



F.S.

Page 0

GEOLOGIA

## PRINCIPALES PUBLICACIONES DEL P. PUIG

1.	Se aproxima una sequía universal .....	0.20
2.	El sol y la tuberculosis .....	0.20
3.	El sol y el cáncer .....	0.20
4.	La paralización del mundo .....	0.20
5.	La expansión del Universo .....	0.20
6.	¿Cómo empezó el mundo? .....	0.20
7.	El Observatorio de San Miguel .....	0.30
8.	Astronomía popular .....	1.50
9.	La edad de la tierra .....	0.50
10.	¿Hay habitantes en Marte? .....	0.50
11.	Pluralidad de mundos habitados .....	0.50
12.	El fin del mundo .....	1.00
13.	La materia interestelar .....	0.20
14.	El planetario Zeiss .....	0.20
15.	Los rayos cósmicos .....	0.30
16.	Actualidades científicas, tomo I. ....	1.50
17.	Actualidades científicas, tomo II. ....	1.50
18.	Actualidades científicas, tomo III. ....	1.50
19.	Actualidades científicas, tomo IV. ....	1.50
20.	Actualidades científicas, tomo V. ....	1.50
21.	Los rayos Gurwitsch o mitogenéticos .....	0.30
22.	Las corrientes vagabundas .....	0.30
23.	Química inorgánica .....	6.00
24.	Química orgánica .....	6.00
25.	Mineralogía .....	4.00
26.	Geología .....	4.00
27.	Física .....	
28.	Cosmografía .....	

En venta en la Editorial LUIS LASSERRE

IGNACIO PUIG

Ex-Profesor del Instituto Químico de Sarriá (Barcelona, España)  
(Director del Observatorio de San Miguel (Argentina))

# GEOLOGIA

Responde ampliamente a los nuevos programas de los  
Colegios Nacionales, Escuelas Normales etc.



(48)

BIBLIOTECA NACIONAL  
DE MAESTROS

134X194

Editorial  
**LUIS LASSERRE**

S. R. LTDA.

LAVALLE 1101 - BUENOS AIRES

---

---

*Queda hecho el depósito que  
marca la ley 11.723.*

---

---

*Con las licencias necesarias.*

---

---

## INDICE DE MATERIAS

Prólogo .....	XV
<b>CAPITULO I. — Petrografía general</b> .....	1
1. Definición y división de la Geología. — 2. Geognosia. — 3. Definición y división de la Petrografía. — 4. Concepto de roca. — 5. División de las rocas por su origen. — 6. Métodos de estudio de las rocas. — 7. Separación de minerales. — 8. Investigación microscópica. — 9. Análisis químico. — 10. Estructura de las rocas. — 11. Composición química media. — 12. Composición mineralógica de las rocas. — 13. Minerales esenciales, accesorios y característicos. — 14. Tipos principales de rocas ígneas.	
<b>CAPITULO II. — Rocas ígneas</b> .....	11
15. Formación de las rocas ígneas. — 16. Diferenciación del magma. — 17. Ulteriores transformaciones de las rocas ígneas. — 18. Clasificación de las rocas ígneas. — 19. Rocas intrusivas. — 20. Granito. — 21. Sienita. — 22. Diorita. — 23. Gabro. — 24. Peridotita. — 25. Rocas filonianas. — 26. Granito porfírico — 27. Aplita. — 28. Lamprófido. — 29. Rocas efusivas. — 30. Pórfido cuarcífero. — 31. Porfirita. — 32. Meláfiro. — 33. Diabasa. — 34. Ofita. — 35. Andesita. — 36. Fonolita. — 37. Norita. — 38. Riolita. — 39. Traquita. — 40. Basalto. — 41. Vidrios volcánicos. — 42. Lava.	
<b>CAPITULO III. — Rocas sedimentarias</b> .....	31
43. Noción de roca sedimentaria. — 44. Formación de las rocas sedimentarias. — 45. Clasificación de las rocas sedimentarias. — 46. Generalidades sobre las rocas clásticas. — 47. Rocas psafíticas. — 48. Rocas psamíticas. — 49. Rocas pelíticas. — 50. Generalidades sobre las rocas químicas. — 51. Caliza. — 52. Loes. — 53. Sal gema. — 54. Sales potásicas. — 55. Rocas de origen orgánico. — 56. Rocas calcáreas. — 57. Rocas fosfatadas. — 58. Rocas silíceas. — 59. Rocas sedimentarias de origen volcánico.	

<b>CAPITULO IV. — Rocas metamórficas</b> .....	44
60. Noción de roca metamórfica. — 61. Idea sobre el metamorfismo. — 62. Metamorfismo de contacto. — 63. Metamorfismo dinámico. — 64. Metamorfismo regional. — 65. Clasificación de las rocas metamórficas. — 66. Gneis. — 67. Pizarras cristalinas. — 68. Cuarcita. — 69. Mármoles. — 70. Idea sobre los meteoritos.	
<b>CAPITULO V. — Geomorfología</b> .....	54
71. Concepto de geomorfología. — 72. Forma de la tierra. — 73. Achatamiento de la tierra. — 74. El geode y la superficie terrestre. — 75. Dimensiones de la tierra. — 76. Densidad de la tierra. — 77. Anomalías de la gravedad. — 78. Constitución de la tierra. — 79. Datos relativos a la atmósfera terrestre. — 80. Distribución de las tierras y de los mares. — 81. Bloques o plataformas continentales. — 82. Ideas generales sobre los bloques continentales. — 83. Cuencas oceánicas. — 84. Relación entre las grandes alturas y las grandes profundidades. — 85. Caracteres de las grandes cuencas oceánicas.	
<b>CAPITULO VI. — Biogeografía</b> .....	71
86. Generalidades sobre biogeografía. — 87. Causas determinantes de la estación de los seres vivos. — 88. Flora y fauna. — 89. Causas que influyen en la extensión de las áreas de dispersión de los seres vivos. — 90. Zonas terrestres de vegetación. — 91. Regiones zoogeográficas. — 92. La vida en las cavernas. — 93. Distribución hipsométrica de los seres vivos. — 94. Faunas y floras acuáticas. — 95. Distribución de los seres marinos. — 96. Zonas marinas. — 97. La vida en las aguas dulces.	
<b>CAPITULO VII. — Generalidades de geodinámica</b> .....	81
98. Definición y división de la geodinámica. — 99. Geodinámica externa. — 100. Geodinámica interna. — 101. Ciclo de los fenómenos geológicos. — 102. Orogénesis. — 103. Gliptogénesis. — 104. Erosión. — 105. Denudación. — 106. Transporte. — 107. Litogénesis.	
<b>CAPITULO VIII. — Estudio sobre la sedimentación</b> .....	95
108. Definición y división de sedimentación. — 109. Importancia del estudio de la sedimentación. — 110. Clasificación de los sedimentos por su origen. — 111. Sedimentos de origen detrítico. — 112. Formas bajo las cuales actúa el agua de los mares. — 113.	

Acción del mar en las costas. — 114. Acción del mar en la desembocadura de los ríos. — 115. Sedimentación marina. — 116. Sedimentación de origen químico. — 117. Sedimentos de origen orgánico. — 118. Formación de las rocas carbonosas. — 119. Formación de las rocas calcáreas. — 120. Formación de las rocas silíceas. — 121. Formación de las rocas fosfatadas. — 122. Noción de facies. — 123. Formación geológica. — 124. Elementos que deben considerarse en los estratos.

**CAPITULO IX. — Geotectónica de los terrenos estratificados . . . . . 119**

125. Relaciones mutuas entre los estratos. — 126. Estratificación concordante. — 127. Estratificación discordante. — 128. Hiatos o lagunas estratigráficas. — 129. Pliegues de los estratos. — 130. Diversos tipos de pliegues. — 131. Formación de los pliegues. — 132. Diaclasas: sus causas. — 133. Fallas o paraclasas. — 134. Diversos tipos de fallas. — 135. Terrenos y su caracterización.

**CAPITULO X. — Ciclo del agua en la naturaleza . . . . . 139**

136. Formas bajo las cuales actúa el agua. — 137. Acción geológica de las aguas corrientes. — 138. Napas freáticas. — 139. Napas artesianas. — 140. Corrientes subterráneas. — 141. Acción geológica de las aguas subterráneas. — 142. Nieves: regiones de nieves perpetuas. — 143. Aludes: trabajo geológico que realizan. — 144. Estudio sobre los glaciares. — 145. Acción erosiva y de transporte de los glaciares. — 146. Depresiones ocupadas por antiguos glaciares. — 147. Hielos marinos.

**CAPITULO XI. — Movimientos de la corteza terrestre . . . . . 164**

148. Concepto de orogénesis. — 149. Movimientos orogenéticos. — 150. Localización de los fenómenos de plegamiento. — 151. Teoría de la isostasia. — 152. La deriva de los continentes. — 153. Movimientos epirogenéticos. — 154. Transgresiones y regresiones marinas. — 155. Mareas de la corteza terrestre. — 156. Terremotos o sismos. — 157. Causas de los terremotos.

**CAPITULO XII. — Efectos eruptivos del calor central . . . . . 186**

158. Formas bajo las cuales actúa el calor central. — 159. Volcanes y sus características. — 160. Las erupciones volcánicas. — 161. Diversos tipos de erupciones. — 162. Erupciones submarinas. — 163. Materias arrojadas por los volcanes. — 164. Emanaciones eminentemente gaseosas. — 165. Fuentes hipógenas. — 166. Distribución

geográfica de los volcanes. — 167. Hipótesis para explicar el vulcanismo. — 168. Filones y sus clases.

**CAPITULO XIII. — Geología histórica: eras primitiva y primaria** 200

169. Noción y límites de la geología histórica. — 170. Evolución general de la tierra. — 171. Divisiones de la fase geológica. — 172. Era primitiva o grupo agnotozoico. — 173. Sistema o período arcaico. — 174. Sistema o período algonkiense. — 175. Era primitiva o grupo paleozoico. — 176. Sistema o período cámbrico. — 177. Sistema o período silúrico. — 178. — Sistema o período devónico. — 179. Sistema o período antracolíptico. — 180. — Fenómeno paleotermal.

**CAPITULO XIV. — Eras secundarias, terciaria y cuaternaria** ..... 215

181. Era secundaria o grupo mesozoico. — 182. Sistema o período triásico. — 183. Sistema o período jurásico. — 184. Sistema o período cretáceo. — 185. Era terciaria o grupo cenozoico. — 186. Sistema o período eógeno. — 187. Sistema o período neógeno. — 188. Era cuaternaria o psicozoica. — 189. Aparición del hombre. — 190. División prehistórica de los tiempos cuaternarios. — 191. Principales ciclos de movimientos orogenéticos.

**CAPITULO XV. — Geología argentina** ..... 234

192. El actual relieve argentino. — 193. Carácter general de la geología argentina. — 194. Formaciones agnotozoicas. — 195. Formaciones paleozoicas. — 196. Formaciones mesozoicas. — 197. Formaciones cenozoicas. — 198. Formaciones cuaternarias. — 199. Origen de la Cordillera de los Andes. — 200. Manifestaciones volcánicas.

**CAPITULO XVI. — Yacimientos argentinos de minerales y rocas** .. 249

201. Origen de los yacimientos metalíferos. — 202. Transformación subaérea de los yacimientos. — 203. Minerales de fase ortomagmática. — 204. Minerales de fase pegmatítico-pneumatolítica. — 205. Minerales de fase hidrotermal. — 206. Piedras preciosas y semipreciosas. — 207. Yacimientos de sales. — 208. Yacimientos de rocas de aplicación. — 209. Combustibles sólidos. — 210. Combustibles líquidos. — 211. Aguas freáticas. — 212. Aguas minerales.

**CAPITULO XVII. — Historia de las exploraciones geológicas argentinas** 266

213. Carácter de las exploraciones geológicas argentinas. — 214.

Primer periodo: 1826-1870. — 215. Segundo periodo: 1871-1890. — 216. Alcance de las investigaciones de los dos primeros periodos. — 217. Tercer periodo: 1891-1905. — 218. Cuarto periodo: 1906-1910. — 219. Estado de los conocimientos geológicos al fin del cuarto periodo. — 220. Periodo actual. — 221. Estado actual de la geología argentina. — 222. Historia de las exploraciones petrolíferas.

**CAPITULO XVIII. — Geología regional argentina** ..... 279

223. Plan de estudio de la geología regional. — 224. Geología de la Capital Federal. — 225. Geología de la provincia de Buenos Aires. — 226. Llanura chacabonaerense. — 227. Geología de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. — 228. Geología de Salta, Jujuy y Tucumán. — 229. Geología del Norte de Patagonia. — 230. Geología del Sur de Patagonia. — 231. Estructura geológica de la Cordillera de los Andes. — 232. Estructura geológica de la Pre-cordillera. — 233. Estructura geológica de las Sierras Pampeanas. — 234. Estructura geológica de las Sierras Bonaerenses.

**CAPITULO XIX. — Trabajos prácticos de petrografía** ..... 301

235. Recolección de rocas. — 236. Análisis de las rocas. — 237. Reproducción sintética de las rocas. — 238. Granito. — 239. Diorita. — 240. Meláfiro. — 241. Basalto. — 242. Arena. — 243. Arenisca. — 244. — Cuarzita. — 245. Arcilla. — 246. Calizas no fosilíferas. — 247. Calizas fosilíferas. — 248. Loes. — 249. Gneis. — 250. Esquistos cristalinos. — 251. Pizarras arcillosas.

**CAPITULO XX. — Cuestiones generales de geología** ..... 319

252. Desenvolvimiento histórico de la geología. — 253. Resultados teóricos de las síntesis petrográficas. — 254. Explicaciones del fenómeno paleotermal. — 255. Causas de los fríos de la era cuaternaria. — 256. Métodos ideados para evaluar la duración de las eras geológicas. — 257. Porvenir de la tierra, según la geología. — 258. Término extremo a que puede llegar el planeta.

**Indice alfabético** ..... 329



## BIBLIOGRAFIA DE MINERALOGIA Y GEOLOGIA

- CANDEL VILA (R.). — Cristalografía.  
CATTANEO (F.). — Mineralogía y Geología.  
CENDRERO (O.). — Geología.  
CURY (R.). — Mineralogía; Elementos de Petrografía y Geología.  
BODENBENDER (G.). — Los minerales en la República Argentina.  
CHAMBERLIN-SALISBURY. — A College Textbook Geology.  
DANA (J.). — Manuel of Geology.  
ERMITTE (E.). — La geología y minería argentinas.  
FERNANDEZ NAVARRO (L.). — Mineralogía y Petrografía.  
GARCIA PURON (J.). — Mineralogía y Geología.  
GEIKIE (A.). — Textbook of Geology.  
GROEBER (P.). — Mineralogía y Geología.  
GUTIERREZ (M.). — Geología.  
HAUG (E.). — Traité de Géologie.  
HAWES (G. W.). — Mineralogy and Lithology.  
HERNANDEZ PACHECO (E.). — Geología fisiográfica; Geología histórica.  
KEILHACK (C.). — Lehrbuch der praktischen Geologie.  
KOBELL (F. v.). — Lehrbuch der Mineralogie.  
LANDERER (J.). — Geología y Paleontología.  
LAPPARENT (A. de). — Cours de Minéralogie; Leçons de Géographie physique, Traité de Géologie.  
MARTONNE (E. de). — Traité de Géographie physique.  
MIERS (H. M.). — Manuel pratique de Minéralogie.  
MORTOLA (E.). — Nociones de Mineralogía.  
NAUMANN (C. F.). — Lehrbuch der Geognosie.  
PEYLOUBET\* (A.). — Compendio elemental de Mineralogía y Geología.  
SAN MIGUEL-FERRANDO. — Manual de Geología.  
SCHMEIL (O.). — Elementos de Mineralogía y Geología.  
TSCHERMAK (G.). — Lehrbuch der Mineralogie.  
WAGNER (P.). — Lehrbuch der Geologie und Mineralogie.  
WINDHAUSEN (A.). — Geología Argentina.

## PROLOGO

---

Dirigimos este texto, así como los anteriormente escritos por nosotros: *MINERALOGIA, QUIMICA INORGANICA y QUIMICA ORGANICA*, sobre todo a la juventud argentina que cursa en los Colegios Nacionales, Liceos y Escuelas Normales. En todos los textos hemos procurado seguir el mismo método que la larga práctica de profesorado nos ha enseñado ser provechoso y educativo: claridad en la exposición, sencillez en la dicción, selección en la parte gráfica y cierta abundancia en la materia, a fin de que los alumnos aplicados puedan ampliar los conocimientos estrictamente necesarios para responder a los programas.

A primera vista podrá parecer algo extensa esta *GEOLOGIA*, pero si se recorren con detenimiento sus páginas se echará de ver que una buena parte del texto va con letra de tipo pequeño, vale decir, que se trata de cuestiones aclaratorias o ampliatorias. Con esto intentamos, no sólo proporcionar materia de ampliación a los alumnos más aplicados, según indicamos antes, sino además permitir que este libro pueda ser adoptado de texto, aun en otras naciones de lengua castellana, con programas oficiales distintos de los vigentes en la Argentina.

Antes de que el alumno emprenda el estudio de la Geología quisiéramos estimularlo a darse de veras a él, haciéndole caer en la cuenta que se trata de una ciencia de muy vastos horizontes, teóricos y prácticos, por cuanto le ha de servir para cualquier actividad a que más adelante consagre sus energías.

*En la interpretación originaria y más generalizada, se entiende por Geología la ciencia que se ocupa de la constitución y evolución de nuestro planeta en todas las diferentes fases de su existencia; y este estudio, como muy acertadamente dice el Dr. Anselmo Windhausen, de la Universidad de Córdoba, tiene un alto valor pedagógico, y entre todas las ramas de la educación, la enseñanza de sus nociones debería ocupar un lugar de preferencia.*

*En efecto, el conocimiento de la Geología contribuye grandemente a ampliar la vista intelectual, dirigiendo la educación hacia la observación de los fenómenos grandes y pequeños de la naturaleza. La configuración del paisaje, su modelación según componentes duros o menos resistentes, las formas de valles y cerros, la distribución de las diferentes clases de suelos, el rumbo y la pendiente de los cauces de los ríos y sus vinculaciones con determinadas líneas estructurales, la ubicación y distribución de la vegetación, las correlaciones recíprocas existentes entre el carácter del paisaje y del suelo y su colonización por el hombre, la densidad mayor o menor de la población en determinadas regiones, todo esto, y hasta puede decirse el desarrollo histórico de ciertos países, constituye fenómenos dependientes, en mayor o menor grado, de condiciones geológicas. La acción de los factores exógenos y endógenos puede seguirse desde la formación de una delgada capa de terreno descompuesto y de alteración de minerales en procesos de carácter microscópico, hasta el muy impresionante fenómeno de los cambios climáticos, las manifestaciones del vulcanismo, las grandes catástrofes de orden sísmico y la génesis de las altas montañas.*

*De esta suerte, para la vista espiritual del geólogo, la naturaleza tiene vida hasta en los paisajes más tristes y desolados; y la observación de fenómenos en sí diminutos tienen su interés, por cuanto se relacionan con leyes grandiosas y de carácter universal.*

*Pero hasta ahora hemos enfocado la Geología desde el punto de vista teórico, o sea de la satisfacción espiritual que proporciona al hombre en su insaciable hambre de saber. Con todo, conviene no olvidar que la Geología tiene derivaciones eminentemente prácticas, que constituyen la rama llamada Geología de Aplicación, en la cual se estudia la tierra desde el punto de vista económico, investigando la composición y las condiciones de yacimiento de las materias minerales útiles al hombre, como minerales, combustibles, materiales de construcción, etc.,*

como que de la Geología se deriva, en realidad, todo el conocimiento de la explotación de las minas.

Pasaron ya los tiempos —escribe el gran geólogo francés Lapparent— en que los mineros, por un mal entendido espíritu de rutina más bien que de práctica, miraban con cierto escepticismo los estudios geológicos, aunque a diario estuvieran sirviéndose de los mismos; por ejemplo, las relaciones de los filones metalíferos entre sí y con las rocas que les sirven de caja, son cosas que la ciencia y no la práctica pueden establecer, pues tan sólo generalizando los datos recogidos por los mineros se ha podido llegar al establecimiento de las leyes que rigen la distribución de los filones y de los depósitos subterráneos de petróleo. Para decidir acerca de la oportunidad en la busca de un filón o de un yacimiento petrolífero, para conducir su explotación y para decidir su abandono cuando sea improductivo, sólo la Geología puede establecer un verdadero diagnóstico, que permita tener alguna seguridad.

El auxilio de la Geología se extiende también a las canteras, pues señala la existencia de las rocas cuyas cualidades industriales se utilizan. Por la analogía de los afloramientos de las diversas capas se determina la existencia de materiales de construcción utilizables para el adoquinado, o de las arcillas de diversas cualidades o de calizas hidráulicas para la fabricación del pórtland, etc.

Otro de los problemas de la Geología se refiere al alumbramiento o busca de aguas minerales, pues sólo el conocimiento de las hendiduras por donde circulan las aguas y de las causas a que deben su mineralización permite dirigir convenientemente las exploraciones. Lo mismo sucede en el alumbrado de las aguas subterráneas profundas, para evitar el gasto de inútiles sondeos, ya que la probabilidad de encuentro de una capa de agua depende de la naturaleza de los estratos, de su inclinación, de la altura a que afloran y de otras circunstancias que sólo el geólogo puede precisar.

"La Geología es la ciencia básica para la carrera de ingenieros, en general, y en particular para los de minas, de caminos, canales y puertos. Y no sólo para el ingeniero, sino para toda persona ilustrada, porque enseña a conocer la propia morada; y así, por ejemplo, el régimen de los ríos está íntimamente unido a la composición del subsuelo, y la permeabilidad del terreno, consecuencia de su constitución geológica, influye en el resultado final de las precipitaciones atmosféricas.

Pero la más importante aplicación de la Geología se refiere a las obras públicas, ya que de tres maneras utilizan el suelo el ingeniero y el arquitecto: 1.º, tomando de él las substancias para la construcción; 2.º, variándolo, según las necesidades; 3.º, apoyando en su superficie las construcciones. Pues, en efecto, el ingeniero y el arquitecto necesitan elegir los materiales y, por consiguiente, conocerlos y saber dónde y cómo se encuentran; el ingeniero, con frecuencia, debe modificar y corregir la corteza terrestre, según las exigencias de la vida civilizada, abriendo túneles y canales, construyendo embalses, caminos y puentes; por último, el ingeniero debe con frecuencia construir cimientos donde la naturaleza no está acondicionada para sostener la construcción que ha de soportar.

Otra multitud de aplicaciones, además de las ya enumeradas, derivan de la Geología. Por ejemplo, el arte militar puede sacar considerable partido, no sólo del relieve, sino de la constitución geológica del suelo; y en las manos de un técnico científico, un mapa geológico completa los datos de los mapas topográficos; y así en Francia, por ejemplo, se ha reconocido el importante papel que como líneas de defensa juegan las diferentes zonas geológicas que bordean la cuenca del río Sena, limitadas cada una por abruptos cortes, en los que tan sólo se abren pasos debidos a sistemas estratigráficos, que se señalan especialmente en el mapa geológico.

Existen ciencias que, como la mecánica, la física y la química, tienen una gran repercusión en la vida práctica; pero ninguna tanto como la Geología, porque ninguna de ellas responde a tan gran número de necesidades primordiales. En el seno de la tierra ha de encontrar el hombre todo lo que importa y utiliza para el desarrollo de su civilización material; y si el sol da con sus radiaciones el impulso necesario para las reacciones de la vida orgánica y para el ciclo de los fenómenos geológicos debidos al agua, en la tierra se encuentran todas las substancias sobre las que ha de actuar su energía.

Por esta rápida exposición del objeto inmediato de los estudios geológicos se comprende el alto interés de esta ciencia de tantas derivaciones prácticas, y aun es dado afirmar que la Geología ha debido su origen y sus primeros progresos a este carácter utilitario.

