin.
- 1863-1895 DANA J. D. Manual of Geology. 5 ediciones.
- DARWIN, Ch.
- 1955 ERWIN, M. y PRESS, F. Geophysical contrasts between continents an ocean basins. Crust... (1)
- 10a. EWING E. y HEEZEN, B. Puerto Rico Trench, ibídem (1).
- 1955 GILLULY, J. Geologic contrasts between continents and ocan basins. Crust... (1).
- 1950 GERTH, H. Die Ammonoideen des Perms von Timor und ihre Bedeutung für die stratigraphische Gliederung der Permformation. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. Abhandl. T. 91. B. Stuttgart.
- 1927 GROEBER, P. Tectónica teórica y provincias magmáticas. Bol Acad. Córdoba XXX. Córdoba.
- 1938 GROEBER, P. Texto de Mineralogía y Geología. Espasa Calpe, Buenos Aires.
- 1938 GROEBER, P. El océano Atlántico y el Mediterráneo americano. An. GAEA VI.
- 1958 GROEBER, P. La Cordillera entre 20° y 40° S. Bol. Acad. Córdoba.
- 1958 GROEBER, P. Supracretácico y Terciario. Geografía de Argentina, GAEA t. II/2
- 1923 GUTENBERG, B. Theorie der Erdbebenwellen und verwandter Erscheinungen, sowie deren Bedeutung für die Erkenntnis des Erdinnern, en SIEBERG, Erdbebenkunde op. 4.
- 1955 GUTENBERG, B. Wave velocity in the Earth's Crust. Crust. . . (1)
- 1942 HARRINGTON, J. H. Algunas consideraciones sobre el sector argentino del geosinclinal "Samfrau". Anal. Prim. Congr. Panam. d. Ing. d. Min. y Geol. Santiago, Chue.
- 1947 HARRINGTON, J. H. Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierra Cura Malal y de la Ventana, Bol. Dir. N. Geol. Min. 61.
- 1905 HAUG, E. Trató de Geologie. Paris Hachette.

* La seria enfermedad que aqueja al autor, le ha impedido poder completar esta bibliografía, en momentos en que el trabajo debía entrar en máquina.

23. 1903 HECKER, O. Bestimmung der Schwerkraft auf dem Atlantischen Ozean, in Rio de Janeiro, Lissabon u. Madrid. Veröff. d. Kgl. preuss. Geodöt. Indtit. N.I. 11. Berlin.
- 23a. 1908 HECKER, O. Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Grossen Ozean und an deren Küsten. Veröff. d. Zentralbureaus d. Internat. Erdmessung. 18 Berlin
24. 1880/1884 HELMERT, F. R. Die Mathematischen und physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, I. II Leipzig. Teubner.
25. HEISKANEN: Über die Ellipizität des Erdaequators. Veröff. des finnischen Geodät Institutes, N° 12, 1929. Helsinki
26. 1916. KEIDEL, H. La geología de las sierras de la provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud Africa y los Andes. Annal. Min. Agric. Secc. Geol., Mineral. y Min. XI/3. Buenos Aires.
27. 1929 KOBER, L. Der Bau der Erde. Wien.
28. 1949 KOBER, L. Vom Bau der Erde zum Bau der Atome. Wien. Universum.
29. KOSSMAT, F.
30. LACROIX.
31. 1910 MOHOROVICIC, A. Das Beben vom 8.X.1909. Jahrb. d. Meteorol. Observ. Zagreb. 9. t. 4. A1. Zagreb.
32. 1921 REED, COWPER. The Geology of the British Empire. London. Arnold
33. 1888 REYER, E. Theoretische Geologie. Stutgart. Schweizerbart.
- 34.
35. 1930 SALOMON CALVI W. Die Bedeutung der Wegener'schen Kontinental verschiebungstheorie. Naturw. Monatshefte X/3.
36. 1932 SALOMON CALVI, W. Die Beweglichkeit der Festländer. Forsch. u. Fortschr. VIII.
37. 1927. SAPPER, K. Origen del relieve y de los contornos actuales de la América Central. Bol. d. l. Acad. Nac. Cienc. Córdoba. XXX.
38. 1924 STILLE, H. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin. Bornträger.
39. 1935 STILLE, H. Recent deformation of the Earth's Crust in the light of those of earlier epochs. Crust. . . (1)
40. 1885-1909 SUESS, E. Das Antlitz der Erde. Wien und Leipzig.
41. 1927 du TOIT, A. Geological comparison of South America with South Africa. Pub. Carnegie. Inst. Washington.
42. 1937 du TOIT, A. Our wandering continents. Edinbug.
43. 1934 VENING MEINESZ, F. A. Ergebnisse ser Schwerkraftbeobachtungen auf dem Meere in den Jahren 1923-1932. Ergebn. d. kosmischen Physik. II. Leipzig.
44. 1915 WEGENER, A. Ursprung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig. Vieweg.
45. 1886 WEIRAUCH: Über die Zunahme der Schwere beim Eindringen in das Erdinnere. Repertorium F. Experimental Physik (Carl Exner)