EL AUTOR.

## CAPÍTULO I

# PETROGRAFIA GENERAL

SUMARIO: 1. Definición y división de la Geología. — 2. Geognosia. — 3. Definición y división de la petrografía. — 4. Concepto de roca. — 5. División de las rocas por su origen. — 6. Métodos de estudio de las rocas. — 7. Separación de minerales. — 8. Investigación microscópica. — 9. Análisis químico. — 10. Estructura de las rocas. — 11. Composición química media. — 12. Composición mineralógica de las rocas. — 13. Minerales esenciales, accesorios y característicos. — 14. Tipos principales de rocas ígneas.

### 1. DEFINICION Y DIVISION DE LA GEOLOGIA. —

La palabra *Geología* trae su origen de dos palabras griegas: *ge*, que significa tierra, y *logos*, que significa discurso o tratado. Por lo tanto, Geología, según su significación etimológica, abarca todo lo referente al estudio de la Tierra; pero se ha convenido en dar a la palabra *Geología* un significado más restringido, aplicándolo al estudio de los seres inorgánicos terrestres.

Conforme a esto se puede definir la *Geología* diciendo que *es la ciencia que tiene por objeto el estudio físico de la Tierra*, o sea la forma, constitución, origen y desarrollo de nuestro planeta.

El geólogo debe, en primer lugar, conocer los elementos que integran la corteza terrestre (Geognosia), observar las condiciones actuales y el aspecto de la faz de la Tierra (Fisiografía), estudiar las modificaciones que esta faz sufre en el tiempo presente bajo la acción de causas externas e internas (Geodinámica), para lograr reconstruir las variaciones que han tenido lugar en los tiempos pasados (Geohistoria).

Según esto, la Geología puede dividirse para su estudio en cuatro partes: 1.<sup>a</sup>, *Geognosia*, que tiene por objeto el estudio de los materiales constitutivos de la corteza terrestre o litosfera; 2.<sup>a</sup>, *Fisiografía*, que estudia la forma y condiciones físicas de la Tierra; 3.<sup>a</sup>, *Geodinámica*, que estudia las fuerzas que actúan en la formación y modificación de la corteza y relieve de nuestro globo; 4.<sup>a</sup>, *Geohistoria*, que describe el desarrollo e historia física de la Tierra, desde su origen hasta el estado en que actualmente se encuentra.

**2. GEOGNOSIA.** — La *Geognosia*, según queda dicho, tiene por objeto el estudio de los materiales constitutivos de la corteza terrestre o litosfera; estos materiales, por orden de menor a mayor complejidad, se denominan *minerales*, *rocas* y *terrenos*.

Pudiendo considerarse de tres maneras diferentes los materiales constitutivos de la corteza terrestre, según el grado de complejidad (*minerales*, *rocas* y *terrenos*), de aquí que la *Geognosia* se divida en tres ciencias subalternas, a saber: *Mineralogía*, *Petrografía* y *Tectónica*.

1.<sup>o</sup> *Mineralogía* es la parte de la *Geognosia* que estudia los minerales. 2.<sup>o</sup> *Petrografía* es la parte de la *Geognosia* que estudia las rocas; y 3.<sup>o</sup> *Tectónica* es la parte de la *Geognosia* que estudia las capas terrestres llamadas *terrenos*.

**3. DEFINICION Y DIVISION DE LA PETROGRAFIA.** — Se llama *Petrografía* o *Litografía* la parte de la *Geognosia* que tiene por objeto el estudio de las rocas que forman la corteza terrestre.

La *Petrografía* se divide en general y descriptiva: *Petrografía general* es la que enseña los métodos de investigación y las propiedades generales de las rocas; *Petrografía descriptiva* o *especial* es la que estudia los caracteres de las diversas rocas y proporciona los datos para su clasificación sistemática.

**4. CONCEPTO DE ROCA.** — Se llaman *rocas* las grandes masas o agrupaciones de minerales que constituyen la corteza terrestre. Esta denominación de rocas en *Petrografía* se aplica, no sólo a las partes compactas y resistentes de nuestro planeta, vulgarmente llamadas *pedras*, como el mármol y el granito, sino también a las que se ofrecen en estado incoherente, como las arcillas y arenas sueltas, e incluso a las que se presentan en estado líquido, como el agua.

## 5. DIVISION DE LAS ROCAS POR SU ORIGEN. —

Las rocas, por su origen, se dividen en ígneas, sedimentarias y metamórficas (fig. 1).

a) **Rocas ígneas.** — *Rocas ígneas* o *en masa* son las que proceden de la consolidación de materiales en estado de fusión ígnea, conocidos con el nombre de *magma*.

La consolidación de materiales en fusión ígnea unas veces se ha verificado, al parecer, en una sola etapa, y otras veces en dos o más. Se consolidaron en

una sola etapa las rocas completamente cristalinas, dentro de un mismo régimen de condiciones físicas y químicas, a saber: una presión enérgica y un medio rico en disolventes, que eran óxidos metálicos. Se consolidaron en dos etapas las rocas formadas de una parte cristalina y otra amorfa; en la primera

etapa se formaron los cristales y en la segunda se consolidó la materia en estado amorfo, por haber sobrevenido un cambio brusco en las condiciones del medio (presión y temperatura).

Las rocas ígneas se subdividen en dos grupos principales, llamadas respectivamente intrusivas y efusivas: 1.º *Rocas intrusivas, profundas, abisales,*

*en masa* o *plutónicas* (de Plutón, dios del fuego) son las que se consolidaron sin salir al exterior, es decir debajo o entre capas sedimentarias y que si hoy aparecen en la superficie es porque los estratos que las cubrían han sido erosionados o denudados.

2.º *Rocas efusivas* o *volcánicas* son las que han salido al exterior y en él se han consolidado. Se subdividen, a su vez,

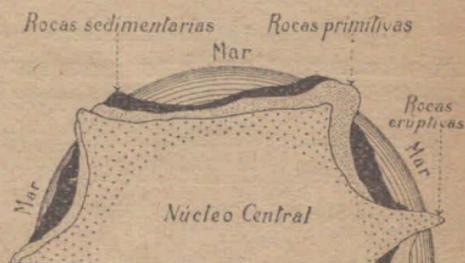


Fig. 1. — Corte ideal de la tierra.



Fig. 2. — Rocas magmáticas.

en antiguas y modernas: *rocas eruptivas de la serie antigua* son las anteriores al terreno liásico, y *rocas eruptivas de la serie moderna* son las que salieron al exterior desde el comienzo de la era terciaria. Esta división se ha establecido en atención a la gran calma eruptiva que reinó durante los períodos jurásico y cretácico de la era secundaria (fig. 2).

**b) Rocas sedimentarias.** — Rocas sedimentarias, llamadas también *estratigráficas*, son las procedentes de las rocas ígneas y que han sido removidas, trituradas y arrastradas por los diferentes agentes atmosféricos, particularmente por la lluvia, hasta depositarse en el fondo de las aguas y quedar en forma de capas o estratos. Son las únicas que contienen fósiles (fig. 3).

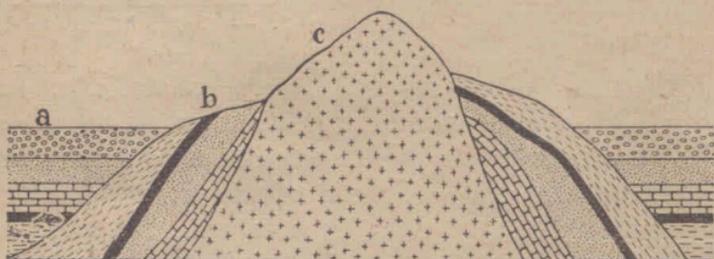


Fig. 3. — Corte de un terreno, en cuya parte central aparecen rocas en masa y a los lados rocas estratificadas.

**c) Rocas metamórficas.** — *Rocas metamórficas*, llamadas también *estrato-cristalinas*, son rocas sedimentarias en cuyas proximidades han tenido lugar erupciones de materia ígnea, que las han como cocido y hecho cambiar de apariencia y propiedades, hasta darles el aspecto cristalino, si bien conservando su forma sedimentaria.

**6. METODOS DE ESTUDIO DE LAS ROCAS.** — Suelen reducirse a cuatro grupos, a saber: examen macroscópico, análisis físico, investigación microscópica y análisis químico.

**a) Examen macroscópico.** — Es el que se practica a simple vista o con una lente. Por esta observación puede señalarse la identidad o semejanza de las rocas por su color, estructura, sensación al tacto, sabor, olor, apegamiento a la lengua, etc. Cuando los componentes de la roca son bien distintos, el simple examen macroscópico permite formarse en seguida idea clara de la composición mineralógica.

Pertenece asimismo al examen macroscópico la observación del *hilo* o *contralecho*, que es la tendencia de ciertas rocas, especialmente pizarrosas,

a henderse o fragmentarse en sentido determinado, que puede ser el mismo o contrario al que afectan los estratos. El estudio de este carácter proporciona las variedades siguientes: *tabular*, *hojosa*, *pizarrosa* y *prismática*, cuando la roca tiende a tomar la forma de prismas, como los basaltos.

b) **Análisis físico.** — Consiste en reconocer la dureza y densidad de las rocas y separar los componentes de las mismas para reconocer la proporción en que se encuentran, a fin de aprovechar los útiles o de estudiarlos mineralógicamente.

1. Se llama *dureza de las rocas* la resistencia que oponen al corte o aserradero; esta dureza depende de la que tienen los minerales componentes. Por razón de la dureza las rocas se llaman *tiernas*, cuando se pueden cortar fácilmente con una sierra de acero, como las tobas calizas y las margas; *semi duras*, cuando se cortan difícilmente con la sierra, pero fácilmente con un hilo de acero, como los mármoles y muchas areniscas; *duras*, las que sólo pueden cortarse con hilo de acero o con esmeril, como la serpentina y las areniscas silíceas; *durísimas*, las que requieren para ser cortadas polvo de diamante o de carborundo, como los granitos, los pórfidos y los basaltos.

2. *Densidad* de las rocas es la relación entre la masa de las mismas y la de igual volumen de agua destilada a 4° centígrados. Es de escasa importancia para la determinación de las rocas, pues no sólo depende de los minerales que las constituyen, sino también de la porosidad y permeabilidad de las mismas. La relación entre la densidad de la roca en masa y la de su polvo se llama *compacidad*. Las rocas se denominan *muy pesadas*, cuando su densidad es superior a 3, y *livianas*, si es inferior a 2. Para determinar la densidad de las rocas se emplean los mismos procedimientos que para hallar la densidad de los minerales, o sea, la balanza espiral de Jolly y el picnómetro de Klaproth.

7. **SEPARACION DE MINERALES.** — La separación de minerales, previa la trituration de la roca, se practica de varias maneras, a saber: por tamizado, por magnetismo, por levigación y por soluciones densas.

a) **Separación por tamizado.** — Es una separación mecánica de los granos, según su tamaño, por medio de una serie de tamices colocados unos encima de otros, por orden de anchura de las mallas. Se dispone el material triturado sobre el tamiz superior de malla más ancha y se agita el conjunto de los tamices; luego se recogen en un papel los granos de cada tamiz y se pesan; el polvo finísimo quedará en el fondo de una caja inferior (fig. 4).

b) **Separación por magnetismo.** — Se logra sirviéndose de un imán, que quita al polvo de la roca pulverizada los óxidos de hierro. Con un electroimán graduable son atraídos en primer lugar la hornblenda, augita y peridoto; después, aumentando la imanación, siguen los minerales ricos en hierro hasta la mica ferromagnética de los granates.

c) **Separación por levigación.** — Consiste en separar los minerales por su tamaño o peso, utilizando el agua corriente o agitada en un vaso. La levigación más sencilla se consigue colocando el material en un vaso alto con agua y removiéndolo bien con una varilla; se deja pasar un rato, y se

decanta el agua turbia; repitiendo esta operación varias veces puede separarse fácilmente la arcilla y las arenas finísimas de una tierra. Un aparato muy a propósito para la levigación es el de Nobel, consistente en una serie de frascos cónicos de tamaños escalonados, en comunicación con otros por tubos que desde el cuello van a la base del inmediato.

Con este aparato se procede de la siguiente manera: en el vaso más pequeño se introduce el material destinado a la levigación y se humedece hasta que esté enteramente empapado en agua; después se abre la llave que da paso al agua de un depósito hacia los restantes vasos del aparato. Cuando el agua sale completamente limpia por el tubo de desagüe se cierra la llave y se deja depositar el material en los distintos vasos, y luego se decanta, recoge y clasifica.

d) Separación por soluciones densas. — Fué ideado por Cordier, y con-

siste en agitar la roca pulverizada en soluciones de distintas densidades, que dejan en suspensión los minerales de menor densidad que la solución; en cambio, los minerales más densos precipitan. Cordier empleó soluciones de cloruro mercúrico-potásico, pero presentaban el inconveniente de atacar a varios minerales. En la actualidad se usan las soluciones de Klein y de Thoulet: la primera es una solución de boro-tungstato de cadmio, y la segunda de yodomercuriato potásico, cuya densidad máxima es 3'19, superior a la densidad de la mayoría de los minerales, y para rebajar esta densidad basta añadir agua al líquido.

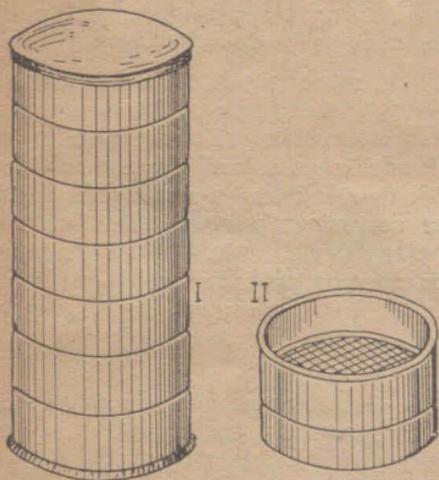


Fig. 4. — Serie de tamices enchufados y un tamiz suelto.

larizador, para lo cual es menester transparente.

A este fin se toma una esquirla de la roca, que no presente vestigios de alteración, y se alisa su superficie con esmeril hasta obtener una cara bien plana y brillante. Se pega la esquirla por esta cara con bálsamo del Canadá sobre una placa de vidrio fuerte, y se procede a formar otra cara paralela a la primera, desgastando la roca, hasta que la lámina quede reducida al espesor de dos centésimas de milímetro. Esta preparación se despega del vidrio grueso y se la encierra, también con bálsamo del Canadá, entre un porta y un cubre objetos.

La observación se practica casi exclusivamente con el microscopio de luz paralela y los nicoles cruzados, empleando aumentos pequeños de 80 a 200 diámetros. Los diversos minerales se presentan coloreados con los colores de interferencia, que difieren según el espesor de la preparación, la naturaleza

## 8. INVESTIGACION MICROSCOPICA. — Tiene por objeto observar los caracteres ópticos de las rocas por medio del microscopio po-

preparar una lámina delgadísima y

de los minerales constitutivos y la dirección según la cual se hayan seccionado los cristales. Con la práctica llegan a reconocerse fácilmente los minerales constitutivos de las rocas; así, por ejemplo, el cuarzo se distingue luego, por ser completamente transparente en cualquier espesor y dar con la luz polarizada los colores con mucha facilidad.

**9. ANALISIS QUIMICO.** — Se verifica por los métodos de vía seca y vía húmeda, enseñados en mineralogía, una vez separados los minerales. El análisis químico tiene gran importancia en el estudio de las rocas, pues nos revela su naturaleza, a la vez que facilita su clasificación.

En efecto, aun cuando la composición química de las rocas es variadísima, incluso en familias y especies próximas, los yacimientos son distintos y alejados; con todo, en las rocas eruptivas y en muchas metamórficas, hay siempre cierta proporción de determinados compuestos que caracterizan la familia petrográfica y aun la especie. Así, por ejemplo, la presencia de la sílice, del óxido ferroso y del magnesio caracteriza las rocas ferromagnéticas; la de sílice y de los óxidos de potasio, sodio y calcio revela la presencia de feldespatos y feldespatoides, etc.

**10. ESTRUCTURA DE LAS ROCAS.** — *Estructura* o *textura* de las rocas es la disposición en que se encuentran los elementos mineralógicos constitutivos de las mismas. La estructura de las rocas se ha reducido a cuatro tipos principales, a saber: holocristalina, semicristalina, vítrea y clásica o detrítica.

a) **Estructura holocristalina o granítica.** — Es la de aquellas rocas que, examinadas a simple vista o al microscopio, aparecen constituidas por cristales próximamente iguales. Esta estructura ha tenido lugar cuando el magma se ha enfriado lentamente entre las capas de la litosfera, porque entonces sus elementos han tenido tiempo de agruparse con arreglo a sus afinidades y de formar un conjunto cristalino.

b) **Estructura semivítrea o porfírica.** — Es la estructura de aquellas rocas formadas por grandes cristales, que arman en una base enteramente amorfa o semicristalina; los grandes cristales, que de ordinario resaltan aun a simple vista, se llaman *fenocristales* (del griego *phenos*, visible). Esta estructura ha tenido lugar cuando el magma empezó a consolidarse con lentitud y luego experimentó un enfriamiento brusco al introducirse por entre las grietas de la litosfera o al salir a la superficie de la misma; durante la consolidación lenta se formaron los fenocristales, mientras que durante la consolidación rápida, el resto del magma se solidificó en estado amorfo o vítreo por faltarle las condiciones necesarias para la formación de cristales.

Con alguna frecuencia se presentan los minerales de las rocas en asociaciones esferoidales de tamaño y naturaleza variables, que se denominan *esferolitos*, los cuales están formados unas veces por cristales alargados aciculares, dispuestos radialmente, que producen una cruz negra fija entre nicóles cruzados (fig. 5); otras veces se componen de materia amorfa y cristalizada, alternando; otras veces, en fin, de vidrio solamente; también en estos últimos casos se observa entre nicóles cruzados una cruz negra, pero no tan clara.

c) **Estructura vítrea.** — Es la que presentan las rocas de origen ígneo, cuyos elementos todos se hallan en estado amorfo, es decir sin estructura ni forma cristalina, sino más bien en formas indefinidas, gránulos o venillas, de aspecto de jalea o de vidrio fundido. Las rocas de esta estructura se han formado cuando el enfriamiento del magma ha sido muy rápido, porque entonces no pudo tener lugar la formación de cristales. Esta estructura es propia de las rocas efusivas o volcánicas.

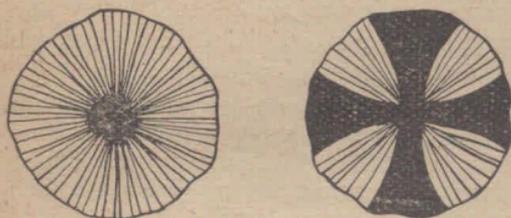


Fig. 5. — Esferulitos fibroso-radiados en luz natural (izquierda) y entre nicóles (derecha).

el aire puede arrastrar con facilidad los materiales del suelo. Estas rocas se producen por sedimentación, y las capas que así se formaron reciben el nombre de estratos, por lo que las rocas resultantes se llaman sedimentarias o estratificadas (fig. 6).

## 11. COMPOSICION QUIMICA MEDIA DE LAS ROCAS.

— Es el porcentaje correspondiente a cada elemento o compuesto químico, prescindiendo de las especies mineralógicas en que se encuentra; así se dice tanto por ciento de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), tanto de potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ), tanto de cal ( $\text{CaO}$ ), tanto de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sin referencia a la especie de silicatos de que forma parte. El porcentaje de sílice puede variar entre dos límites extremos, 34 y 80 por ciento, si bien lo más frecuente es que la cantidad de sílice oscile entre 45 y 76 por ciento.

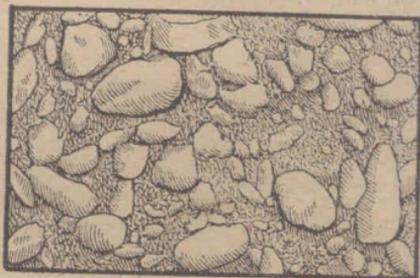


Fig. 6. — Fragmento de pudinga.

La presencia de una gran cantidad de sílice es incompatible con la riqueza de elementos ferromagnesianos, y, en cambio, coincide con la presencia de la sosa ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ). La abundancia de elementos ferromagnesianos produce la disminu-

ción de la alúmina y si la cal predomina sobre los álcalis disminuye el porcentaje de sílice.

## 12. COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS ROCAS.

— Es la que se refiere a la clase de minerales que las integran. Los minerales que asociados forman las distintas rocas son muchos; sin embargo, entre ellos hay algunos cuya abundancia y frecuencia en las rocas hace que se los conozca con el nombre de *minerales petrográficos*.

La principal masa de la corteza terrestre está integrada de sílice pura o combinada con otros óxidos formando silicatos. Estos silicatos, si son complejos y poseen alúmina, álcalis y algo de cal, pero no metales pesados, se llaman feldespatos, como la ortosa, microlina, sanidina, albita, anortita, oligoclasa, labradorita y andesina. Otros silicatos, de composición parecida, pero de cristalización diferente, son los feldespatoideos, entre los que sobresalen la leucita, nefelina y sodalina.

Al disminuir la proporción de sílice y la acidez, con aparición del hierro y del magnesio, se tienen las *micas*. Al seguir aumentando la proporción de hierro, magnesio y cal y disminuyendo, hasta desaparecer, la potasa y la sosa, se tienen los *piroxenos* (dialaga y augita) y los *anfíboles* (tremolita, actinolita y hornblenda); por último, se llega a las rocas más básicas por la escasa proporción de sílice, en el *peridoto* y la *serpentina*. Todo esto se debe a que la sílice es, en los silicatos, el único compuesto de carácter ácido.

Es frecuente designar con el nombre de *elementos blancos* a los feldespatos y feldespatoideos, y de *elementos negros* o *ferromagnésicos* a los piroxenos, anfíboles y mica biotita.

## 13. MINERALES ESENCIALES, ACCESORIOS Y CARACTERISTICOS.

1. *Minerales esenciales* de las rocas son aquellos cuya presencia es necesaria para constituir la roca en determinada especie, como son en los gabros la plagioclasa básica y la dialaga, y en el granito el cuarzo, feldespato y mica; si en esta roca faltara el cuarzo, ya no sería granito, sino sienita.

2. *Minerales accesorios* son los que suelen presentarse en determinadas rocas, pero no de un modo constante en todos los ejemplares de la misma o de diferente localidad, como el anfíbol, el granate, la turmalina o el berilo en el granito; la falta o la presencia de estos minerales no motiva otra especie petrográfica.

3. *Minerales característicos* son los que, sin ser esenciales de la roca, se presentan de una manera constante en la de determinada localidad, como la turmalina en el granito de la Sierra de Guadarrama, en España, o se presentan con tanta frecuencia en una roca, que permiten identificarla, como por ejemplo el olivino y la magnetita en los basaltos.

14. **TIPOS PRINCIPALES DE ROCAS IGNEAS.** — Los principales tipos de rocas ígneas son: granítico, porfírico, ofítico, traquítico, felsítico y perlítico.

1. El tipo *granítico* o *granitoide* se caracteriza por tener todos los cristales aproximadamente igual desarrollo, sea grande, sea pequeño (fig. 7).



Fig. 7. — Ejemplos de textura: A, granitoide; B, porfiroide.



Fig. 8. — Estructura perlítica.

2. El tipo *porfírico* o *porfiroide* presenta unos cristales mayores (feno cristales), embutidos en una masa de cristales mucho menores (microlitos) o de materia amorfa.

3. El tipo *ofítico* es intermedio entre el granítico y el porfírico, pues los fenocristales están rodeados de cristales menores, pero de tamaño apreciable.

4. El tipo *traquítico*, además de cristales visibles esparcidos por una masa vítrea, encierra pequeñísimos cristales, que dan cierta sensación de aspereza al tacto.

5. El tipo *felsítico* se refiere a rocas ígneas aparentemente homogéneas, pues los cristales, todos menudísimos, no se distinguen de la masa vítrea, como en el petrosílex.

6. El tipo *perlítico* ofrece grietas circulares o espirales por haberse rajado la roca al tiempo de solidificarse (fig. 8).

## CAPÍTULO II

# ROCAS IGNEAS

SUMARIO: 15. Formación de las rocas ígneas. — 16. Diferenciación del magma. — 17. Ulteriores transformaciones de las rocas ígneas. — 18. Clasificación de las rocas ígneas. — 19. Rocas intrusivas. — 20. Granito. — 21. Sienita. — 22. Diorita. — 23. Gabro. — 24. Peridotita. — 25. Rocas filonianas. — 26. Granito porfírico. — 27. Aplita. — 28. Lamprófito. — 29. Rocas efusivas. — 30. Pórfido cuarcífero. — 31. Porfirita. — 32. Meláfido. — 33. Diabasa. — 34. Ofita. — 35. Andesita. — 36. Fonolita. — 37. Norita. — 38. Riolita. — 39. Traquita. — 40. Basalto. — 41. Vidrios volcánicos. — 42. Lava.

**15. FORMACION DE LAS ROCAS IGNEAS.** — Las rocas ígneas resultan de un magma o materia fundida por la elevada temperatura, saturado de gases y vapores, gracias a las enormes presiones que soporta, y que al enfriarse se solidifica perdiendo todos esos gases.

Se desconocen por completo las primeras rocas formadas al comenzar la solidificación del globo terráqueo, por hallarse a profundidades inaccesibles al hombre. Las rocas ígneas que se conocen se deben a solidificaciones posteriores del magma salido al exterior por entre las rocas de la primera solidificación. Se ignora a punto fijo la profundidad de donde procede el magma que dió origen a las rocas ígneas hasta ahora conocidas; sin embargo, teniendo en cuenta el grado geotérmico y la densidad media de la tierra (5'5) se calcula que debe hallarse entre los 25 y 50 kilómetros. A medida que aumenta el número de regiones perfectamente estudiadas, se afirma más y más la idea de que los magmas se han repetido en los sucesivos periodos y se presentan en todas las edades.

a) **Composición del magma.** — Los magmas no son combinaciones químicas, susceptibles de ser expresadas por fórmulas, sino soluciones complejas con variable proporción de materias disueltas y de disolventes. Hablando en general, se puede decir que son mezclas de óxidos y anhídridos fusibles,

con cierta proporción de gases y vapores, como agua, ácido clorhídrico, flúor, etc.

Las rocas nacidas de los magmas ofrecerán composición mineralógica variable, no sólo con la naturaleza misma del magma, sino incluso, para un mismo magma, según las condiciones a que ha estado sometido en el decurso de la solidificación. Por ejemplo, si la temperatura y presión del magma son tales que mientras dure el período de solidificación, gozan las moléculas de suficiente movilidad, cristalizará todo él sin dejar residuo amorfo; si esta movilidad molecular cesa antes de haber llegado el magma a la completa cristalización, habrá masa amorfa en la roca; finalmente, si la movilidad cesa antes de la separación de cristales, todo el magma se solidificará al estado amorfo.

**b) Separación de los elementos cristalinos.** — Por ser el magma una solución compleja, la separación de elementos cristalinos tiene lugar obedeciendo las leyes de la cristalización en soluciones complejas. Todo cristal separado del magma será tanto más perfecto, cuanto más pronto haya cristalizado; por esto el medio más seguro para deducir el orden de separación de los minerales petrográficos es el *idiomorfismo*, o sea si tienen figura propia, por no haber sido impedidos en su desarrollo. Según esto, entre varios minerales de una roca, aquel se habrá formado primero que condicione la forma del otro y cuya forma perfecta no ha sido influida por éste; en otros términos, los cristales incluidos son anteriores a los incluyentes. Por este medio y por experiencias de laboratorio ha sido dado fijar el orden de cristalización de los minerales en las rocas ígneas.

**c) Orden de cristalización.** — En la naturaleza no sucede siempre que el orden de cristalización coincida con el de solidificación; así, por ejemplo, el cuarzo, que por su fusibilidad debía separarse el primero, lo hace el último. Esto es debido a circunstancias especiales de presiones enormes, de presencia de disolventes enérgicos, que alteran el orden natural de separación de minerales.

Todo magma, en vías de cristalización, aumenta de acidez ( $\text{SiO}_2$ ) por ser muy grande la proporción de óxidos separados primeramente, y los minerales formados, cuando el magma alcanza cierta composición química dejan de estar en equilibrio con el resto del magma, el cual, al tratar de recobrar el equilibrio perdido, reacciona sobre esos cristales disolviéndolos o corroyéndolos y formando otros de especie diferente, por ejemplo, piroxenos en lugar de olivino, biotita en lugar de hornblenda.

He aquí el orden de consolidación de una roca plutónica, como granito y sienita, que comprende cuatro tiempos: 1er. tiempo: zircón, apatito, titanio, magnetita y rutilo, en forma de cristales pequeños pero perfectos; 2.º tiempo: olivino, piroxenos, anfíboles y micas; 3er. tiempo: feldespatos (plagioclasas, ortosa y microlino); 4.º tiempo: cuarzo.

Como se ve por este esquema, los minerales accesorios cristalizan antes que los esenciales. Los cristales del primer tiempo son *idiomorfos* (de *idios*, propio, y *morfé*, forma), o sea que tienen figura propia; los del segundo tiempo son todavía *idiomorfos*, pero en menor grado; los del tercer tiempo son ya *alotriomorfos*, o sea que no han podido desarrollarse bien, debiendo contentarse con los huecos dejados por los minerales que se solidificaron primero.

**16. DIFERENCIACION DEL MAGMA.** — Desde hace más de un siglo se planteó la cuestión de si todas las rocas procedían de un solo magma primitivo o si para cada roca había sido necesaria la existencia de un magma especial independiente. Para resolver esta cuestión se han ideado dos teorías principales, llamadas, respectivamente, de las mezclas y de la diferenciación.

a) **Teoría de las mezclas.** — Fué propuesta por Bunsen y supone todas las rocas eruptivas resultantes de la mezcla de dos magmas extraños, uno ácido (normal traquítico) y otro básico (normal piroxénico), que procedentes de depósitos independientes, en su camino hacia la superficie se fueron mezclando en proporciones diversas. Esta teoría se halla en la actualidad poco menos que abandonada.

b) **Teoría de la diferenciación.** — Supone la existencia de un magma primitivo homogéneo, del cual, por sucesivas fragmentaciones, nacen magmas de diferente composición, los cuales, a su vez, experimentan nuevas segmentaciones, determinantes de otras tantas clases de magma. La diferenciación se produce de dos maneras: 1.º por substracción o aporte de materia; 2.º, por difusión de elementos menos solubles hacia la superficie de enfriamiento y de los más solubles hacia el centro de la masa magmática.

Un ejemplo clásico de la primera manera de diferenciación nos lo proporciona el enriquecimiento de elementos ferromagnésicos y cálcicos del magma granítico, que ha disuelto masas calizas, de las cuales quedan como testigos restos convertidos en calcita dentro de la masa granítica, bajo la forma de enclaves.

En la diferenciación por difusión desempeñan importante papel las variaciones de temperatura y de presión, debidas a la ascensión del magma, la pérdida de gases y las diferencias de temperatura y presión entre la parte central y la periférica, pues la solubilidad de los diferentes minerales varía al compás de estas circunstancias, hasta el punto de llegar ciertos minerales a la saturación y separarse al estado sólido independientemente de su mayor o menor fusibilidad.

**17. ULTERIORES TRANSFORMACIONES DE LAS ROCAS IGNEAS.** — Con la solidificación completa del magma queda terminado el primer proceso de transformación de la roca ígnea, pero con el tiempo se halla ésta sujeta a sucesivas transformaciones, debidas así a los agentes ígneos como a los agentes atmosféricos.

a) **Por agentes ígneos.** — Las emanaciones gaseosas eruptivas modifican la composición química y mineralógica de las rocas, rellenando las grietas y los huecos y alterando a sus componentes. Análoga acción producen las aguas termales, a las que se debe la zeolitización, epidotización y otras muchas alteraciones.

b) **Por agentes atmosféricos.** — La atmósfera cargada de vapor de agua y anhídrido carbónico y el agua que lleva en disolución anhídrido carbónico altera las rocas por disolución y por descomposición de sus elementos. De estas acciones resultan nuevos silicatos, como moscovita, caolín, clorita, epidota y serpentina. La alúmina ( $Al_2O_3$ ) no empleada en la formación de estos minerales, se conserva en forma de hidróxido (bau-

xita), y la cal y magnesia en la de carbonatos (calcita y dolomita); el hierro se convierte en limonita y los álcalis se convierten en carbonatos o se unen a los nuevos silicatos, y por fin siempre hay separación de sílice libre.

**18. CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS.** — Resulta muy difícil la adecuada clasificación de las rocas ígneas, razón por la cual se han propuesto muchas, sin haber obtenido ninguna general aceptación. Varios son los criterios seguidos para establecer clasificaciones de las rocas, a saber: su origen y yacimiento, su estructura, su composición mineralógica y su composición química.

a) **Principales clasificaciones ideadas.** — 1.º *Por su origen y yacimiento* las rocas se dividen en *intrusivas* o *de profundidad*, solidificadas en el seno de la corteza terrestre, sin comunicación con el exterior; en *filonianas*, consolidadas en grietas formando filones o diques, y en *efusivas* o *volcánicas*, que se han solidificado en la superficie y corrido por ella.

2.º *Por su estructura* se dividen las rocas en *granitoides*, *holocristalinas* y *vitreas*; esta clasificación casi coincide con la anterior, por cuanto las rocas intrusivas suelen ser granitoides, las filonianas holocristalinas y las efusivas vitreas.

3.º *Por su composición mineralógica* se dividen en rocas *con feldespato*, *sin feldespatoide*, rocas *con feldespato y con feldespatoide* y rocas *sin feldespato*. Esta clasificación es la adoptada por el VI Congreso Geológico Internacional, celebrado en París el año 1900.

4.º *Por su composición química* las rocas se dividen en *ácidas*, *neutras* y *básicas*, según la proporción de anhídrido silícico o sílice que contienen, ya en forma de cuarzo, ya constituyendo silicatos. Si tienen más del 65 por 100 de sílice se llaman *ácidas*; si tienen del 52 al 65 por 100 se llaman *neutras*, y si menos del 52 por 100 se llaman *básicas*. En general se reconocen las rocas ácidas por sus tonos claros; las básicas, por sus tonos muy oscuros, y las neutras, por sus tonos intermedios, ordinariamente grises o verdosos.

b) **Tendencias actuales en la clasificación.** — En las clasificaciones actuales se hacen intervenir los cuatro caracteres siguientes: origen y yacimiento, estructura, composición mineralógica y composición química. Pero unos autores forman sus grandes grupos atendiendo primero a la composición química;

después hacen las familias por la estructura y las especies por la composición mineralógica. Otros autores consideran como fundamental la composición mineralógica y los grupos que de ella resultan se subdividen atendiendo a la estructura y yacimiento. Otros comienzan por el yacimiento y estructura y hacen las subdivisiones atendiendo a la composición mineralógica y química.

La clasificación adoptada toma como base el yacimiento, y divide las rocas en intrusivas, filonianas y efusivas.

### 19. ROCAS INTRUSIVAS.

— Son las solidificadas en el seno de la corteza terrestre sin comunicación con el exterior.

En general, estas rocas son de estructura holocristalina o granítica, por proceder de un magma solidificado en una sola etapa (fig. 9).

Las rocas intrusivas se presentan formando batolitos y lacolitos. Los *lacolitos* consisten en penetraciones del magma entre dos capas, con levantamiento de la superior, o en una cavidad preexistente entre dos capas de terreno, y a esto hace referencia su nombre, tomado del griego *lakkós*, que significa foso o estanque. Los *batolitos* (del griego *bathos*, profundidad) son, por el contrario, masas de forma irregular y extensión considerable, cuya anchura aumenta con la profundidad; el granito se presenta corrientemente en forma de batolitos.

Las principales rocas intrusivas son: el granito, sienita, diorita, gabro y peridotita.

**20. GRANITO.** — Es una roca dura de textura granulosa y cristalina, compuesta de tres elementos esenciales: cuarzo, feldespato y mica, íntimamente unidos entre sí, sin necesidad de cemento o pasta que los amalgame.

a) **Caracteres.** — El color del granito es blanco, rojo, verde o gris. En él son fáciles de distinguir los tres minerales que lo forman, con frecuencia a simple vista o, por lo menos, con ayuda de una lente. El cuarzo se presenta bajo la forma de

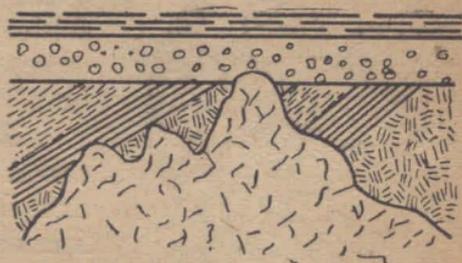


Fig. 9. — Esquema para hacer ver cómo puede determinarse la edad de un batolito.

granos de aspecto vítreo, incoloros o ligeramente grises; el feldespato, bajo la forma de cristales opacos, más o menos amarillentos, blancos, verdosos o rojizos; la mica, bajo la forma de pautas negruzcas y brillantes con reflejos metálicos (figs. 10 y 11).

El granito tiene con frecuencia minerales accesorios, como piroxeno, anfíbol, talco, turmalina, topacio, granate, magnetita, apatito, rutilo, zircón, etc. De los elementos constitutivos del granito el que suele dar coloración a las rocas es el feldespato ortosa, que contiene siempre óxido de hierro; el color verdoso se debe al talco o al anfíbol.

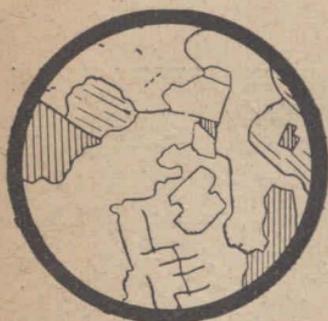


Fig. 10. — Sección microscópica de un granito vista con luz natural.

Por alteración el granito origina caolín y arenas y da lugar a la formación de *pedras* llamadas *caballeras*, de formas generalmente redondeadas. La dureza y resistencia del granito a los agentes destructores se halla en razón directa del predominio del cuarzo y en razón inversa del feldespato y mica.

b) **Variedades.** — 1.<sup>a</sup> *Granulita* es el granito en el que la mica biotita (negra) se halla sustituida por la mica moscovita (blanca), en grano tan fino que, a simple vista, este granito produce la ilusión de estar compuesto solamente de cuarzo y feldespato.

2.<sup>a</sup> *Granito de dos micas*: es el granito que contiene biotita y moscovita, y a la vez dos feldspatos (ortosa y oligoclasa). Este granito se descompone con mucha facilidad, por razón de los feldspatos.

3.<sup>a</sup> *Pegmatita*: es el granito sin mica o, si la tiene, forma masas aisladas. Cuando la pegmatita tiene sus cristales en formas ramificadas a manera de letras hebreas o de dibujos más o menos caprichosos se llama *gráfica* (figs. 12 y 13).

4.<sup>a</sup> *Granito talcoso*: es el granito con talco, que reemplaza parcialmente a la mica.



Fig. 11. — Sección microscópica del mismo granito de la fig. 10 vista con luz polarizada.

5.<sup>a</sup> *Granito hornbléndico*: es el que, además de los tres elementos esenciales, contiene hornblenda.

6.<sup>a</sup> *Granito piroxénico*: es el que, además de los tres elementos esenciales, contiene algún piroxeno.

c) **Yacimientos.** — El granito es roca de profundidad, que consolidada lentamente forma grandes macizos, de formas redondeadas con prolongaciones hacia otros terrenos en forma de diques o venas, enlazadas con las masas gráficas subyacentes. Su edad es variable, pero domina la precámbrica y paleozoica. Con todo, se admite hoy ya la probabilidad de que existan granitos secundarios y aun terciarios. En las regiones formadas de granito el subsuelo es, por lo general, impermeable y recubierto de una arena que absorbe mucha agua, lo cual da lugar a la formación de numerosos manantiales.

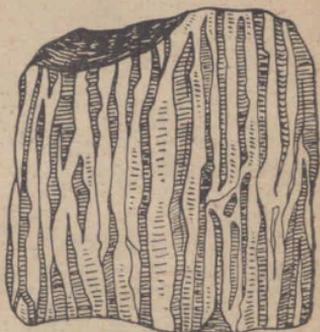


Fig. 12. — Fragmento de pegmatita normal.

d) **Localidades.** — El granito es la roca más repartida por el globo. Forma un gran casquete boreal, que abraza la América del Norte, Archipiélago Polar y Groenlandia; asimismo una región ecuatorial, que comprende el Brasil y Africa central. En la Argentina se presenta el granito formando todo el sistema central de montañas y se encuentra también en la isla de Martín García, para extenderse por el Uruguay, donde forma todas las cuchillas. Existe asimismo el granito en las sierras del sur de la provincia de Buenos Aires, desde Mar del Plata hasta la Sierra de la China.



Fig. 13. — Fragmento de pegmatita gráfica.

e) **Aplicaciones.** — El granito constituye un excelente material de construcción, sobre todo en sus variedades finas y ricas en cuarzo. Sirve también para el empedrado de las calles y caminos, pues el cuarzo resiste bien a la compresión y el feldes-

pato desagregado origina arcilla que sirve de cemento, ya que en efecto, el granito ofrece una resistencia de 1.500 a 3.000 kilogramos por centímetro cuadrado, y además posee la tendencia natural a fraccionarse en determinadas direcciones, dividiéndose en bloques paralelepíedicos, lo cual es aprovechado por los obreros en las canteras. Los granitos pobres en mica son susceptibles de hermoso pulimento, razón por la cual son utilizados como piedras de ornato, de la misma manera que los mármoles.

**21. SIENITA.** — Es una roca de estructura y aspecto análogos a los del granito, del que difiere por carecer de cuarzo. Su nombre se debe a la localidad de Siena, en Egipto, donde los antiguos egipcios explotaban importantes canteras.

a) **Caracteres.** — La sienita se compone esencialmente de ortosa, plagioclasa, hornblenda o augita; pero, además, encierra algunos otros minerales accidentales, como mica, nefelina, apatito, zircón, etc. La coloración de la sienita es variable, pues depende en gran parte del feldespato, que unas veces es rojizo como en Egipto, y otras veces gris, como en los Alpes. Del fondo del feldespato se destaca el color negro y en ocasiones algo verdoso del anfíbol, formando un bello contraste. Por descomposición la sienita origina terrenos parecidos a los graníticos, aunque más arcillosos y más ricos en cal y hierro.

b) **Variedades.** — La sienita, cuando aumenta la escasa proporción de cuarzo que suele tener, pasa a granito, y cuando disminuye la proporción de ortosa, por predominar la plagioclasa, se convierte en diorita.

Entre las variedades principales de sienita cabe mencionar: 1.<sup>a</sup> *Sienita nefelítica*, que existe en Noruega meridional y encierra elementos muy raros, como torio, itrio, cerio y tántalo; 2.<sup>a</sup> *Zirconsiénita*, en la que predomina el zircón; 3.<sup>a</sup> *Plauenita*, cuando consta de ortosa y hornblenda.

c) **Yacimientos.** — La sienita abunda menos que el granito, con el que se relaciona. En general, se halla formando grandes batolitos. Casi todas las sienitas son paleozoicas (carbonífero); con todo, las hay también cretáceas y hasta miocenas.

d) **Localidades.** — Se encuentra en Egipto, en Africa central y en Madagascar, en los Alpes suizos y en Noruega. En la Argentina forma parte del sistema central de sierras junto con el granito; además se halla en las sierras del sur de la provincia de Buenos Aires, desde Mar del Plata hasta la Sierra de la China.

e) **Aplicaciones.** — Las sienitas tienen casi las mismas aplicaciones que los granitos, o sea para materiales de construcción, de empedrado y aun de adorno. Los antiguos emplearon estas rocas para la construcción de obeliscos, esfinges, baños y sepulcros. También ahora se utiliza para monumentos, y así la estatua de Pedro el Grande, existente en San Petersburgo (hoy Leningrado), procede de un bloque errático de sienita de 800 toneladas, hallado a 9 leguas de dicha ciudad; son asimismo de sienita las cuatro columnas que sostienen la suntuosa cúpula de la Basílica de San Pedro en Roma y el obelisco existente en la plaza de San Juan de la misma ciudad.

22. **DIORITA.** — Es una roca de aspecto análogo al del granito y de la sienita, pero sin ortosa, siendo sus componentes esenciales plagioclasa, biotita, hornblenda o augita, con o sin cuarzo. *Diorita* quiere decir que sus elementos se distinguen fácilmente.

a) **Caracteres.** — La diorita presenta un color predominantemente verde, más o menos oscuro y a veces casi negro; uniforme en las variedades compactas, y salpicado de blanco en las de aspecto granitoideo. Es roca muy tenaz y bastante dura, pero susceptible de descomponerse por los agentes exteriores; su alteración produce terrenos parecidos a los de los granitos y sienitas. Además de los componentes esenciales contiene en ciertos casos mica, granate, epidoto y titanita (fig. 14).

b) **Varietades.** — 1.<sup>a</sup> *Tonalita*, que es una diorita cuarcífera, micácea y anfibólica, y 2.<sup>a</sup>, *diorita orbicular*, cuyos elementos se presentan en capas concéntricas más o menos esféricas u orbiculares.

c) **Yacimientos.** — Son casi los mismos que los de los granitos y sienitas; pero, por tratarse de una roca poco flúida, forma principalmente cúpulas y agujas.

d) **Localidades.** — La diorita forma masas rocosas de pequeña extensión en los Pirineos (España), Bretaña y Vosgos (Francia) y en la isla de Córcega. En la Argentina abunda más que la sienita, pues forma una grande extensión en la cordillera patagónica y también en las sierras pampeanas y de Córdoba.

e) **Aplicaciones.** — Se emplea, como el granito y la sienita, para la construcción, empedrado y decoración. En Florencia (Italia) se emplea para la fabricación de mosaicos. En la Sierra de Córdoba (Argentina) existen varias canteras de esta roca que torcidamente recibe la denominación de "granito".



Fig. 14. — Sección microscópica de una diorita cuarcífera.

**23. GABRO.** — Es una roca básica, de estructura granolítica, formada por plagioclasa y dialaga, como elementos esenciales.

a) **Caracteres.** — El gabro presenta color verde o gris obscuro. Además de plagioclasa y dialaga, encierra con frecuencia, accidentalmente, hornblenda, piroxenos rómbicos y olivino. La diferencia química principal entre el gabro y la diorita radica en el distinto grado de acidez del feldespato calcosódico, que en el gabro es básico y en la diorita ácido. Por descomposición la plagioclasa del gabro se transforma en serpentina, albita, actinota y granate, mientras que la dialaga da serpentina, clorita y talco (fig. 15).

b) **Variedades.** — 1.<sup>a</sup> *Eufótida*, que es un gabro de elementos muy grandes; 2.<sup>a</sup> *variolitita*, que es un gabro con granos en capas concéntricas de feldespato con algo de vidrio; 3.<sup>a</sup> *norita*, que es un gabro, en el que predominan los piroxenos rómbicos.

c) **Yacimientos.** — El gabro se presenta en la naturaleza en forma de macizos, filones, capas, mantos de intrusión y diques. Aparece por vez primera en el pérmico, abunda en el triásico y liásico y aun en edades posteriores, como en el eoceno y plioceno.

d) **Localidades.** — Se encuentra en Selva Negra y Silesia (Alemania), en la isla de Córcega, en los Apeninos (Italia) y en los Pirineos (España). En la Argentina existe gabro en la provincia de San Juan.

e) **Aplicaciones.** — Es excelente piedra de construcción, pues su resistencia iguala a la del granito; hay gabro que soporta 1.800 kilogramos de peso por centímetro cuadrado. Sirve también como piedra ornamental, ya que admite buen pulimento. En San Juan (Argentina) existen canteras de esta roca, que es utilizada como piedra de decoración.



Fig. 15. — Sección microscópica de un gabro olivínico.

**24. PERIDOTITA.** — Es una roca ultrabásica, formada de peridoto, piroxenos y anfíboles como elementos esenciales.

a) **Caracteres.** — La peridotita se presenta en colores muy oscuros, por carecer de elementos blancos (feldespatos). Además de peridoto, piroxenos y anfíboles, encierra con frecuencia, como elementos accidentales, magnetita, rubí, granate, rutilo y diamante, y diversos metales, como ferrocromo, hierro cromado, oro y platino. La alteración principal de esta roca consiste en la conversión del olivino en serpentina, asbesto, magnetita y talco.

b) **Varietades.** — 1.<sup>a</sup>, *Dunita*, que es una peridotita formada casi exclusivamente de olivino con algo de hierro cromado; 2.<sup>a</sup>, *Piroxenita*, en la que predomina el piroxeno; 3.<sup>a</sup>, *Hornblendita*, en la que predomina la hornblenda.

c) **Yacimiento.** — La peridotita forma grandes masas en el seno de los terrenos sedimentarios del paleozoico al cretáceo. La presencia de metales pesados en esta zona hizo sospechar a Daubrée que la peridotita constituye la escoria metálica del núcleo terrestre.

d) **Localidades.** — Se encuentra en Nueva Zelanda, Montes Urales (Rusia) y Serranía de la Ronda (España):

e) **Aplicaciones.** — La peridotita, convertida total o parcialmente en serpentina, se emplea para fabricar multitud de objetos, como vasos, candelabros, etc., por su fácil pulimento y diversidad de colores; asimismo de esta roca alterada se extrae asbesto, amianto, espuma de mar y talco. Por último, se explota la peridotita para separar de ella el diamante, el níquel, el oro y el platino.

**25. ROCAS FILONIANAS.** — Son las que, sin haber corrido por la superficie terrestre, rellenan grietas de otras rocas. Su estructura es porfídica o aplítica, es decir, que o bien presentan grandes cristales englobados en una pasta (porfídica), o bien bajo estructura granitoide, pero de grano fino (aplítica).

Las principales rocas filonianas son: el granito porfídico, la aplita y el lamprófido.

**26. GRANITO PORFÍDICO.** — Es una roca filoniana de estructura porfídica holocristalina, de composición análoga a la de las rocas granitoides. Las distintas especies de esta roca toman nombres relacionados con las rocas graníticas de parecida composición: así se llaman *porfidos graníticos*, los de la misma composición del granito; *porfidos sieníticos*, los de la misma composición de la sienita, y *porfidos dioríticos*, los de la misma composición de la diorita. Esta roca se encuentra en las formaciones paleozoicas de la Argentina (fig. 16).

**27. APLITA.** — Es una roca compuesta de ortosa, microclina, plagioclasa, cuarzo y algunas laminillas de mica. Entre

sus minerales accesorios figuran el apatito, zircón, turmalina y granate. Se ha dado el nombre de aplita a esta roca (del griego *haplós*, sencillo), por ser una especie de granito, compuesto principalmente de ortosa y cuarzo y una pequeña cantidad de mica. Se encuentra formando venas entre las rocas graníticas y las formaciones metamórficas que envuelven a los macizos graníticos.

**28. LAMPROFIDO.** — Es una roca de estructura aplítica, oscura y básica, en oposición al pórfido cuarcífero y a la aplita, que son ácidas. Los fenocristales pertenecen a minerales ferromagnésicos, como biotita, hornblenda o augita. El nombre de *lamprófid*o viene del griego *lamprós*, brillo, y *phorós*, el que lleva, por ser una roca que presenta cierto brillo.

Los lamprófidos se dividen en dos grupos: ortoclásicos o del tipo *minet* y plagioclásicos o del tipo *ker-santita*. Se encuentran formando diques, que atraviesan las formaciones graníticas.

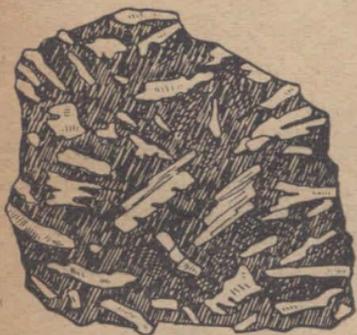


Fig. 16. — Fragmento de pórfido.

**29. ROCAS EFUSIVAS.** —

Son las rocas consolidadas en la superficie terrestre, al aire libre o en el fondo del mar. Ofrecen estructura porfídica, microlítica y semicristalina, y no pocas veces escoriácea, cavernosa, vesicular y fluidal. Se presentan en capas, coladas, corrientes, mantos, agujas y diques. Los *diques* se originan al rellenar las lavas ascendentes las fisuras del terreno, y si los materiales constitutivos de los diques son más resistentes que los que les rodean, quedan al descubierto y en relieve, cuando la erosión destruye las rocas adyacentes.

Las rocas efusivas o eruptivas se dividen en: *antiguas* si son anteriores al liásico, y *modernas*, o sea desde el comienzo de la era terciaria. Las principales rocas eruptivas antiguas son: pórfido cuarcífero, porfirita, meláfido y diabasa, y las principales rocas eruptivas modernas son: la ofita, andesita, fonolita, norita, riolita, traquita, basalto, vidrios volcánicos y lava.

**30. PORFIDO CUARCIFERO.** — Es una roca compuesta de fenocristales de cuarzo, ortosa, plagioclasa y biotita, sobre

pasta de grano finísimo o de vidrio más o menos desvitrificado. El nombre de *pórfido* viene del griego, que quiere decir *púrpura*, por el color rojo oscuro con manchas blancas que ofrecía una roca de esta clase proveniente del alto Egipto. Es una roca dura y tenaz, difícil de labrar, pero que puede adquirir buen pulimento. La principal variedad de pórfido cuarcífero es la *felsita*, en la que faltan los grandes cristales (fig. 17).

El pórfido cuarcífero se encuentra en Egipto y en Sierra Morena (España). Es una de las rocas ígneas más difundidas en la Argentina, particularmente en la Patagonia y en la precordillera.

Del pórfido cuarcífero resultan los mismos productos de descomposición que el granito; sirve como piedra de construcción y ornamentación, por el contraste que ofrecen los cristales gruesos sobre el color variado de la pasta. Los pórfidos rojos fueron, sobre todo, explotados en los tiempos más antiguos, los azules en tiempo de los romanos y los verdes en la Edad Media.

**31. PORFIRITA.** — Es una roca de color grisáceo o verde pardusco, por entrar en su composición minerales de ese color. Se compone de fenocristales de plagioclasa, cuarzo, anfíbol o piroxeno, y de pasta microlítica con o sin vidrio. Las porfiritas ricas en cuarzo se llaman *porfiritas cuarcíferas* y las porfiritas con poco cuarzo, *porfiritas normales*.

Se encuentran en diques o capas en las proximidades del pórfido cuarcífero, particularmente en Auvernia, Francia. En la Argentina abunda la porfirita en el Neuquén y sur de Mendoza.

Se emplea para la construcción, incluso ornamental. Así, por ejemplo, la catedral de Clermont-Ferrand (Francia) está construída de porfirita normal.

**32. MELAFIDO.** — Es una roca negra, si no está alterada, pero verde y rojiza en caso contrario, compuesta esencialmente de plagioclasa, augita y olivino; estos dos últimos minerales pueden presentarse en fenocristales y en la pasta. Es roca pobre en fenocristales y aun, a veces, pueden éstos faltar del todo. Una variedad de meláfido es el *meláfido amigdaloides*, llamado así cuando muestra pequeños huecos redondeados o alargados, unas veces vacíos y otras llenos de calcita blanca, que producen el aspecto de un turrón oscuro, con sus almendras blancas.

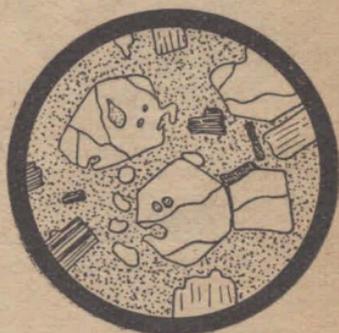


Fig. 17. — Sección microscópica de un pórfido cuarcífero.

El meláfido se encuentra en Almadén, España. En la Argentina abunda el meláfido, así normal como amigdaloides, en la provincia de Corrientes y en el territorio de Misiones, donde forma extensos mantos, alternados con bancos de arenisca.

**33. DIABASA.** — Es una roca de color negro, verde oscuro o pardo oscuro, de estructura granítica y microlítica, con predominio de la ofítica. Se compone esencialmente de plagioclasa básica y augita, a las que se asocian piroxeno rómbico, hornblenda y olivino. De hecho se presenta con frecuencia muy alterada, siendo los principales productos de su alteración la clorita, epidota, calcita y limonita (fig. 18).



Fig. 18. — Diabasa bronceada (con piroxeno bronceado).

Comúnmente se presenta en diques y a veces en corrientes. Es roca eruptiva muy antigua, como que pertenece a la edad paleozoica. Se encuentra en las cordilleras centrales de España y en las proximidades de Río de Janeiro (Brasil). En la Argentina ocupa vastas extensiones de terreno en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay; las cataratas del Iguazú son de esta roca.

La diabasa raras veces suministra buenos materiales de construcción, por la frecuencia con que se encuentra alterada.

**34. OFITA.** — Es una roca negra cuando fresca, y verde-amarillenta cuando ha experimentado alteración. Se compone esencialmente de plagioclasa, anfíbol y augita. El nombre de *ofita* se debe a Cordier, quien lo aplicó a ciertas rocas piroxénicas de colores verdosos (del griego *ophis*, serpiente). Es roca eruptiva, que podría llamarse de unión entre la serie antigua y moderna, como que empieza en el triásico y se extiende a lo largo de la era terciaria.

La ofita abunda mucho en España, particularmente en los Pirineos y Sierra Nevada.

Puede servir de piedra de construcción cuando no está alterada. La alteración de la ofita origina otra roca de hermoso color azul, llamada *aerinita*, que se presenta en venillas y bolsas de poca potencia.

**35. ANDESITA.** — Es una roca porfídica de tonos claros, oscuros y hasta negros, compacta y algo porosa. Esta roca fué llamada *andesita* por el Barón von Busch, por haberla hallado en los Andes. Se compone de fenocristales de plagioclasa, anfíbol o piroxeno, y de pasta microlítica de los mismos elementos con o sin vidrio. La andesita rica en cuarzo se llama *dacita* (fig. 19).

Las lavas productoras de andesita, por ser poco fusibles y muy viscosas, corren poco; de aquí que se acumulen en las inmediaciones de las grietas o



Fig. 19. — Sección microscópica de una andesita hornblendífera.

chimeneas volcánicas en forma de agujas, cúpulas o diques. Es roca de la era terciaria y aun cuaternaria, muy abundante en las regiones volcánicas de México y de toda la cordillera andina. En la Argentina se halla en la Cordillera de los Andes y en la parte centro-oeste de las sierras de Córdoba.

**36. FONOLITA.** — Es una roca ácida compuesta de sanidina, nefelina y leucita, que tiene como elementos accesorios augita y hornblenda. Es compacta o porosa, y a veces pizarrosa, hasta el punto de poderse exfoliar en hojas delgadas (fig. 20). Produce un sonido particular cuando se la golpea con el martillo o con cualquier otro instrumento de metal; por esto se la conoce también con el nombre de piedra sonora, y el nombre de fonolita alude precisamente a lo mismo (del griego *fos*, *fonós*, sonido).

Se presenta bajo color verdoso, frecuentemente manchado; funde al soplete, con el que da un esmalte blanco verdoso.

**37. NORITA.** — Es una roca compuesta de plagioclasa, piroxeno rómbico (hiperstena y enstatita), frecuentemente con peridoto, pero sin biotita y sin hornblenda. Es de color verde oscuro, por el predominio del piroxeno, y suele llevar granos de cordierita azulados.

**38. RIOLITA.** — La *riolita*, llamada también *liparita* y *traquita cuarcifera*, es una roca amarillenta, gris o verdosa, con fenocristales de sanidina y cuarzo, rara vez de biotita, hornblenda o augita. La pasta se compone de microlitos de los mismos minerales y de vidrio en proporción variable. Se ha dado el nombre de *riolita* a esta roca (del griego *rheo*, correr), por haber sido sus cristales arrastrados en la masa líquida, orientándose durante el movimiento en el sentido de la corriente.

La riolita presenta variedades muy compactas y otras, en cambio, muy porosas. Y dentro de una misma composición mineralógica, las diferencias de estructura y relativa cantidad de los elementos constitutivos dan lugar a numerosas variedades, que se confunden con los granitos, con los pórfidos cuarcíferos y con las rocas francamente vítreas.

La riolita abunda en la Cordillera de los Andes, desde San Juan y Catamarca hacia el Norte, y en ella existen a veces filones de minerales de oro, plata y cobre.

**39. TRAQUITA.** — Es una roca de color ceniciento, rojizo o verdoso, relativamente blanda y áspera al tacto, a lo cual alude su nombre, dado por Haüy (del griego *trajís*, áspero). Se compone de sanidina, plagioclasa y hornblenda o biotita. Su estructura es semicristalina. Se encuentra formando diques naturales o cúpulas, y a veces corrientes de poca extensión, de edad terciaria y cuaternaria. En ocasiones forma masas escarpadas, como las altas agujas de Puy-de-Dôme, Francia. La hay en la isla de Lipari (Italia), en el Senegal, en Canarias y en los Andes.

Es una roca que se emplea como material de construcción por ser liviana y dar gran solidez a los edificios junto con poco peso. La celebé-

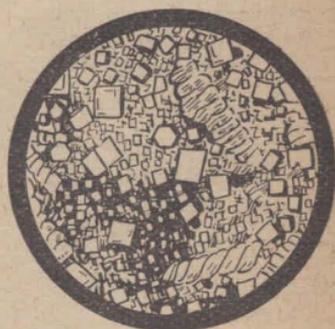


Fig. 20. — Sección microscópica de una fonolita.

rima catedral de Colonia y otros muchos monumentos están construidos con esta piedra.

**40. BASALTO.** — Es el representante volcánico del gabro y la norita. Es de color negro-azulado, debido a la gran cantidad de diminutos cristales de magnetita esparcidos por toda su masa. Su nombre procede de la palabra etiope *basal*, que quiere decir hierro, por la gran proporción que encierra de este metal. Pertenece a los terrenos terciario y cuaternario.

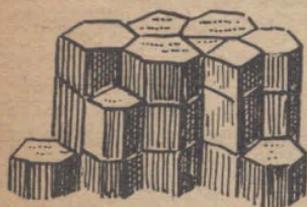


Fig. 21. — Columnas basálticas naturales.

Existen tres clases de basalto, a saber: plagioclásico, nefelítico y leucítico. 1.º El *basalto plagioclásico* se compone esencialmente de plagioclasa, augita y olivino; 2.º, el *basalto nefelítico* se compone de nefelina, augita y olivino, con o sin plagioclasa; 3.º el *basalto leucítico* se compone de leucita, augita y olivino. Cuando los cristales de augita son muy visibles, el basalto ofrece entonces el aspecto granitoide y se llama *dolerita* (del griego *dolerós*, engañador) por la facilidad con que se confunde con la diorita.

El basalto al contraerse por enfriamiento se parte en prismas exagonales en posición vertical y oblicua, dando origen a los llamados *órrganos geológicos* y *columnnatas* (fig. 21).

El basalto es roca muy extendida, en extremo frecuente, y así abunda en Francia (Le Puy), en la gruta de Fingal, en

Gerona (España), en Italia cerca de Roma y en el Etna. Curiosa es la formación basáltica existente a lo largo de la costa de Montevideo, pues se halla aislada de las demás formaciones sudamericanas, por lo cual se cree que proviene del lastre de buques o de alguna formación basáltica submarina. Otra vena basáltica se ha encontrado en el Salto Oriental. En la Argentina se ha señalado la presencia de basalto en varios puntos,

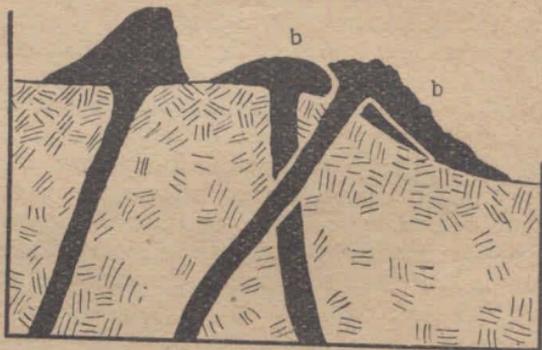


Fig. 22. — Formación de las erupciones superficiales de la corteza terrestre.

como Quebrada de las Señas y Punta de la Cuesta (Catamarca), paso del Infiernillo y parte alta del valle de Tafí (Tucumán). Asimismo es muy abundante en toda la Cordillera desde San Rafael, y la Patagonia está cubierta de cantos rodados basálticos, que se extienden hasta la Tierra de Fuego (fig. 22).

El basalto puede emplearse como material de construcción, pero se descompone con cierta facilidad, y en este estado suministra arcilla y caolín de buena calidad. Con todo, en algunos sitios se emplea para adoquines, que proporcionan un pavimento duro, aunque resbaladizo.

**41. VIDRIOS VOLCANICOS.** — Son transformaciones vítreas de la riolita. Los principales son: la obsidiana, piedra pómez, retinita y perlita.

a) **Obsidiana.** — Resulta de la lava de la riolita, pobre en gases, la cual se convirtió en vidrio natural, con fractura marcadamente concoidea, bordes cortantes y aspecto muy parecido al del vidrio artificial. El nombre de *obsidiana* proviene de *Obsidius*, que fué el primero en llevar a Roma esta piedra procedente de Etiopía.

La obsidiana ofrece color negro, pardo, azul, verdoso o rojo, formando a veces bancos o zonas paralelas. Su estructura es compacta, su lustre vítreo y su fractura concooidal. Puede ser opaca, traslúcida o transparente, según el espesor de sus lajas. Los elementos microscópicos empastados en la obsidiana, como cristalitos, microlitos e inclusiones, se disponen según la estructura fluidal. Cuando las cavidades gaseosas y líquidas son muchas, la roca pasa insensiblemente a tomar el aspecto de piedra pómez, y entonces se la llama *espuma de obsidiana*.

Abunda en las islas de Lípari (Italia) y en México. En la Argentina se encuentra en forma de cantos rodados en Río Negro, Río Gallegos y Santa Cruz. En otros tiempos los aborígenes de México y del Perú empleaban la obsidiana para hacer hachas, flechas y cuchillos. En la actualidad ciertas variedades de color negro se utilizan como piedra semipreciosa.

b) **Piedra pómez.** — La *piedra pómez* o *pumita* es una roca de aspecto espumoso, blanca, gris o amarillenta, de brillo sedoso recién cortada, compuesta de agujas y fibras entrecruzadas de la misma naturaleza que la obsidiana. Su densidad

es a veces inferior a la del agua, y entonces flota en este líquido. Procede de la lava de riolita, cuando en su interior contiene gran cantidad de gases en disolución. Funde al soplete con facilidad, dando un esmalte blanco.

Se encuentra en terrenos volcánicos, bajo la forma de fragmentos irregulares y sueltos, particularmente en la Isla de Lipari (Italia) y en las Islas Canarias. En la Argentina se halla en forma de cantos rodados en los ríos oriundos de la Cordillera y, sobre todo, en el llamado *Campo Piedra Pómez*, que se encuentra hacia el sur del territorio de los Andes.

Se emplea para el pulimento de diversos materiales, en Química, para la fabricación del papel y como piedra liviana en la construcción de bóvedas y arcos.

c) **Retinita.** — Es un vidrio pardo, verde oscuro o amarillento, de aspecto y brillo de pez. Visto al microscopio se ofrece cuajado de cristalitos, algunos microlitos y productos de desvitricación, dispuestos en formas fluidales y en bandas diversamente coloreadas. Abunda en Islandia, México y Ecuador. Carece de aplicaciones especiales.

d) **Perlita.** — Es un vidrio natural, pardo o gris-azulado, compuesto de esferitas con brillo perlado. No abunda mucho ni tiene aplicación alguna especial.

42. **LAVA.** — Es un producto volcánico, solidificado, procedente de erupciones volcánicas actuales. Es una roca de color gris y a veces rojo marrón, dura y áspera al tacto, de estructura compacta, algo celular y hasta cavernosa, debida a los gases desprendidos. Su composición es muy varia, aunque en general se asemeja a la de los basaltos, si bien hay lavas más ácidas que éstos, como las del Vesubio y Estrómboli en Italia. Suele presentarse como ríos solidificados, y además como materiales sueltos según su tamaño, a saber, bombas volcánicas, lapilli, puzzolana y cenizas volcánicas.

a) **Bombas volcánicas.** — Son trozos de rocas que encuentra la lava a su salida y que fundidos en sus bordes por la elevada temperatura y mezclados con la lava, toman una forma alargada y retorcida, en virtud del movimiento giratorio que adquieren.

Dos tipos, sobre todo, se conocen de bombas volcánicas, que dependen de la fluidez de sus materiales en estado de fusión. El primer tipo presenta forma semejante a un huso, cuyos extremos, si no se han roto al caer, aparecen largamente prolongados y retorcidos por la pastosidad de su masa primitiva y el rápido movimiento de giro adquirido al ser lanzada al aire. El tamaño de estas bombas es muy variable, pues desde el de un puño pasan a medir varios metros cúbicos, si bien estas últimas no son de forma tan perfecta. En Nápoles se conocen estas bombas con el nombre de *lágrimas del Vesubio*. El segundo tipo de bombas es el originado por lavas poco viscosas; su forma es sumamente irregular y su superficie, que forma una verdadera corteza, está agrietada en todos sentidos. Por lo general son mucho menores que las del primer tipo, pues rara vez pasan del tamaño de unos decímetros cúbicos.

b) **Lapilli.** — Los *lapilli* son piedrecitas de colores negruzcos, que constituyen el tránsito de los gruesos materiales que forman las bombas a las finas cenizas, y no son otra cosa que verdaderas escorias de vidrio fundido y solidificado al ser proyectadas al aire. Proceden de lavas flúidas, convertidas en masas esponjosas en el seno del aire. Son frecuentes estos materiales en el Vesubio (Italia) y en las Islas Canarias, donde ocupan grandes espacios y fuertes espesores.

c) **Cenizas volcánicas.** — Las *cenizas volcánicas* son los materiales más finos impulsados por los gases que a gran presión se desprenden del cráter, se elevan a enorme altura y, transportados posteriormente por el viento, pueden recorrer a veces distancias enormes. Así las cenizas lanzadas por un volcán de Islandia en 1875 fueron transportadas por el viento y cayeron a manera de lluvia sobre Estocolmo (Suecia); una de las erupciones del Vesubio originó nubes de cenizas, cuyos productos más finos llegaron hasta Constantinopla; las cenizas de los volcanes andinos han llegado en ocasiones hasta Buenos Aires, y la explosión final del Krakatoa (en las Islas de la Sonda) lanzó al aire en 1883 una cantidad tan colosal de cenizas y polvo, que durante varios meses estuvieron en suspensión en la atmósfera, e impulsadas por los contralíseos se repartieron por toda la redondez de la tierra y dieron lugar durante el invierno siguiente a vistosisimos fenómenos crepusculares que pudieron ser observados desde toda Europa.

d) **Corrientes de lava.** — Son los materiales de los volcanes que no han sido arrojados al aire, sino que han corrido por las laderas del volcán. Estas corrientes ocupan a veces extensiones enormes, como, por ejemplo, en la India la meseta del Decán está recubierta por dichos materiales en una extensión de medio millón de kilómetros cuadrados y con espesores, a veces cercanos a los mil metros. Islandia puede decirse que está formada por la acumulación de numerosísimas corrientes de lava y capas de cenizas.

Las lavas sólo en las cercanías del cráter tienen una apariencia de rocas fundidas semejantes a un río de fuego, pero al llegar a las zonas llanas, rápidamente se solidifican en su superficie, pudiendo ésta tomar forma plana u ondulada y retorcida. A mayor distancia las corrientes se recubren al enfriarse más de escorias y lavas solidificadas, generalmente negruzcas o de tonos rojizos o amarillentos, de apariencia esponjosa, cuyas cavidades no son sino burbujas endurecidas que en un principio estaban rellenas de emanaciones gaseosas. Estos materiales escoriáceos, que fácilmente se fragmentan, dan un aspecto áspero y erizado a las corrientes una vez que se han endurecido, por lo que son comúnmente difíciles de recorrer; estas zonas en Canarias se las conoce con el nombre de *malpaíses*. Las lavas pueden emplearse para la edificación y para el empedrado.

## CAPÍTULO III

# ROCAS SEDIMENTARIAS

SUMARIO: 43. Noción de roca sedimentaria. — 44. Formación de las rocas sedimentarias. — 45. Clasificación de las rocas sedimentarias. — 46. Generalidades sobre las rocas clásticas. — 47. Rocas psamíticas. — 48. Rocas psamíticas. — 49. Rocas pelíticas. — 50. Generalidades sobre las rocas químicas. — 51. Caliza. — 52. Yeso. — 53. Sal gema. — 54. Sales potásicas. — 55. Rocas de origen orgánico. — 56. Rocas calcáreas. — 57. Rocas fosfatadas. — 58. Rocas silíceas. — 59. Rocas sedimentarias de origen volcánico.

**43. NOCIÓN DE ROCA SEDIMENTARIA.** — Llámense *rocas sedimentarias* las formadas a expensas de materiales previamente existentes y que en el decurso de las edades se han acumulado en el seno de las aguas o en la superficie del suelo libre.

Dos caracteres principales distinguen a las rocas sedimentarias: 1.º Su origen externo o epigénico, por lo cual se llaman *epigénicas*; 2.º, su disposición en lechos o estratos, por lo cual se llaman *sedimentarias*; 3.º, la presencia de fósiles, es decir, de restos de animales o vegetales, por lo cual se llaman *fosilíferas*.

**44. FORMACION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.** — Las rocas sedimentarias proceden de fragmentos de rocas pre-existentes o de sus productos de alteración.

a) **Composición mineralógica.** — La composición mineralógica de las rocas sedimentarias raras veces coincide con la

de las rocas de donde proceden y de sus productos de alteración, como silicatos, cuarzo, limonita, etc., pues en la composición mineralógica de las rocas sedimentarias interviene como factor decisivo la resistencia de los elementos a la descomposición y disgregación y el grado de solubilidad de los productos resultantes. Por esto en las arenas resultantes de la desagregación del granito predomina el cuarzo; por esto también los carbonatos de calcio, sodio y potasio, resultantes de la descomposición del granito, como fácilmente solubles, son llevados por las aguas a gran distancia, hasta depositarse en el seno de las cuencas lacustres al evaporarse las aguas que los han acarreado.

En general, las rocas sedimentarias se componen de dos clases de productos, unos llamados *detríticos*, o sea de trituración y transporte mecánico, y otros *de disolución*, por precipitación química. Pocas rocas sedimentarias se encontrarán en las que no coexistan materiales de las dos clases; sin embargo, en unas predominan más los productos detríticos, y en otras los productos de disolución. Así las *molvas* se componen de granos de cuarzo (producto detrítico) y cemento calizo (producto de disolución), y las *margas* son mezcla de arcilla (producto detrítico) y caliza (producto de disolución).

**b) Agentes que intervienen en su formación.** — Son el viento, las aguas corrientes y el hielo.

1. El *viento* sólo origina rocas de elementos finos, como arena y arcilla. Las rocas originadas por la acción del viento se denominan *eólicas* (del griego *Eos*, considerado por el paganismo como dios del viento).

2. Las *aguas corrientes* determinan gran variedad de rocas sedimentarias, cuya forma y espesor dependen de la distancia a que son transportados los detritus, de la rapidez de su movimiento y de la naturaleza misma de los detritus. Los detritus de las rocas formadas por cursos de agua rápidos y relativamente cortos tienen sólo redondeados los ángulos; los detritus procedentes de largos caudales suelen presentarse muy bien redondeados y clasificados por tamaños, de suerte que en las proximidades de su origen se hallan los más gruesos y cerca de la desembocadura los más finos.

3. El *hielo* no redondea los detritus ni determina su clasificación por tamaños, dado que simplemente cabalgan en él sin intervenir la acción de la gravedad.

c) **Transformaciones ulteriores.** — Consisten principalmente en la introducción o desaparición de minerales y en la transformación de los preexistentes; el fenómeno se conoce con el nombre de *diagénesis* de los sedimentos, y es distinto del llamado metamorfismo de las rocas.

Entre las transformaciones principales que experimentan las rocas sedimentarias merecen señalarse: la *decalcificación* de las calizas arcillosas y la *dolomitización*, o sea la sustitución de parte del carbonato cálcico por el magnésico en las calizas magnesianas.

#### 45. CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.

— Las rocas sedimentarias pueden clasificarse atendiendo a su origen, a su coherencia o estructura y a su composición química.

Por su *origen* las rocas sedimentarias se dividen en clásticas, químicas y orgánicas: 1.º *Rocas clásticas o detriticas* son las que se componen de fragmentos de otras rocas; 2.º *Rocas químicas* son las debidas a fenómenos químicos de precipitación; 3.º *Rocas orgánicas* son las procedentes de seres orgánicos o debidas a acciones orgánicas.

Por su *coherencia* las rocas sedimentarias se dividen en *coherentes e incoherentes*. Son coherentes, por ejemplo, la caliza y la brecha; son incoherentes la arcilla y la arena.

Por su *estructura* las rocas se dividen en *psafíticas* o de grano grueso, *psamíticas* o de grano mediano y *pelíticas* o de grano fino.

4. Por su *composición química* las rocas se dividen en *carbonatadas, silíceas, ferruginosas, carbonosas*, etc.

La clasificación adoptada en este texto es la primera, o sea la que divide las rocas sedimentarias atendiendo a su origen en clásticas, químicas, orgánicas y volcánicas.

#### 46. GENERALIDADES SOBRE LAS ROCAS CLASTICAS.

— *Rocas clásticas o detriticas* son las que se componen de fragmentos de otras rocas. Se llaman también *deutógenas* (del griego *deutós*, segundo), por estar formadas de materiales procedentes de la disgregación de otras rocas y ser como de segunda formación.

Pueden hallarse sueltas, como grava, arena y tierra vegetal, o cementadas por un cemento calizo, silíceo, arcilloso o ferruginoso, como los conglomerados y las areniscas. Para encontrar

el primitivo origen de las rocas clásticas es menester remontarse a las rocas eruptivas, las cuales están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos. El cuarzo es sumamente resistente, y, por tanto, los elementos cuarzosos serán simplemente triturados, para formar la categoría de sedimentos que, en orden de tamaño, se llaman guijarros, grava, arena, limo. Los feldespatos y demás silicatos contienen alúmina y son mucho menos resistentes que el cuarzo; de aquí que sean reducidos a polvo tenue y aun descompuestos por el agua al estado de silicatos hidratados de aluminio, que originan los sedimentos arcillosos.

Las rocas clásticas se dividen en tres grupos, a saber: psafíticas, psamíticas y pelíticas, las cuales, a su vez, pueden hallarse compuestas de materiales sueltos o conglomerados por un cemento.

**47. ROCAS PSAFITICAS.** — *Rocas psafíticas* (del griego *psafós*, piedra pequeña) son las rocas detríticas formadas de fragmentos gruesos. Las principales son las rocas sueltas y los conglomerados.

a) **Rocas sueltas.** — Son los detritus desprendidos de las grandes masas rocosas acumulados en las pendientes y en la base de las mismas (detritus de falda) o transportados por las aguas a ciertas distancias; en el primer caso suelen ostentar formas angulosas y en el segundo formas redondeadas y toman distinto nombre, según el tamaño de los fragmentos, a saber: guijarros, cascajo y grava.

*Cantos rodados* o *guijarros* son detritus grandes, mayores que un huevo de gallina, pulimentados por las aguas en movimiento; *cascajo* es la reunión de detritus redondeados, cuyo tamaño oscila entre el de avellanas y huevos de gallina; *gravas* son arenas gruesas, de tamaño comprendido entre el de perdigones y avellanas. Abundan en la base de todos los terrenos sedimentarios y se emplean como materiales de construcción (cemento armado) y para el afirmado de los caminos.

b) **Conglomerados.** — Son cantos rodados, cascajo o gravas y también fragmentos irregulares, empastados en una masa de grano más fino, cementado por caliza, sílice o arcilla. Si los fragmentos son redondeados se llaman *pudingas* y si son angulosos, *brechas*.

Las *brechas* son productos formados en la base de los precipicios o acantilados con los cantos que se desprenden de las rocas circundantes, ya sobre el suelo seco del fondo, ya sobre las aguas profundas de un lago o del mar. Las *pudingas* son el resultado del transporte del conglomerado por el agua y de una acción atmosférica que ha redondeado las aristas, hasta que posteriormente sobrevino un cemento que unió los fragmentos (fig. 23).

La formación más típica de pudingas se encuentra en los picachos de Montserrat (España). En la Argentina abundan las brechas y pudingas en las regiones montañosas de Catamarca, Salta, Jujuy y sierras pampeanas. Los conglomerados, si están bien cementados, sirven como materiales de construcción, y aun algunos se emplean como piedras de revestimiento por presentar diferentes colores.

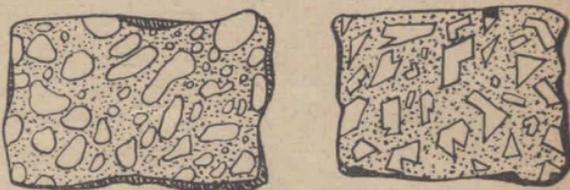


Fig. 23. — Dos ejemplares de conglomerados: izquierda, pudinga; derecha, brecha.

**48. ROCAS PSAMÍTICAS.** — *Rocas psamíticas* (del griego *psammós*, arena) son las rocas detríticas formadas de pequeños fragmentos. Estas rocas pueden ser sueltas o cementadas. Son el resultado de la descomposición de las rocas y de la trituración de sus diversos materiales, hasta adquirir un grado considerable de tenuidad.

a) **Rocas psamíticas sueltas.** — Se llaman comúnmente *arenas*. Son aglomeraciones de pequeños fragmentos de rocas, compuestas principalmente de granos de cuarzo, aunque también las hay calcáreas, feldespáticas, piroxénicas, magnetíticas, etc. A veces contienen granos de oro, platino y otros metales y hasta piedras preciosas.

En la Argentina se distinguen dos clases de arena: la *oriental*, de grano grueso, proveniente de las costas del Uruguay, y la *de Zárate*, de grano mucho más fino, procedente de las orillas del río Paraná. La arena se emplea como material de construcción en la argamasa y en el cemento pòrtland.

b) **Rocas psamíticas cementadas.** — Son agregados de arena unidos por un cemento; se llaman comúnmente *areniscas* o *asperones*. Proviene de antiguos arenales, cuyas partículas fueron después unidas por un cemento. Los granos de arena pueden ser de cuarzo, caliza, feldespato, mica, etc., y el cemento puede ser calizo, arcilloso, silíceo, ferruginoso, etc. Son rocas de tacto áspero, de textura granujenta y de colores variados, según los óxidos metálicos que las tiñen (fig. 24).

Las principales variedades de arenisca son: 1.<sup>a</sup> *Greda*, que es una arenisca formada de granos silíceos y calizos; 2.<sup>a</sup> *pedra de molino*, que es una arenisca con cemento silíceo, muy tenaz y resistente; 3.<sup>a</sup> *molasa*, que es una arenisca micácea, poco coherente, de cemento calizo; 4.<sup>a</sup> *grauwaca*, que es una arenisca característica de las formaciones paleozoicas, cuyos granos son de cuarzo, feldespato, lidita, mica, etc., con cemento silíceo-arcilloso.

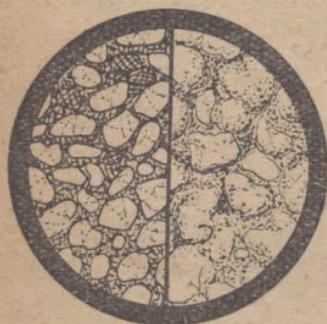


Fig. 24. — Arenisca: derecha, con cemento silíceo; izquierda, con cemento calizo.

Las areniscas se emplean como piedras de construcción, de molino de afilar y de pavimento. En la Argentina existe gran variedad de areniscas.

Así la arenisca gris de Sampacho, al sur de Córdoba, y la del Alto Pencoso, en San Luis, se emplean como piedra de construcción; la de Sierra Norte de Córdoba, de grano fino, uniforme y bastante consistente, se utiliza para piedra de afilar y de molino; la de Sierra Baya para el empedrado de las calles, y la de la Sierra de Curumalán, como piedra de construcción.

**49. ROCAS PELITICAS.** — *Rocas pelíticas* (del griego *pelós*, arcilla) son las rocas detríticas formadas de muy diminutos fragmentos, que pueden hallarse sueltos o cementados, lo cual funda una gran división de estas rocas.

a) **Rocas pelíticas sueltas.** — Son muchas, entre las que cabe señalar el limo, loes, tierra vegetal, arcilla y marga.

1. *Limo* son masas de partículas sueltas depositadas en el seno del agua por sedimentación mecánica; su composición es muy varia, ya calcárea, ya silícea, feldespática, etc. Se encuen-

tra preferentemente en la desembocadura de los ríos y en los terrenos ribereños llanos poco después de haber experimentado alguna inundación.

2. *Loes* es una roca de color pardo y poco coherente, como que se desmenuza entre los dedos en forma impalpable, depositada por el viento durante los tiempos cuaternarios. Carece de estratificación propiamente tal; es muy permeable y de gran capilaridad, pues se encuentra recorrida por canalículos radiformes. Forma inmensas extensiones en China y en la Argentina, en las llanuras pampeanas.

3. *Tierra vegetal* es la mezcla de detritus procedentes de la disgregación de las rocas y de los productos resultantes de la descomposición de los vegetales: puede ser arenosa, arcillosa o calcárea, pero siempre con bastante cantidad de materia orgánica. En la Argentina constituye el manto de tierra negra que recubre el loes pampeano.

4. *Arcilla* es la mezcla de arenas finísimas con sustancias arcillosas coloidales. Proviene de la descomposición de los feldspatos de las rocas granitoides, y por esto abunda sobre todo al pie de las montañas graníticas. La arcilla se ofrece con los más variados colores (amarillo, pardo, rojo, etc.), debidos principalmente a los óxidos de hierro, pero cuando es pura y blanca se llama caolín. La arcilla sirve principalmente para fabricar ladrillos y objetos de alfarería, y el caolín para la porcelana.

5. *Margas* son arcillas con menudos fragmentos de rocas calcáreas, que se distinguen de la arcilla común por no ser plásticas y producir efervescencia con los ácidos. Se emplean para fabricar cementos.

b) **Rocas pelíticas cementadas.** — Son las *arcillas esquistosas*, o sea las arcillas endurecidas por la presión y desecación, en forma de capas delgadas de variados colores. Es que por estas acciones la sustancia coloidal de la arcilla hace las veces de cemento y determina en la roca la estructura hojosa. La variedad negra o azulada, muy compacta, se llama *pizarra de tejar* y se emplea para recubrir los techos de las casas (fig. 25).

## 50. GENERALIDADES SOBRE LAS ROCAS QUIMICAS.

— Son las que proceden de la precipitación de materiales disueltos en las aguas. Se llaman también *protógenas* (del griego

protós, primero) o de primera formación, por no proceder inmediatamente de otras rocas preexistentes.

No dejan de ser curiosos los procesos de formación de las rocas sedimentarias. En los terrenos se encuentran siempre en mayor o menor cantidad ya formadas muchas sales, como cloruros, sulfatos, nitratos y otras. El agua disuelve con facilidad estas sales. Pero pueden suceder dos cosas: 1.º Que en el camino hacia el mar se encuentren dos venas de agua; entonces al juntarse, reaccionen entre sí, produciendo un precipitado, como los que se obtienen en los laboratorios en los tubos de ensayo con diferentes reactivos: las sales naturales que así precipitan forman entonces depósitos químicos en los continentes. 2.º Que las sales disueltas vayan a un lago o al mar sin sufrir transformación, y éste es el caso general. En esto el agua de los mares y aun de algunos lagos es siempre salada.

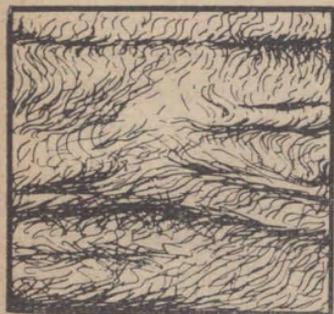


Fig. 25. — Pizarra arcillosa intensamente plegada.

Los lagos formados en el interior de los continentes ofrecen a este respecto ciertas particularidades dignas de atención. En efecto, los lagos de los continentes con la salida cerrada sobre todo si se encuentran situados en zonas más cálidas y secas, se llenan de sales al paso del tiempo, porque a medida que el agua se va evaporando la salinidad crece; nuevas lluvias aportan mayor cantidad de sales y nuevas evaporaciones las concentran, y después de algún tiempo la salinidad de esos lagos llega a superar a la de las aguas del mar. Se pueden citar como ejemplos la laguna de Gallocanta, en Aragón (España); el Mar Muerto en Palestina, y el gran lago salado Mar Caspio, que llena una amplia cavidad del continente asiático y que se comunica con el mar Caspio por un estrecho canal.

Otras veces el agua no encuentra ya formadas las sales solubles, sino que antes de disolverlas, primero las ha de producir, por más o menos complicados procesos químicos. Esto tiene lugar por el fenómeno de la disgregación de las rocas, en el que intervienen principalmente, además del agua, el oxígeno y anhídrido carbónico que lleva disueltos. Los procesos que se realizan son tantos como reacciones químicas son posibles entre el agua, el oxígeno, el anhídrido carbónico y los variados minerales que pueden encontrarse en los terrenos. Además, a grandes profundidades el agua se enfría y se mineraliza cada vez más. Los ejemplos clásicos de estas acciones son la descomposición de los feldspatos y la disolución y precipitación posterior de los carbonatos.

Las principales rocas químicas son la caliza, la sal gema, el yeso y las sales potásicas, por ser éstos frecuentemente los materiales más importantes que suelen contener disueltos las aguas en cantidad suficiente para ser precipitados por saturación.

**51. CALIZA.** — Es la roca producida por precipitación química del carbonato cálcico disuelto en las aguas. No todas las calizas son de origen químico, pues las calizas marinas

tribuyen más bien a la acción de los organismos marinos, por contener ordinariamente las aguas marinas suficiente cantidad de carbonato cálcico en disolución que pueda ser precipitado por saturación. La caliza química por excelencia es la continental, la cual procede de las aguas que circulan por el interior de terrenos calcáreos, al sobresaturarse por pérdida de anhídrido carbónico. Las principales calizas químicas son: las estalactitas y estalagmitas, el travertino y las tobas calizas.

1. Las *estalactitas* y *estalagmitas* se forman en las grutas y cavernas con las partículas de calcita que deja el agua al caer gota a gota. Es un proceso de siglos: al principio se forma en el techo una prominencia, que con el tiempo crece hasta tomar forma de un conito colgante y se llama *estalactita* (del griego *stalactos*, lágrima), mientras en el suelo las mismas gotas forman unos conos llamados *estalagmitas*, que en ocasiones se unen a las *estalactitas* hasta constituir una especie de columnas.

2. La *tosca* es una capa calizo-arcillosa, impermeable, que ordinariamente sigue las ondulaciones de la superficie del terreno. Se encuentra en el terreno pampeano de la Argentina, y a veces se emplea para la fabricación de la cal. Por efecto de acciones posteriores a su formación, el manto de tosca en la provincia de Buenos Aires aflora en la costa del Río de la Plata y del Atlántico. La tosca se debe a las aguas de infiltración que han atravesado al loes pampeano en épocas antiguas y que, por contener disuelto anhídrido carbónico, disolvieron la caliza de las capas inferiores, que se han empobrecido de este mineral, y en cambio este mismo mineral se ha reunido a cierta profundidad en forma de mantos, que son la tosca actual.

3. El *travertino* es una roca sedimentaria calcárea, depositada sobre las rocas de los manantiales cargados de carbonato cálcico, como sucede en Puente del Inca (Argentina).

4. Las *tobas calizas* son depósitos calizos de consistencia blanda o compacta, que encierran restos de algas, musgos, insectos y moluscos. Estas concreciones se forman con preferencia en las plantas bañadas por manantiales calcáreos, no sólo porque aumentan la superficie de evaporación, sino porque, además, se apoderan del anhídrido carbónico por asimilación.

52. **YESO.** — Es sulfato cálcico precipitado por concentración de las aguas que lo llevaban disuelto. Esta concentración debe tener lugar principalmente en los lagos de poca profun-

didad, comunicados con el mar, al tiempo de las bajas mareas en climas y estaciones cálidas. Así se han formado capas de yeso y aun a veces de sal, alternando frecuentemente con materias arcillosas.

El yeso se encuentra sobre todo al estado de mantos o depósitos lenticulares o en capas delgadas entre estratos arcillosos. Con todo, en ocasiones, el yeso aparece en formaciones lacustres, sin comunicación con el mar, particularmente en los terrenos miocenos, lo cual demuestra que las aguas de los lagos miocénicos contendrían gran cantidad de yeso disuelto, arrastrado por los ríos desde yacimientos preexistentes en terrenos más antiguos.

**53. SAL GEMA.** — Son masas de cloruro de sodio de origen marino, precipitadas por la evaporación de las aguas en lagunas saladas costaneras o en mares totalmente cerrados. Los depósitos de sal gema no están limitados a una determinada edad geológica, pues se los encuentra en formaciones de terrenos primarios, secundarios y terciarios.

Los depósitos de sal gema más célebres son el de Wielczka, en Polonia, situado a la profundidad de 300 metros, donde se explota en un laberinto de galerías que alcanza a medir 93 kilómetros; la montaña de sal de Cardona (Barcelona, España), de 180 metros de altura y 5 kilómetros de perímetro con un contenido de unos 300 millones de metros cúbicos de sal gema. En la Argentina existen grandes extensiones salinas, llamadas *saladares*, en las regiones áridas de Córdoba, Catamarca y La Rioja.

**54. SALES POTÁSICAS.** — Son depósitos de cloruro y sulfato potásico con sales sódicas y magnésicas. Su formación es parecida a la del yeso y de la sal gema; pero, dada la gran solubilidad de las sales potásicas y magnésicas, pocas veces se han realizado en el decurso de las edades geológicas, las condiciones requeridas para su precipitación; por esto son muy contados estos yacimientos.

Los principales yacimientos de sales potásicas son los de Stassfurt (Alemania), Alsacia (Francia), Suria, Cardona y Sallent, España; estos últimos abarcan una extensión de 42 kilómetros de longitud por 15 kilómetros de anchura y se hallan a una profundidad que oscila entre 200 y 800 metros.

**55. ROCAS DE ORIGEN ORGANICO.** — Las rocas de origen orgánico provienen de la acumulación sucesiva de restos

de seres vivientes, hasta formar en ocasiones enormes masas de rocas y terrenos. Estas rocas pueden ser de dos clases: unas proceden de la transformación más o menos profunda de la misma substancia orgánica del ser viviente, y otras provienen de las partes minerales o muy mineralizadas constitutivas de los órganos esqueléticos del ser viviente.

Las rocas procedentes de la transformación de materia orgánica de los seres vivientes, como los carbonos minerales, y, según muchos, los petróleos, se estudian en mineralogía. Las rocas provenientes de órganos esqueléticos se componen, sobre todo, de carbonato y fosfato cálcicos y anhídrido silícico, que son de origen zoógeno, y dan lugar a rocas calcáreas fosfatadas y silíceas.

**56. ROCAS CALCAREAS.** — Las rocas calcáreas de origen orgánico son, sobre todo, marinas, y provienen de restos de esqueletos calcáreos de animales, que se fueron acumulando en el mar en cantidades prodigiosas. Según los animales que suministraron las caparazones para la formación de las rocas calcáreas, toman éstas diferentes nombres. Las principales son: la caliza nummulítica, caliza madreporica, lumaquelas, creta y bancos de ostras y conchillas.



Fig. 26. — Caliza nummulítica.

1. La *caliza nummulítica* es una roca compuesta de unos animales exclusivos del terciario, llamados nummulites, que son foraminíferos con capas circulares concéntricas acanaladas (fig. 26).

2. La *caliza madreporica* está formada por ramos de coral o tallos de crinoides, cementados por calcita.

3. Las *lumaquelas* son calizas constituídas por la acumulación de caparazones fósiles de moluscos, cementados por caliza, que cuando se presentan nacarados son muy apreciados como piedra de ornamentación.

4. La *creta* es una caliza blanda, blanca o gris, que tizna los dedos, formada de finísimos restos de equinodermos, moluscos y gran cantidad de caparazones de foraminíferos.

5. Los *bancos de ostras y conchillas* son aglomeraciones de caparazones de estos animales, con débil o ningún cemento, que se encuentran en el subsuelo de terrenos recientes o afloran en las barrancas de las proximidades de los ríos y mares. En la Argentina abundan en las barrancas del Paraná y en las orillas del Río de la Plata.

**57. ROCAS FOSFATADAS.** — Son rocas ricas en fosfatos de calcio, ya formando mantos de notable extensión, ya en nódulos, ya bajo la forma de osamentas. Se llaman comúnmente fosforitas.

Al grupo de rocas fosfatadas puede adjudicarse el *guano*, roca rica en fosfatos y en materias nitrogenadas, formada por depósitos antiguos de excrementos de aves marinas y restos orgánicos de origen diverso, llevados por las mismas aves para su alimentación. En la actualidad siguen formándose tales depósitos, merced a las aves llamadas *guaneras*, como la *Sterna Procellaria* y *Phoenicopterus*. Se presenta con aspecto terroso de color amarillo-rojizo y de olor fuertemente amoniacal. Se encuentra en algunas islas y costas americanas del Pacífico austral, donde reina clima cálido y seco. El espesor de sus depósitos alcanza a veces 18 y hasta 20 metros. En la Argentina se han descubierto algunos depósitos de guano en el Golfo San Jorge (Patagonia), en clima frío. El guano se explota para ser utilizado como abono.

**58. ROCAS SILICEAS.** — Las rocas silíceas de origen orgánico provienen de la acumulación de esqueletos silíceos de diversos animales, como radiolarios y esponjas silíceas, y aun a veces de plantas, como las microscópicas diatomáceas, que viven de preferencia en los mares fríos y forman sedimentos en las grandes profundidades oceánicas. Estas rocas se llaman también *diatomita*, *tierra de infusorios* y *trípoli*.

Actualmente se forman depósitos de esta clase en los mares fríos, y en el Pacífico cubren gran parte de su fondo. Los principales yacimientos se encuentran en Berlín (Alemania) y en Morón (España). Por su dureza se emplea esta roca para pulimentar metales y piedras, y por su porosidad para absorber la nitroglicerina se usa para fabricar la dinamita.

**59. ROCAS SEDIMENTARIAS DE ORIGEN VOLCANICO. —**

Son las rocas resultantes de la consolidación de los productos arrojados por los volcanes modernos, como bombas, escorias, lapilli y cenizas. Se llaman también *rocas piroclásticas*. Con frecuencia estos materiales, acumulados por el viento al aire libre o en el fondo de algún mar o lago, son cementados luego por caliza, arcilla o sílice, con lo cual se tienen rocas de origen mixto, parte volcánico y parte detrítico o químico.

Las rocas piroclásticas pueden dividirse, según la naturaleza de la lava de que proceden, en: traquíticas, andesíticas, porfíricas, diabásicas, riolíticas y basálticas. Las principales rocas piroclásticas son las cineritas, los aglomerados volcánicos y las tobas volcánicas.

1. *Cineritas* son cenizas volcánicas cementadas. En la llanura pampeana de la Argentina es dado encontrar capas de cinerita de hasta un metro de espesor, así en la superficie del terreno como debajo de sedimentos recientes. Esta cinerita es piedra pómez pulverizada, proveniente de los volcanes andinos, y repartida a distancia por los vientos, como no hace muchos años pudo observarse en casi toda la Argentina hasta Buenos Aires.

2. *Aglomerados volcánicos* son amontonamientos de cantos de variados tamaños y aun de bloques de varios metros de diámetro, de origen volcánico, cementados con caliza, arcilla o sílice.

3. *Tobas volcánicas* son rocas de estructura más o menos esponjosa, formadas de detritus volcánicos de tamaño intermedio entre los aglomerados y los depósitos compactos de finas cenizas (cinerita), que se consolidaron unas veces debajo del agua y otras en tierra seca. Suelen ir acompañadas de materiales extraños, como arcilla y restos orgánicos. Gran parte de las tobas volcánicas proceden de las erupciones actuales, aunque las hay también terciarias y pleistocenas. En España, frente a las costas de Valencia, existen unas islas llamadas Columbretes, integradas en gran parte por tobas volcánicas.

## CAPÍTULO IV

# ROCAS METAMORFICAS

SUMARIO: 60. Noción de roca metamórfica. — 61. Idea sobre el metamorfismo. — 62. Metamorfismo de contacto. — 63. Metamorfismo dinámico. — 64. — Metamorfismo regional. — 65. Clasificación de las rocas metamórficas. — 66. Gneis. — 67. Pizarras cristalinas. — 68. Cuarzita. — 69. Mármoles. — 70. Idea sobre los meteoritos.

**60. NOCIÓN DE ROCA METAMORFICA.** — Se llaman *rocas metamórficas* las provenientes de la metamorfosis o modificación, así de las rocas sedimentarias, como de las ígneas, razón por la cual poseen algunos caracteres de unas y otras. Así, por ejemplo, las rocas metamorfizadas se presentan en forma estratificada, esquistosa o pizarrosa, como las rocas sedimentarias, y a la vez en estado cristalino, como las rocas ígneas. Esto hace que las rocas metamórficas se designen también con los nombres de *rocas estrato-cristalinas* o *esquistos cristalinos* o *pizarras cristalinas*.

Las rocas metamórficas no se formaron directamente por solidificación de magmas, ni por sedimentación de materiales detríticos, sino que proceden de rocas sedimentarias o ígneas, que posteriormente a su formación han estado sujetas a importantes modificaciones que dificultan y hasta imposibilitan el reconocimiento de su estructura anterior. En toda zona metamórfica es dado comprobar los estados transitorios entre las pizarras cristalinas y los sedimentos normales por un lado, y por otro, entre las pizarras cristalinas y las rocas ígneas.

**61. IDEA SOBRE EL METAMORFISMO.** — Con el nombre de *metamorfismo* se designa el cambio profundo que

en su composición y estructura experimenta una roca al hallarse sometida a ciertas acciones externas que la rodean. El estudio del metamorfismo implica el conocimiento de los cambios efectuados y de los agentes que los provocan.

a) **Cambios debidos al metamorfismo.** — Son de dos órdenes, a saber: estructural y químico.

1. Los *cambios estructurales* o *metamorfismo estructural* se refieren a la transformación de rocas amorfas en cristalinas, como la de muchas pizarras ordinarias convertidas en cristalinas, y a la transformación de rocas poco compactas en muy compactas y semicristalinas, como la conversión de calizas ordinarias en calizas marmóreas.

2. Los *cambios químicos* o *metamorfismo químico* se refieren a la adquisición o pérdida de minerales o a su transformación en otros. Esto hace que, aun cuando las rocas metamórficas contengan los mismos elementos de las rocas eruptivas y sedimentarias, no obstante ofrecen a veces una composición mineralógica muy característica, hasta el punto de que ciertos mármoles sólo se encuentran en rocas metamórficas. He aquí algunas transformaciones químicas interesantes, que es dado observar en las rocas metamórficas.

Unas veces los álcalis son substituídos por bases alcalino-térreas, como la cal; otras veces el anhídrido carbónico es reemplazado por la sílice. Así, por ejemplo, el granito normal se carga a veces de hornblenda al contacto con el carbonato cálcico, transformándose en diorita, y en otras ocasiones el mismo granito se convierte en una roca básica, como peridotita. Ciertas calizas adquieren sílice que sustituye al anhídrido carbónico para formar *dipiro*.

Todavía hay más: ciertas rocas pueden cambiar su composición mineralógica sin experimentar alteración en su composición química. Así, en las diabasas la augita se transforma en clorita, sin perder ni adquirir nuevos componentes; en los gabros, la dialaga se convierte en serpentina, y en las rocas básicas los piroxenos se transforman con frecuencia en anfíboles.

b) **Agentes de metamorfismo.** — Los principales son tres, a saber: el calor, el agua y la presión, que dan lugar, respectivamente, al metamorfismo termal, metamorfismo hidroquímico y metamorfismo mecánico.

1. El *metamorfismo termal* tiene lugar principalmente en la zona interior o inferior, donde la temperatura es muy elevada; el calor tiende a eliminar la textura pizarrosa y a producir minerales típicos llamados metamórficos.

2. El *metamorfismo hidroquímico* tiene lugar preferentemente en la zona superior o externa, haciendo que los silicatos nuevamente formados sean hidratados.

3. El *metamorfismo mecánico* es producido, bien por esfuerzos orogénéticos, que originan presiones laterales, bien por la acumulación de grandes cantidades de sedimentos, que originan fuertes presiones verticales; las presiones laterales dominan, sobre todo, en las zonas superior y media; en cambio, en la zona inferior, dominan las presiones verticales.

**62. METAMORFISMO DE CONTACTO.** — Es aquel en que las transformaciones de las rocas están claramente relacionadas con masas de rocas eruptivas, de las cuales procederían el calor y los gases mineralizadores, causantes del metamorfismo.

El cambio producido en las rocas por el metamorfismo de contacto es más bien físico que químico, y consiste principalmente en el endurecimiento de rocas blandas, en el cambio de estructura, de menos compacta a más compacta, de amorfa en cristalina o semicristalina. El metamorfismo de contacto suele ser local, pues sólo se extiende a algunos centenares de metros de las rocas ígneas (lacolitos y batolitos), de suerte que éstos se presentan rodeados por una aureola de rocas metamórficas, que insensiblemente pasan hacia los bordes a roca normal.

**63. METAMORFISMO DINAMICO.** — Es el que se presenta en las regiones montañosas, en las proximidades de los ejes de las grandes dislocaciones, sin señales de rocas ígneas que hayan intervenido en las alteraciones de las rocas.

Este metamorfismo suele limitarse a cambios de estructura, que de amorfa o menos cristalina se convierte en cristalina. Como se deja entender, la causa de estas alteraciones de las rocas son los esfuerzos orogénéticos y las enormes presiones laterales a que estuvieron sometidas las rocas al tiempo de formarse los pliegues. Ahora bien, todo sólido sometido a fuertes presiones adquiere cierta plasticidad, que permite el movimiento de sus moléculas modificando su estructura, y si la presión es

lateral se producen deslizamientos y la masa adquiere esquistosidad. Por esto las rocas metamórficas, contiguas a los pliegues orogénicos, además de ofrecerse con estructura cristalina, se presentan muy plegadas y aun con frecuencia con aspecto esquistoso (figs. 27 y 28).

#### 64. METAMORFISMO REGIONAL.

Es el que presentan las rocas en grandes extensiones, sin señales de contacto con rocas ígneas ni de presiones laterales. Para explicar el metamorfismo regional, llamado también por algunos geosinclinal, se apela a la teoría del geosinclinal.

Recibe el nombre de *geosinclinal* una extensa hoya de mar rodeada por tierra firme; el Mediterráneo es un ejemplo típico de geosinclinal. En esa hoya se van depositando sedimentos durante varios períodos geológicos, hasta formar espesores de varios miles de metros. Por la ley del grado geotérmico, a esas profundidades debe existir una temperatura capaz de reblandecer y aun de fundir las rocas. Esa temperatura, pues, junto con la presión vertical, debida a la gravedad o peso de las capas superiores, sería la determinante de los diversos fenómenos de metamorfismo, como modificaciones químicas, cristalización de las rocas y esquistosidad de las mismas.



Fig. 28. — Sección microscópica de una roca arcillosa en la que se ha desarrollado la estructura hojosa.



Fig. 27. — Sección microscópica de una roca arcillosa no modificada.

#### 65. CLASIFICACION DE LAS ROCAS METAMORFICAS. —

Varias son las clasificaciones propuestas de las rocas metamórficas. Por ejemplo, está la que divide las rocas metamórficas en tres grupos: calcáreas, silicosas y arcillosas.

Otra división atiende a su estructura y divide las rocas metamórficas en dos grupos, a saber: rocas de estructura más o menos laminar o foliácea, y rocas más o menos macizas o compactas. En este libro seguiremos esta segunda clasificación. Entre las rocas laminares estudiaremos el gneis y las pizarras cristalinas, y entre las rocas macizas, las cuarcitas y los mármoles.

**66. GNEIS.** — Es una roca compuesta de los mismos minerales que el granito (cuarzo, feldespato y mica), del que sólo difiere por su aspecto pizarroso u hojoso; este aspecto es debido a la distribución de las laminillas de mica con cierta regularidad entre los fragmentos de cuarzo y feldespato, más bien que a una verdadera sedimentación (fig. 29).

Es frecuente en el gneis la presencia de minerales accesorios, como granates, cordierita, andalucita, piroxeno, anfíbol, clorita, etc. El gneis toma distintos nombres, según el elemento accesorio dominante, y así están los gneis micáceos, granatíferos, cordieríticos, piroxénicos, anfibólicos, cloríticos, etc.

El gneis es la más importante y difundida de las rocas metamórficas; en su mayoría procede del metamorfismo regional de rocas sedimentarias, y entonces se llama *paragneis*; pero otras veces parece provenir de granitos aplastados y metamorizados, y entonces se llama *ortogneis*. Por las texturas, el gneis recibe nombres variados, como los de gneis glandular, escamoso, fibroso, granitoide, acintado, etc. Se encuentra gneis en el que el elemento ferromagnesiano es un anfíbol más o menos fibroso, y entonces recibe el nombre de *gneis diorítico*, así como el gneis de dos micas se llama *gneis granulítico*.

La edad del gneis varía desde el arcaico hasta el secundario y origina montañas muy dislocadas y accidentalísimas con abruptos despeñaderos y cumbres puntiagudas y afiladas, muy ásperas en el detalle, si bien casi siempre suaves en conjunto o vistas de lejos.

El gneis abunda extraordinariamente en Europa, Estados Unidos, Canadá y Brasil. En la Argentina se lo halla en los Andes y en las Sierras de Tandil y de la Ventana, en la provincia de Buenos Aires.

El gneis proporciona buenos materiales de construcción, si bien tiene el defecto de su fácil descomposición. Además ofrece enorme importancia minera, por el gran número de sustancias metálicas que con frecuencia encierra y por las muchas aguas minerales y termales que circulan por entre sus grietas y fallas.



Fig. 29. — Fragmento de gneis.

**67. PIZARRAS CRISTALINAS.** — Con el nombre de *pizarras cristalinas* se comprende una gran variedad de rocas metamórficas de estructura pizarrosa, que suelen tomar el nombre de uno de los elementos predominantes y característicos. Las principales son: micacita, talcita, anfibolita, granatita, cloritocita, epidotita y filita.

1. La *micacita* o *micasquisto* es una roca pizarrosa con cuarzo y mica biotita, de coloraciones variadas y superficie brillante y sedosa. Suele hallarse junto al gneis (figura 30).

2. La *talcita* o *talcoquisto* es una pizarra próxima a los terrenos fosilíferos, menos metamorfizada que la micacita, de colores claros, muy suave al tacto y muy blanda, en que el elemento dominante no es el talco, como se creyó en un principio e indica su nombre, sino una o varias micas (sericita, damourita, margarita) y a veces a una clorita.

3. La *anfibolita* o *pizarra anfibólica* es una roca pizarrosa de color negro o verde oscuro, en que el elemento dominante es el anfíbol. Los minerales que la acompañan son feldespato, cuarzo, mica, granate, epidota, etc.

4. La *granatita* es una roca pizarrosa-granuda, de color rojizo o rosado, compuesta de granate y hornblenda, epidota o piroxeno. Suele encontrarse junto con la anfibolita.

5. La *epidotita* es una roca granudo-pizarrosa, compuesta esencialmente de epidota con algo de clorita, cuarzo, feldespato, magnetita y otros minerales.

6. La *cloritocita* es un esquisto en el que predomina la clorita (ripidolita), de color verde oscuro, blanda, más bien escamosa que hojosa.

7. La *filita*, llamada también *pizarra satinada*, *filadio* o *esquisto*, es una roca pizarrosa muy satinada, compuesta de sericita, cuarzo y masa arcillosa poco o nada modificada. La estructura esquistosa de esta roca es debida a las fuertes presiones resultantes de la formación de pliegues y presiones que contribuyeron a su metamorfismo. Con frecuencia la esquistosidad de la filita no sigue la misma orientación que la estrati-

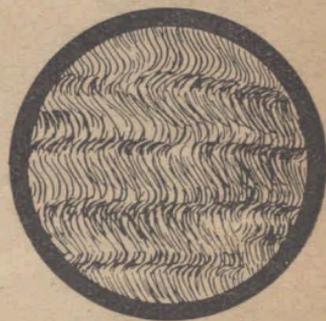


Fig. 30. — Sección microscópica de una micacita.

ficación, lo cual demuestra la independencia de origen de una y otra. La filita abunda en todos los terrenos arcaicos, señaladamente en España (Barcelona), Brasil y Guayanas. En la Argentina se encuentra desde la Sierra Famatina hasta el norte de Salta, en Jujuy y en el territorio de los Andes.

**68. CUARCITA.** — Es una roca granuda, maciza o pizarreña, de color blanco, gris amarillento o rojizo, con fractura irregular o astillosa, formada por granos de cuarzo y proporción variable de minerales accesorios, como mica, turmalina, granate, magnetita, etc. Procede de areniscas y gredas muy cuarzosas que, por la presión y el calor, se han transformado en un agregado compacto semicristalino. Abunda en todas las zonas metamórficas de los terrenos paleozoicos. En la Argentina se encuentra la cuarcita blanca o rosada en Mar del Plata y Sierra de la Ventana, y la cuarcita rosada en Corrientes y Misiones (fig. 31).

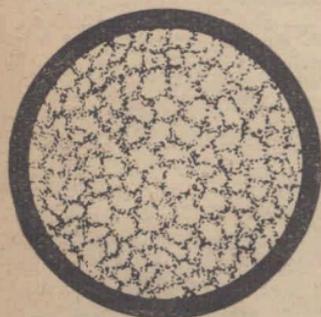


Fig. 31. — Sección microscópica de una cuarcita.

**69. MARMOLES.** — Son calizas ordinarias (químicas u orgánicas), transformadas por la presión y el calor en una masa mucho más compacta y semicristalina, por lo cual son susceptibles de muy buen pulimento. Hay mucha variedad de mármoles, que se diferencian por sus colores, por su estructura y compacidad. Las principales variedades son el mármol sacaroideo y los mármoles de color.

a) **Mármol sacaroideo.** — El *mármol sacaroideo* (del griego *sácaros*, azúcar) suele ser enteramente blanco, y está formado de calcita con fractura de aspecto semejante al azúcar de terrón. Es de grano muy fino y se emplea en escultura, por lo cual se llama también *mármol estatuario*. Las canteras más célebres de mármol estatuario se hallan en Carrara (Italia) (fig. 32).

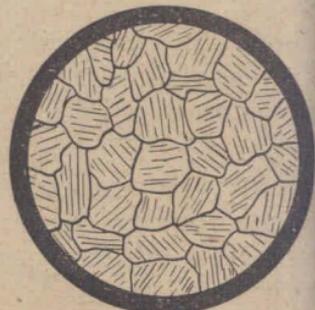


Fig. 32. — Sección microscópica de un mármol estatuario.

b) **Mármoles de color.** — Son los que se hallan impurificados con determinadas substancias, que unas veces

se reparten por su masa uniformemente y otras veces en forma abigarrada. Entre los mármoles de color está el *cipolino*, con mica y estructura algo pizarreña; su nombre viene del italiano *cipolla*, cebolla, por su aspecto de hojuelas superpuestas; *oficalcia*, si tiene serpentina en relativa abundancia; *mármol ónix*, si tiene color verde claro. Estos mármoles, cuando admiten un brillante y pulimento, son muy estimados para revestir edificios y monumentos. La oficalcia abunda en los Pirineos (España) y el mármol ónix, en la Argentina, particularmente en las provincias de Salta, Mendoza y San Luis.

**70. IDEA SOBRE LOS METEORITOS.** Como apéndice al estudio de las rocas conviene dejar constancia también de las rocas extraterrestres, llamadas meteoritos, astrolitos o aerolitos.

Con el nombre de *meteoritos*, *astrolitos* o *aerolitos* se conocen masas singulares de variados tamaños, que circulan por los espacios cósmicos y que de cuando en cuando caen en la tierra. A veces no hacen sino atravesar las altas regiones de la atmósfera, produciendo en ellas fenómenos luminosos y acústicos, y entonces son más propiamente *bólidos*. Estudiaremos el mecanismo de su caída, su composición y estructura, su clasificación y los principales meteoritos recogidos.

a) **Mecanismo de su caída.** — La teoría más admitida sobre el origen de los meteoritos los supone fragmentos de un astro destruido, que circulan como todos los elementos de nuestro sistema alrededor del sol, y que en su trayectoria entran en la esfera de atracción terrestre.

Los meteoritos alcanzan la atmósfera terrestre con velocidades planetarias de 1.000 y más kilómetros por minuto y comprimen el aire fuertemente delante de sí. Esta compresión y el rozamiento a la velocidad de la marcha producen una gran elevación de temperatura, que funde ciertos elementos de la parte superficial, y las partículas fundidas, arrastradas por el torbellino de aire, corren tras del meteorito formándole una cola o nubecilla luminosa (incandescente), lo mismo que la masa principal. El meteorito cae siguiendo una trayectoria parabólica, resultante de la dirección que traía y de la atracción terrestre, mientras en su marcha vertiginosa produce ruidos como silbidos o como truenos y a veces como detonaciones.

Muchos de los meteoritos, antes de llegar al suelo, estallan en pedazos a consecuencia de tensiones producidas en su masa por desigual caldeo y mala conductividad. Al llegar al suelo, si encuentran un terreno apropiado, perforan en él una cavidad en que se entierran, y así puede encontrarse un solo bloque o varios repartidos por una pequeña área o puede haber una verdadera lluvia de piedras.

La superficie del meteorito está envuelta en una película de materia fundida y luego enfriada, y presenta depresiones, llamadas *digitaciones*, como si estando blanda se la hubiera comprimido con los dedos. La forma de los meteoritos es casi siempre irregular, con las aristas y caras redondeadas, produciendo el efecto de fragmentos poliédricos suavizados por la fusión superficial. No se ha comprobado periodicidad alguna en las fechas

de caída; con todo, por el número de meteoritos observados, se calcula que el total de ellos caídos anualmente sobre la tierra asciende a unos 500.

**b) Composición y estructura.** — La composición de los meteoritos oscila entre la de una masa de hierros níquelíferos con algunas impurezas (cobalto, fósforo, carbono, etc.) y la de una roca eruptiva básica, del tipo de las peridotitas, rica en olivino, piroxenos, plagioclasas básicas, cromita y vidrio, etc.

La composición de los meteoritos de masa ferruginosa no es homogénea ni sencilla. Entran a formarlos, como elementos principales, aleaciones de hierro y níquel, siempre con el hierro predominante, y como elementos menos frecuentes están fosfuros y carburos metálicos. Estos meteoritos tienen generalmente una textura laminar entrecruzada, que se hace patente puliendo y lavándola después con agua y enjugándola cuidadosamente. Las distintas aleaciones son atacadas con diferente intensidad y aparece un dibujo como mosaico o red de varillas entrecruzadas, de mallas uniformes en dimensión y contorno, que reciben el nombre de figuras de Windmannstätten.

Los meteoritos pétreos son rocas básicas, que llevan casi siempre hierro níquelífero. Generalmente ofrecen una estructura granuda, semejante a una brecha, en que los cristales grandes y pequeños (generalmente bastante perfectos) de los diversos minerales aparecen entremezclados de la manera más irregular y arbitraria.

**c) Clasificación de los meteoritos.** — Los meteoritos se clasifican, por su composición, en metálicos, pétreos y mixtos.

1. Los *meteoritos metálicos*, llamados también *hierros meteóricos* o *sideritos*, constan principalmente de hierro y níquel con algo de azufre y fósforo.

2. Los *meteoritos pétreos* o *lititos* constan de olivino; broncita, augita, labradorita, anortita y a veces también grafito; es, además, frecuente entre los lititos que presenten en su interior unos granitos esferoidales o amigdaliformes, de un par de milímetros como máximo, denominados *condros*, los cuales tienen con frecuencia una estructura fibroso-radiada en forma de abanico, que no se ha encontrado en ninguna roca terrestre.

3. Los *meteoritos mixtos* o *litosideritos* presentan caracteres intermedios entre los sideritos y los lititos, por cuanto las aleaciones metálicas y los minerales pétreos se mezclan en varias proporciones. En unos la masa general del meteorito es metálica y sus huecos están llenos de minerales: son los *litosporos*; en otros, por el contrario, es la materia pétreo la que forma un cemento en que esporádicamente se distribuyen nódulos metálicos: son los *ferosporos*.

**d) Principales meteoritos recogidos.** — Los meteoritos son muy buscados a fin de someterlos a su análisis químico y petrográfico, ya que su conocimiento, que ha sido la más brillante comprobación de la unidad de constitución del universo, proporciona datos del mayor interés para la resolución de problemas geofísicos.

El número de piedras en que se desmiembra un aerolito oscila entre límites muy vastos: así en Holbrook se recogieron más de 14.000 fragmentos

en Pultisk más de 100.000 y en Mocs muchos más todavía. El peso de los distintos meteoritos pétreos es muy variable, desde polvo y granitos, hasta masas de 300 kilogramos, como la recogida en Knyahinya.

Son menos frecuentes las caídas de hierros meteóricos, pero como los fragmentos suelen ser mucho mayores, de aquí que la masa de éstos supere a la de los meteoritos pétreos. Así la masa de hierro meteórico recogida en Jenissei en 1750 tenía un peso de 635 kilogramos; el encontrado en Otumpa (La Plata) en 1783 por los españoles pesaba 15.000 kilogramos, y el meteorito de Willamette, al sur de Portland, en Estados Unidos, que se conserva actualmente en el Museo de Historia Natural de Nueva York, pesaba 16 toneladas. El mayor de todos los meteoritos conocidos pesa 37 toneladas: se halla en el Museo de Historia Natural de Nueva York y procede de Groenlandia.

## CAPÍTULO V

# GEOMORFOLOGIA

SUMARIO: 71. Concepto de geomorfología. — 72. Forma general de la tierra. — 73. Achatamiento terrestre. — 74. El geoide y la superficie terrestre. — 75. Dimensiones de la tierra. — 76. Densidad de la tierra. — 77. Anomalías de la gravedad. — 78. Constitución de la tierra. — 79. Datos relativos a la atmósfera terrestre. — 80. Distribución de las tierras y de los mares. — 81. Bloques o plataformas continentales. — 82. Ideas generales sobre los bloques continentales. — 83. Cuencas oceánicas. — 84. Relación entre las grandes alturas y las grandes profundidades. — 85. Caracteres de las grandes cuencas oceánicas.

**71. CONCEPTO DE GEOMORFOLOGIA.** — Con el nombre de *geomorfología* se comprende el estudio de la forma de la tierra. Pero este estudio, para ser completo, debe comprender así la forma general de la tierra, considerada como astro aislado, como la de sus relieves y la de sus cuencas oceánicas.

La forma general de la tierra es consecuencia del modo de su formación, ya que, según se cree, nuestro globo, durante su estado ígneo, estuvo dotado de fluidez. La superficie de la tierra vista en su conjunto presenta a nuestros ojos, por una parte, una inmensa extensión de agua que llamamos *mares* y, por otra, grandes porciones sólidas salientes, que se denominan *parte sólida* o *tierra firme*, unidas con el mar en caprichoso enlace: la forma que presentan así los relieves terrestres como las cuencas de los mares es el resultado de la evolución experimentada por la tierra una vez fría y sujeta a los distintos agentes.

**72. FORMA GENERAL DE LA TIERRA.** — La tierra es un planeta del sistema solar, de forma esferoidal, un poco achatada por los polos y ensanchada por el ecuador, que gira sobre su eje en 24 horas y alrededor del sol en 365 días, 5 horas, 48

minutos y 52 segundos. Esta forma esferoidal de la tierra es el mejor comprobante de su origen flúido o, por lo menos, pastoso; pues para que las fuerzas centrífuga y centripeta diesen como resultado de su acción el esferoide achatado, se requería que las moléculas constitutivas de la tierra pudiesen moverse libremente.

La redondez de la tierra es conocida de antiguo, como que ya fué formulada por Pitágoras y Aristóteles y cuando sólo era conocida en reducida extensión. Hoy día las pruebas son convincentes, figurando entre las principales las siguientes:

1.<sup>a</sup> La tierra, desde las alturas, se nos presenta siempre bajo un horizonte circular, tanto más extenso cuanto más elevada sea la posición del observador. Ahora bien, este hecho sólo puede darse tratándose de una esfera.

2.<sup>a</sup> Los navíos que se alejan de la costa ocultan primero el casco y en último lugar los mástiles.

3.<sup>a</sup> En los eclipses de luna, la sombra de la tierra proyectada sobre la luna ofrece forma circular.

4.<sup>a</sup> Al efectuar largos viajes de norte a sur o viceversa aparecen en el cielo diferentes constelaciones.

5.<sup>a</sup> La analogía con los demás astros del firmamento, señaladamente el sol, la luna y los planetas, todos los cuales ostentan forma esferoidal.

6.<sup>a</sup> Recientemente se ha obtenido una prueba directa de la esfericidad de la tierra en la fotografía sacada a 22.000 metros de altura por los aviadores norteamericanos Stevens y Anderson durante su ascensión a la estratosfera: en esta fotografía el límite del horizonte, que en las fotografías corrientes es una recta, aparece curvo, por abarcar una extensión de más de 400 kilómetros.

**73. ACHATAMIENTO TERRESTRE.** — Recibe el nombre de *achatamiento* o *aplanamiento terrestre* la diferencia entre el radio ecuatorial y el radio polar, dividido por el radio ecuatorial, o sea  $a-b/a$ .

Los griegos creyeron que la tierra era enteramente esférica, y por espacio de muchos siglos permaneció la ciencia en esta idea. En 1669 Huyghens sostuvo que la superficie del mar correspondía a la de un elipsoide de revolución aplanado por los polos, y en 1687 Newton llegó a la misma conclusión. Para terminar con las controversias de los partidarios de la forma

esférica y de la elipsoidal, se decidió nombrar a dos comisiones que midieran dos arcos de meridiano, uno muy cerca del ecuador y otro próximo al círculo polar ártico.

La comisión encargada de operar en el norte fué a Laponia, dirigida por Maupertuis, salió de Dunkerque en 1735 y comenzó sus trabajos a los  $66^{\circ} 20'$  de latitud norte, y halló como longitud de un grado de arco de meridiano 111.947 metros. La otra comisión, que debía operar en el Perú, bajo la dirección de La Condamine, auxiliado por los marinos españoles Antonio de Ulloa y Jorge Juan, salió de la Rochele por mayo de 1735, y halló, de acuerdo con la teoría de Newton, que en el ecuador el grado de arco de meridiano tenía una menor longitud, o sea 111.577 metros.

Basándose en estas primeras determinaciones se calculó el aplanamiento terrestre en  $1/334$ . Pero los estudios posteriores de Biot, Arago y Bessel demostraron que el aplanamiento era  $1/299$ . Con todo, en la actualidad se admite el aplanamiento calculado por Hayford, que es de  $1/297$ . Para representarnos este aplanamiento, debemos figurarnos la tierra como un globo, cuyo radio ecuatorial tuviese 299 milímetros y el radio polar 298 milímetros, diferencia imperceptible a simple vista. En cambio, otros astros tienen achatamientos mucho mayores, como Saturno, cuyo achatamiento es  $1/9$ .

**74. EL GEOIDE Y LA SUPERFICIE TERRESTRE.** — Se designa con el nombre de *geoide terrestre* la superficie de los mares prolongada idealmente por debajo de los continentes e islas. Esta superficie no tiene los puntos equidistantes de un punto del interior llamado centro, ya que los mares se elevan algo en la proximidad de los continentes y se elevarían también debajo de las grandes masas de montañas. La palabra *geoide* fue propuesta en 1873 por el geodesta Listing.

La forma de la tierra así considerada es sumamente irregular y no susceptible de una definición geométrica, y, por tanto, no puede someterse a cálculo. Para precisar, pues, las dimensiones de este geoide, es menester referirse a una superficie definida geoméricamente, cuyo eje de rotación coincida con el de la tierra: la superficie escogida a este fin ha sido designada con el nombre de *superficie geodésica* (fig. 33).

*Superficie geodésica*, pues, es la superficie del elipsoide de revolución que más se acerca al geoide. El elipsoide adoptado se denomina *elipsoide de referencia*: superficie ficticia, pero geométrica, dada la imposibilidad de hacer los cálculos sobre el geoide que es la superficie real pero caprichosa. Evidentemente el elipsoide de revolución ha de ser bien definido, no sólo en su forma y dimensiones, sino también en su posición, y además invariablemente ligado al cuerpo terrestre. Helmer le obliga a cumplir las condiciones siguientes: 1.<sup>a</sup> Tener el mismo volumen y eje de rotación que el

geoide; 2.<sup>a</sup>, coincidir su centro geométrico con el de gravedad de la tierra; 3.<sup>a</sup>, ser máxima la suma de los cuadrados de las distancias entre cada uno de los puntos de la superficie del geoide y el correspondiente del elipsoide.

**75. DIMENSIONES DE LA TIERRA.** — Las dimensiones de la tierra se refieren a la forma de elipsoide que tomaría el agua de los océanos si pudiera extenderse de una manera uniforme por encima de la corteza terrestre. Estas, según Hayford, son:

Semieje ecuatorial .....	6.378.388 metros
Semieje polar .....	6.356.912 metros
Diferencia .....	21.476 metros

El volumen de la tierra es de 1,083.000.000.000 kilómetros cúbicos.

Para llegar al conocimiento de las dimensiones de la tierra fué preciso determinar primero la longitud de un círculo máximo; pero como esto no era posible hacerlo directamente en toda su extensión, se determinó la longitud de una parte de este círculo, para deducir de ella, por cálculo, la de todo el círculo.

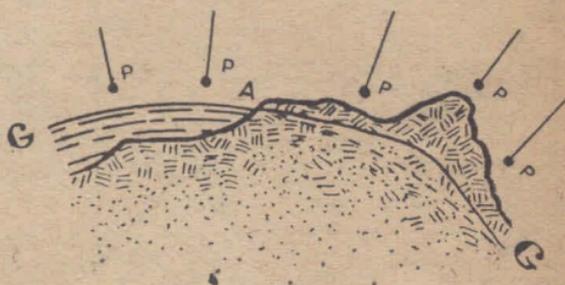


Fig. 33. — La superficie del geoide **G** es en cada punto perpendicular a la plomada.

Erastótenes, en la antigüedad, fué el primero en emprender y llevar a feliz término la empresa en el siglo III antes de Jesucristo. Para ello tomó como parte del círculo máximo la distancia entre Alejandría y Siena en Egipto; midió la distancia entre ambas poblaciones, que halló ser de 5.000 estadios (860 kilómetros), y por un método ingeniosísimo determinó el valor del arco (número de grados) Siena-Alejandría. En Siena, los rayos del sol, a las 12 del día más largo del año, que es allí en el solsticio de verano, caen verticales; ese mismo día en Alejandría forman un ángulo con la vertical, ángulo que por ser los rayos del sol prácticamente paralelos, ha de ser igual al que forman entre sí los radios terrestres, o sea las verticales que pasan por Siena y Alejandría, ya que una de éstas (la de Siena) es prolongación del rayo solar. Con esto se tienen en la construcción dos líneas paralelas cortadas por una tercera y los ángulos en

cuestión correspondientes, y por tanto iguales entre sí. Ahora bien, el arco comprendido entre Siena y Alejandría era de  $7^{\circ} 12'$ , o sea  $1/50$  del círculo máximo. De este dato y de la distancia entre las dos poblaciones dedujo Eratóstenes que el meridiano terrestre medía 40.500.000 metros, en lugar de 40.000.000, que es su valor real, lo cual para aquellos tiempos representa una gran precisión (fig. 34).

**76. DENSIDAD DE LA TIERRA.** — La densidad media de la tierra es 5'5. Ahora bien, como las rocas que forman la

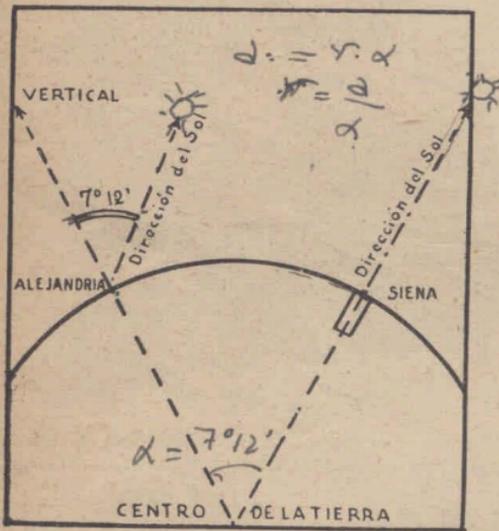


Fig. 34. — Determinación de las dimensiones de la tierra por Eratóstenes.

corteza terrestre tienen una densidad de 2,5 a 3, y todavía esta densidad queda reducida a 2, si se tiene en cuenta la masa de agua, resulta que la densidad de la tierra debe aumentar desde la superficie al centro, de suerte que en la parte central ha de llegar a ser de 7 a 8.

Esto hace suponer que en el centro de la tierra deberán hallarse materiales muy pesados, como hierro, níquel, platino, etc. Es creencia general que el metal más abundante en el interior de la tierra es el hierro, fundándose en la observación de que los materiales arrojados por los

volcanes son muy ferruginosos y que los bólidos están formados principalmente de hierro. Por otra parte, esta gradación de la densidad es la consecuencia natural del hecho de haber sido al principio la tierra un astro flúido: en este estado los materiales componentes fueron colocándose por orden de densidades, los más pesados hacia el centro y los más livianos en la superficie.

Para conocer la densidad de la tierra se compara la acción que la tierra ejerce sobre un cuerpo de masa conocida, con la acción de la tierra o fuerza llamada de *gravedad*, lo cual puede hacerse de varios modos, a saber: por la desviación de

la plomada en las cercanías de una montaña de masa conocida, o bien por la atracción de esferas metálicas de masa bien conocida.

1.º El primer método fué empleado en 1772 por Hutton y Maskelyne, determinando la desviación experimentada por la plomada en las cercanías de una montaña de Escocia, cuya masa se calculó previamente. El método da directamente la masa  $M$  de la tierra, pero conocida ésta, es fácil deducir la densidad dividiendo la masa por el volumen. He aquí la proporción para llegar a la determinación de la masa de la tierra  $x$ :

$$\frac{\text{Acción de la montaña}}{\text{Acción de la tierra}} = \frac{\text{Masa de la montaña}}{x}$$

La acción de la montaña se deduce de la ley del paralelogramo, cuando se conoce la desviación de la plomada; y la acción de la tierra se expresa por la aceleración  $G$  deducida de la fórmula del péndulo. La masa de la montaña se calculó a base de su volumen y de su densidad, deducida del conocimiento petrográfico de la misma (fig. 35).

Este método no resulta muy exacto, por la dificultad en conocer con precisión el volumen de la montaña, que suele ser de forma irregular, y la densidad, por tratarse de masas de constitución heterogénea. Así se explica que con la montaña de Escocia se obtuviese un valor de  $D = 4'3$ , mientras que con la montaña volcánica Fushiyama en el Japón, de constitución petrográfica bastante homogénea, se llegase al valor de  $D = 5'7$ , muy cercano a la realidad.

2.º El segundo método se basa en la determinación de la atracción que unas gruesas esferas metálicas perfectamente conocidas ejercen sobre otras pequeñas, y comparando luego esta atracción con la atracción de la tierra, para deducir su masa, con lo cual se puede establecer la relación de masa a volumen y obtener así la densidad de la tierra.

Los resultados obtenidos con este método dan valores que oscilan entre 5'44 y 5'62, por lo cual se ha fijado la densidad media de la tierra en 5,52, o sea que la tierra pesa 5,52 veces más que una esfera del mismo volumen, llena de agua destilada a 4º centígrados.

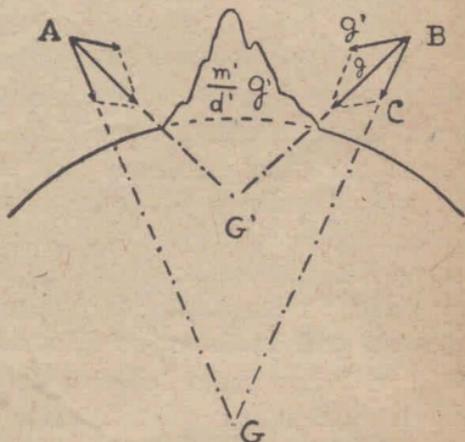


Fig. 35. — Desviación de la plomada por acción de una montaña.

## 77. ANOMALIAS DE LA GRAVEDAD. — El valor de la gravedad

no es igual en toda la superficie terrestre, sino que varía con la latitud, por efecto del achatamiento, siendo mayor en los polos y menor en el ecuador. Pero, además de esta variación regular, existen otras llamadas anormales, por cuanto en muchos puntos de la superficie terrestre el valor de la gra-

vedad no es el que corresponde a su latitud, sino mayor o menor, o sea que hay anomalías positivas y negativas, por exceso o defecto de masa.

El estudio de la distribución geográfica de las anomalías de la gravedad revela la localización de las negativas en las actuales montañas y en ciertas mesetas, que son antiguas montañas arrasadas, y la de las positivas en los océanos y grandes llanuras. Los defectos de masa correspondientes a las anomalías negativas no se deben a huecos existentes en el seno de las montañas, sino a que debajo de ellas hay mayor espesor de rocas livianas o de menor densidad que debajo de los océanos y de las llanuras, conforme a la ley llamada isostática, según la cual las protuberancias del elipsoide terrestre se forman en las zonas de débil densidad y las depresiones en las de densidad excesiva.

**78. CONSTITUCION DE LA TIERRA.** — Poco se sabe con certeza del interior de nuestro planeta, pues el taladro más profundo practicado desde su superficie ha sido de 3057 metros el año 1931 en Ventura County, Estados Unidos, y el examen directo de los estratos, comprendiendo la diferencia máxima de niveles, no pasa de 6 kilómetros para antes del dislocamiento.

Lo que más luz ha dado para conjeturar el interior de la tierra es la manera como se propagan las ondas de los terremotos. Hasta el presente tres verdades fundamentales han sido puestas de relieve por este método: 1.<sup>a</sup>, una rigidez o resistencia a la deformación del núcleo terrestre mayor que la del acero; 2.<sup>a</sup>, una velocidad de propagación creciente con la profundidad de las capas; 3.<sup>a</sup>, discontinuidad en la distribución de la masa con indicios de zonas diferenciadas.

De todos estos indicios se deduce que la tierra está formada: 1.<sup>o</sup>, de una región interior o central llamada *endosfera*, la que también se denomina *nife*, porque se supone que en ella abundan mucho el níquel (Ni) y el hierro (Fe); 2.<sup>o</sup>, de una envoltura exterior rígida, aunque algo viscosa por encontrarse en contacto con el núcleo pastoso del interior, llamada *litosfera*, la cual estaría, a su vez, formada de dos zonas llamadas respectivamente *sial* la exterior y *sima* la interior. El nombre de *sial* proviene de que en la composición de esta capa, predominan los silicatos de aluminio, y tomando los símbolos Si y Al de estos dos cuerpos, se ha formado la palabra *sial*. La palabra *sima* se forma del símbolo del silicio (Si) y del comienzo de la palabra magnesio (Ma), pues se supone que los cuerpos que predominan en la constitución de esta zona son silicatos de magnesio (fig. 36).

Todavía en su parte externa la tierra consta: 1.<sup>o</sup>, De una envoltura líquida o *hidrosfera*, formada por los mares y océanos,

los cuales, si bien no cubren del todo la parte sólida, comunican entre sí, razón por la cual el geólogo Suess denomina *pantalasa* a esta envoltura, para significar que la esfera de agua constituye un océano único (del griego *pan*, todo, y *thalassa*, mar).

2.º De una envoltura gaseosa denominada *atmósfera*, que envuelve totalmente a la tierra y se extiende hasta cerca de 1000 kilómetros sobre la superficie del mar (fig. 37).

### 79. DATOS RELATIVOS A LA ATMÓSFERA TERRESTRE. —

Se llama *atmósfera* la envoltura gaseosa que rodea a la tierra. Se la conoce también con el nombre de aire.

#### a) Composición

del aire. — El aire se compone de oxígeno y nitrógeno en la proporción constante de 21 volúmenes del primero por 79 volúmenes del segundo; además contiene vapor de agua, anhídrido carbónico, los llamados gases raros (argo, helio, cripto, neo y xeno), y multitud de partículas sólidas procedentes de la disgregación de la corteza terrestre, de los volcanes y de los espacios interplanetarios; por último,

encierra también numerosos gérmenes vivientes, conocidos con el nombre de bacterias o microbios.

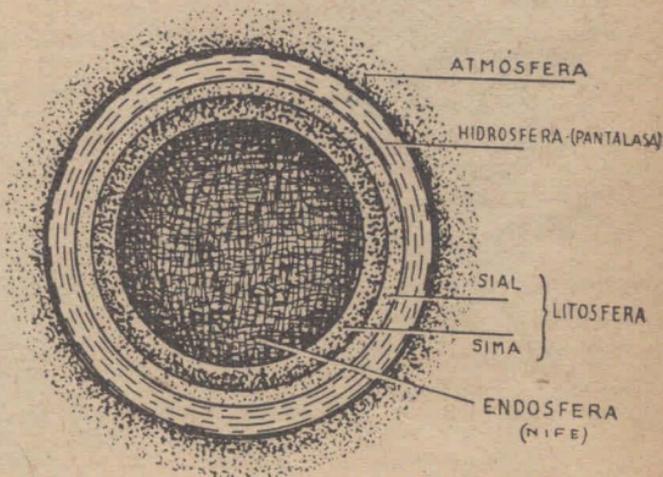


Fig. 36. — Esquema de la primitiva constitución de la tierra.

b) *Altura de la atmósfera.* — Se desconoce la altura exacta de la atmósfera: sin embargo, por la altitud a que se han inflamado algunos aerolitos en su roce con el aire, se deduce que pasa de 200 kilómetros; más aún, por la observación de las auroras boreales se ha comprobado que a 800 kilómetros de altura existen todavía trazas gaseosas.

c) *Regiones de la atmósfera.* — Los meteorólogos dividen la atmósfera, en sentido vertical, en tres grandes porciones, a saber: *troposfera*, que desde el suelo se remonta hasta los once o doce mil metros; la *estratosfera*, que comenzando a este mismo nivel llega hasta los 80.000 metros, y la *ionosfera*, que va desde esa altura hasta el límite exterior. Entre las dos primeras regiones se halla la *tropopausa* o capa inversora, llamada así por-

que en ella se rompe la continuidad de la baja termométrica: la temperatura de esta capa oscila entre los 55 y 60 grados bajo cero. La *ionosfera* se llama así por la multitud de iones, o sea de partículas electrizadas que contiene, y en ella se distinguen dos capas especialmente ricas en iones y, por consiguiente, muy reflectoras de las ondas hertzianas: la inferior, llamada *capa E* o también Kennelly-Heaviside, se encuentra hacia los 100 ki-

lómetros de altura, y la superior, llamada *capa F*, o también de Appleton, se encuentra hacia los 200 kilómetros.

**80. DISTRIBUCION DE LAS TIERRAS Y DE LOS MARES.** — El carácter distintivo de la superficie del globo es la

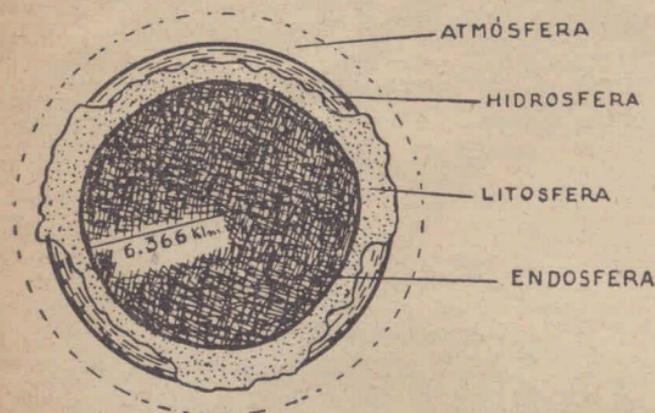


Fig. 37. — Esquema de la estructura actual de la tierra.

desigualdad que existe entre la distribución de los mares y la de los continentes. De los 510 millones de kilómetros cuadrados de superficie total del planeta, 375 pertenecen a los mares y sólo 135 a los continentes e islas: existe, pues, la proporción de 8 a 3 (fig. 38).

Esta desigual distribución aparece más notable cuando se considera cómo están repartidos el mar y la tierra firme en los dos hemisferios: así, mien-

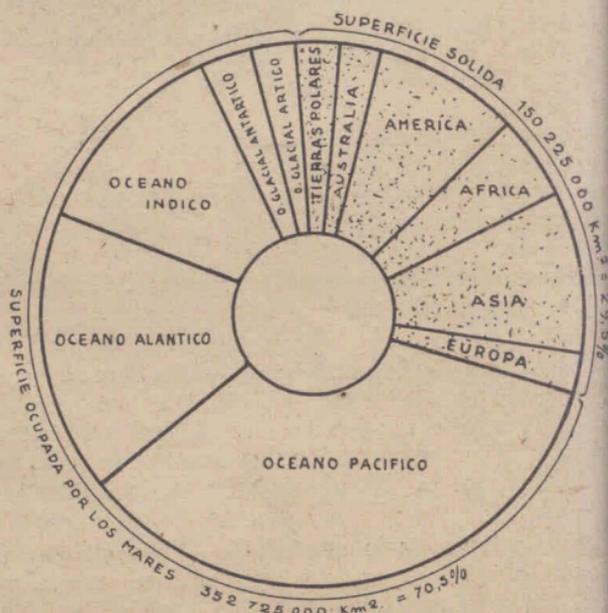


Fig. 38. — Repartición superficial de las tierras y de los mares.

tras 100.800.000 kilómetros cuadrados de tierra firme corresponden al hemisferio boreal, sólo 34.200.000 kilómetros cuadrados pertenecen al hemisferio austral, siendo, por tanto, la relación de 3 a 1. Si se divide la tierra en dos hemisferios, el uno con el máximo de agua y el otro con el mínimo de tierra, se tiene que el hemisferio marino tiene 91 por ciento de agua, y el hemisferio continental, 48 por ciento de tierra (fig. 39).

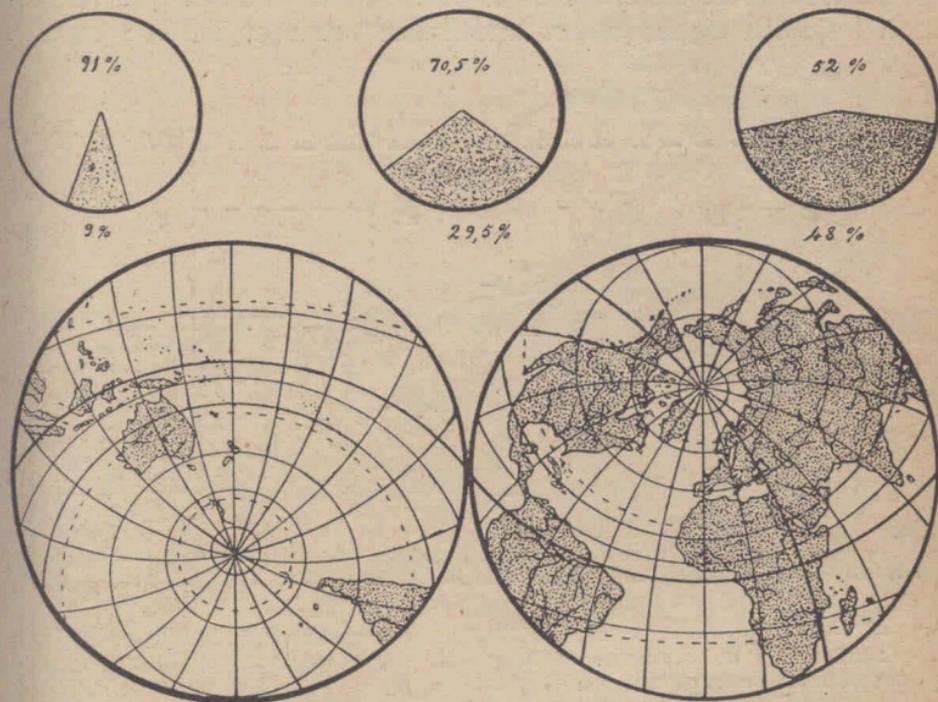


Fig. 39. — Proporción de tierras y mares: izquierda, en el hemisferio marino; centro, en toda la tierra; derecha, en el hemisferio continental.

### 81. BLOQUES O PLATAFORMAS CONTINENTALES. —

Con el nombre de *bloques* o *plataformas continentales* se comprende el conjunto de tierras que quedarían emergidas en el supuesto de que el nivel de los mares descendiese 200 metros. Toda plataforma continental comprende, a su vez, el *continente* o tierras actualmente emergidas y las *plataformas submarinas* o tierras sumergidas a menos de 200 metros, y en las plataformas submarinas pueden todavía considerarse el zócalo continental, el borde continental y el talud continental.

1. *Continente* es toda vasta extensión de tierras que actualmente emerge de las aguas. Los continentes son seis: Eurasia (que comprende Europa y Asia), Africa, Australia, América del Norte, América del Sur y Antártida (o macizo polar sur). Según unos, los continentes se formaron por elevación progresiva del suelo y, según otros, por descenso de la superficie de los océanos (fig. 40).

2. *Zócalo continental* es el terreno continental que se prolonga bajo las aguas a profundidades menores de 200 metros.

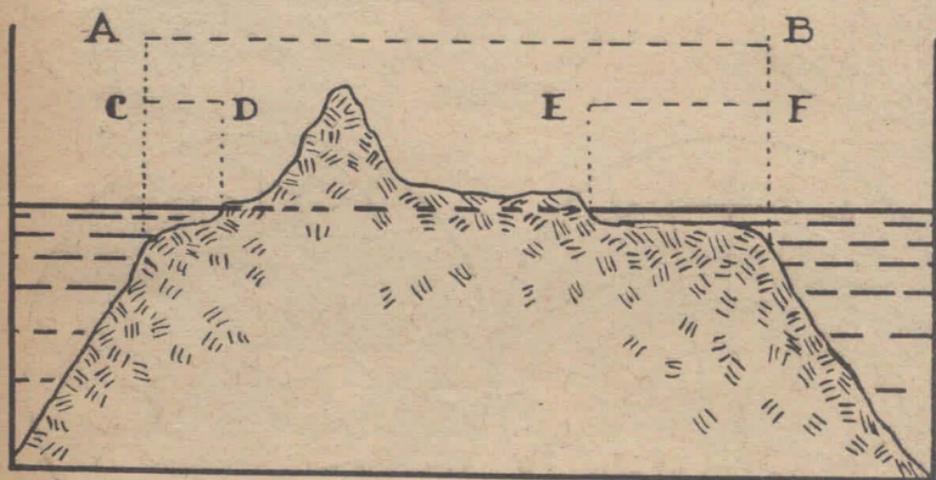


Fig. 40. — Esquema de una plataforma continental ideal (AB), con plataformas submarinas (CD y EF) y taludes continentales que comienzan a hundirse en C y F.

3. *Borde continental* es el límite exterior del zócalo continental o línea de tierras sumergidas a 200 metros bajo las aguas.

— **82. IDEAS GENERALES SOBRE LOS BLOQUES CONTINENTALES.** — Suponiendo que el nivel del agua de los mares descendiese 200 metros, la tierra presentaría un nuevo aspecto, por demás curioso: el Canal de la Mancha, el Mar del Norte, el Báltico, el Golfo Pérsico y el Mar Amarillo desaparecerían; las islas de Borneo, Sumatra y Java y América del Norte se unirían al Asia, y las islas Malvinas a la América del Sur; mientras que Tasmania y Nueva Guinea quedarían ligadas a Australia.

a) **Disposición general y altura media de los continentes.** — Consideradas las tierras firmes en su conjunto, componen dos grandes masas continentales: una a oriente, formada por Asia, Europa y Africa, y otra a occidente, que es América. Esta segunda va de norte a sur, mientras que el Antiguo Mundo se extiende más de este a oeste.

El relieve terrestre se distingue por su irregularidad. Con todo, se observa que las masas continentales van estrechándose hacia el sur, así en América, como en Asia y Africa; y una profunda escotadura, casi en ángulo recto al sentido de su longitud, divide estos macizos en una mitad septentrional y otra meridional: el Golfo de México en América, el Mediterráneo y el Mar Rojo en el Antiguo Continente.

Se llama *altitud media de los continentes* la altura que, sobre el nivel del mar, tendrían las masas continentales si, conservando su actual superficie, se pusieran al mismo nivel todas las desigualdades debidas a las montañas y a los valles. La altitud media de Europa es de 330 metros; la de Asia, 1.000 metros; la de Africa, 660 metros; la de América, 650 metros, y la de Australia, 310 metros. La altura media de todas las tierras firmes se calcula que es de 735 metros.

b) **Leyes de Guyot y Dana acerca de los relieves terrestres.** — Los geólogos americanos Guyot y Dana, basándose sobre todo en la estructura tan sencilla de las dos Américas, formularon las siguientes leyes relativas a la posición de las grandes montañas, con respecto a

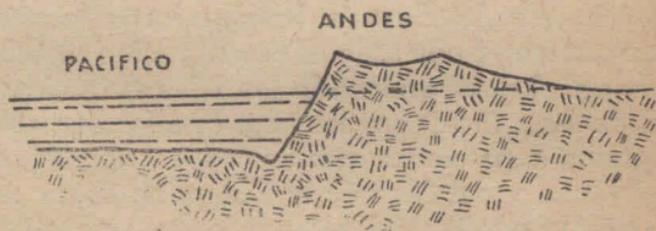


Fig. 41. — Disimetría en las vertientes de los Andes.

los continentes y a la extensión de los mares: 1.<sup>a</sup> Los continentes tienen, en general, bordes o costas montañosas y un interior deprimido, en forma de una o varias cadenas de montañas intermedias; 2.<sup>a</sup> El borde o cadena montañosa más alta es el que mira al océano más extenso (fig. 41).

c) **Modificaciones de Lapparent.** — Las leyes de Guyot y

Dana, aunque verdaderas para América, no tienen aplicación tratándose de Europa; así los Pirineos, que debieran estar mirando al Cantábrico, se hallan transversales; los Alpes tampoco se levantan a lo largo de las costas, lo mismo se diga de los Urales y del Cáucaso. Sin embargo, según Lapparent, puede darse a estas leyes una aplicación general introduciendo pequeñas modificaciones: 1.<sup>a</sup> Considerando la palabra *continente* aplicada, no precisamente a los continentes actuales, sino a las diversas porciones de que éstos se componen, y así España, por ejemplo, y lo mismo Italia son porciones del Antiguo Continente; 2.<sup>a</sup> reemplazando la palabra *océano* por depresión, tanto si ésta se halla actualmente ocupada por el mar, como si lo ha estado en épocas anteriores.

Lapparent enunció las leyes de Guyot y Dana en estos otros términos: "Desde el momento en que una cordillera aparece sobre la superficie terrestre, ella forma el borde de una depresión oceánica o lacustre, bajo la cual se hunde el lado más abrupto, siendo, en general, tanto mayor la cadena de montañas, cuanto mayor es la depresión de dicha costa". Esta ley, así redactada, sirve ya para los Pirineos, porque éstos forman el borde de una depresión situada al sur de Francia, por cuyo lado son más abruptos, que no por el lado de España.

d) **Descripción de los bloques continentales.** — Fijaremos principalmente la atención en Eurasia, Africa, Australia y las dos Américas, según la concisa descripción de R. Cury.

1. En la *Eurasia* la plataforma continental se ensancha hacia el norte por todo el litoral vecino al Océano Glacial Ártico y hacia el oeste rodeando las Islas Británicas; en la parte oriental de Asia incorpora las islas que forman arcos de círculo, salvo algunas depresiones marinas, que contienen las aguas del Mar del Japón y del Mar de la China; en el sur de Asia y de Europa el zócalo continental alcanza corta extensión.

2. En toda *Africa* los zócalos continentales son de escasa extensión, a causa de los levantamientos de los litorales continentales, y porque las montañas, por lo general, siguen el mismo recorrido que el litoral.

3. El zócalo continental de *Australia* es muy extenso y tiende a aproximarse al zócalo del continente asiático, hasta comprender la isla de Nueva Guinea. Con todo, las grandes depresiones submarinas, que son las mayores del mundo, separan totalmente los zócalos orientales.

4. En *América del Norte*, la costa del Pacífico sirve de sostén a las cordilleras plegadas frente a las cuencas oceánicas; el talud de esta meseta desciende en forma brusca hasta 7.000 metros. En general, el zócalo continental de esta costa es muy estrecho. La costa atlántica de ese continente se caracteriza por la ausencia de cordilleras plegadas y por el gran desarrollo del zócalo continental.

5. En *América del Sur* el zócalo continental a lo largo del Pacífico es también estrecho y su talud desciende pronto hasta profundidades de 5.000 metros frente al Perú y de 7.000 metros frente al desierto de Atacama. Con todo, al sur de Chile, el zócalo continental adquiere alguna mayor extensión. A lo largo del Atlántico, el zócalo continental suele presentar grande extensión, excepto frente a la costa brasileña comprendida entre el Cabo San Roque y el Golfo de Santa Catalina.

**83. CUENCAS OCEANICAS.** — Son las grandes profundidades que parten del borde continental y que contiene a los océanos. Por regla general, el relieve del fondo de los océanos es mucho menos vigoroso que el de la superficie terrestre; es que, mientras la superficie terrestre está sometida a la acción destructiva de los agentes de erosión, el fondo del mar está defendido por la espesa capa de agua. Los principales accidentes de las cuencas oceánicas son: el talud continental, las depresiones y las fosas. He aquí la descripción de R. Cury.

1. *Talud continental* es la rápida pendiente que desciende desde el borde continental hasta las grandes profundidades oceánicas. Esta zona ha sido llamada por Penk "región áctica".

2. *Depresión oceánica* es toda profundidad no muy pronunciada de las cuencas oceánicas que comunica insensiblemente con el resto del relieve submarino.

3. *Fosa oceánica* es toda depresión muy pronunciada y de escasa extensión. En el Atlántico la principal fosa es la de las Virgenes, al norte de las Antillas, que mide 8.526 metros. En el Pacífico está la fosa de Atacama, de 7.625 metros; la de Tonga, de 9.184 metros; la de las islas Marianas, de 9.636, y la de las Islas Filipinas, de 9.788 metros.

Los accidentes secundarios de las cuencas oceánicas son: las *crestas*, que son relieves estrechos; los *bancos*, que son altos fondos con rocas; las *calderas*, que son cavidades relativamente pequeñas y redondeadas; los *surcos*, que son abismos en forma de

canal, y los *valles*, que son prolongaciones de las tierras emergidas.

Las formas topográficas del fondo oceánico se deben al diatrofismo, al vulcanismo y a la sedimentación. El *diatrofismo* o *fracturación* más o menos violenta de los estratos origina las paredes abruptas de los relieves submarinos; el *vulcanismo* da lugar a la formación de las montañas submarinas, y la *sedimentación* es el proceso más importante de alteración topográfica, por la gran cantidad de materiales que los ríos aportan al mar, procedentes de la denudación de los terrenos.

**84. RELACION ENTRE LAS GRANDES ALTURAS Y LAS GRANDES PROFUNDIDADES.** — Las grandes profundidades del mar, lo mismo que las mayores alturas terrestres, ocupan en general una posición excéntrica con respecto a los mares y a los continentes; esto quiere decir que las mayores profundidades del mar no se hallan precisamente en medio de los océanos, sino más bien cerca de la costa; así como también las grandes alturas no se levantan en medio de los continentes, sino cerca de los mares.

Las leyes de Lapparent a este respecto son las siguientes: 1.<sup>a</sup> Toda grande cima de alturas, tanto pelágicas como terrestres, es una arista saliente formada por la intersección de dos vertientes desigualmente inclinadas. 2.<sup>a</sup> La vertiente más abrupta cae del lado de una gran depresión habitualmente ocupada por el mar; la menos inclinada desciende suavemente formando ondulaciones sucesivas hacia una depresión menos marcada, que de ordinario suele ser continental. 3.<sup>a</sup> El pie de la vertiente abrupta es la arista profunda de una intersección inversa de la primera, cuyo fondo asciende suavemente hasta las profundidades medias del océano.

**85. CARACTERES DE LAS GRANDES CUENCAS OCEANICAS.** — Las aguas, según R. Cury, cubren cuatro cuencas oceánicas; con todo nosotros, siguiendo a otros autores, señalaremos cinco.

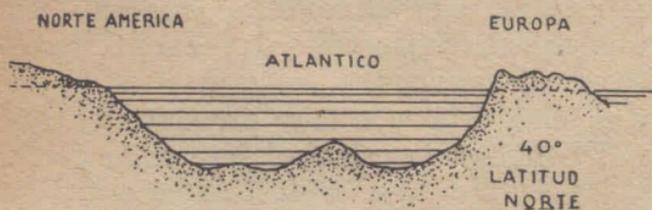


Fig. 42. — Cuenca del Atlántico a la latitud de 40° norte.

a saber: Pacífica, Atlántica, Indica, Artica y Antártica.

1. El *Pacífico* es el mayor de los mares y de forma aproximadamente circular, limitado por

Asia y América, cerrado por el norte, donde sólo existe el estrecho de Behring, que le pone en comunicación con el Océano Glacial Artico. Es el océano que cuenta con las mayores pro-

fundidades del globo, como que alcanza aproximadamente a los 10.000 metros en las cercanías de Filipinas y del Japón. El fondo de esta cuenca consiste en una enorme plataforma central, separada de los bordes por grandes fosas, que corren paralelamente a las costas y sobre las cuales se eleva una serie ininterrumpida de montañas en América y una larga hilera de islas en Asia, que representan una cadena de montañas submarinas.

2. El *Atlántico* es un océano alargado en forma de S, contenido entre Europa, África y América, con ancha comunicación con el Océano Glacial Ártico; sus mayores depresiones se hallan entre las Canarias y las Azores, y constituyen el lazo de unión de las

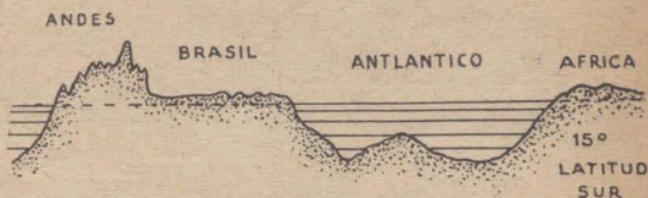


Fig. 43. — Cuenca del Atlántico a la latitud de 15° sur.

depresiones continentales de las Antillas y cuenca mediterránea. Su fondo forma una larga cadena submarina a modo de eje o columna vertebral, que se dirige de norte a sur, y de grandes fosas que corren paralelamente a las costas, que en general son llanas o poco accidentadas, sin montañas a ellas paralelas (figuras 42, 43 y 44).

3. El océano *Indico* viene a representar por su forma la mitad del Pacífico: se halla encerrado entre África, Asia y Australia, sin comunicación con el Océano Glacial Ártico. Sus costas son muy



Fig. 44. — Cuenca del Atlántico a la latitud de 30° sur.

variadas; una elevación al este de Madagascar lleva varias agrupaciones de islas, y en la región austral hay dos levantamientos rodeados de profundas depresiones.

4. El océano *Ártico* es poco conocido en su fondo, pero se halla rodeado casi completamente de tierra sin elevaciones pronunciadas. Nansen considera al océano Ártico como una especie de golfo del Atlántico norte, cuyos caracteres físicos lo asemejan a un mar epicontinental.

5. El océano *Antártico* es todavía poco conocido; con todo, se ha llegado a comprobar en él la existencia de grandes profundidades, por ejemplo, de 2.700 metros al sur de la Tierra del Fuego sobre el paralelo 71°. Un poco más al sur apenas llega a 400 metros de profundidad, lo que hace suponer que, mientras la zona ártica es una profunda depresión, la zona sur es más bien un continente.

## CAPÍTULO VI

# BIOGEOGRAFIA

SUMARIO: 86. Generalidades sobre biogeografía. — 87. Causas determinantes de la estación de los seres vivos. — 88. Flora y fauna. — 89. Causas que influyen en la extensión de las áreas de dispersión de los seres vivos. — 90. Zonas terrestres de vegetación. — 91. Regiones zoogeográficas. — 92. La vida en las cavernas. — 93. Distribución hipsométrica de los seres vivos. — 94. Faunas y floras acuáticas. — 95. Distribución de los seres marinos. — 96. Zonas marinas. — 97. La vida en las aguas dulces.

### 86. GENERALIDADES SOBRE BIOGEOGRAFIA. —

Llámase *biogeografía* la ciencia que tiene por objeto estudiar la distribución de los seres vivos en la superficie del globo y las causas que han intervenido en ella. Se divide en dos ramas: *Geografía botánica*, si se limita a las plantas, y *Geografía zoológica*, si se circunscribe a los animales.

Es un hecho perfectamente averiguado que no todos los animales ni todas las plantas se hallan en toda la tierra, ni siquiera en aquellos puntos donde por su organización encontrarían condiciones externas de vida; antes bien, cada especie se presenta en una extensión más o menos grande de superficie terrestre y en un determinado medio, fuera del cual no prospera, cuando menos en condiciones normales. Por ende, en la distribución de cada especie vegetal o animal deben considerarse su estación, su habitación y su área de dispersión.

1. Se llama *estación* en biogeografía el medio en que vive cada especie vegetal o animal, como, por ejemplo, las aguas dulces, aguas saladas, las llanuras, montañas, orillas de río o arroyos, etc.

2. Recibe el nombre de *habitación* o *habitat* en biogeografía el país en que se encuentra naturalmente cada especie vegetal o animal.

3. Se llama *área de dispersión* en biogeografía el conjunto de países en que vive cada especie vegetal o animal. Las especies que pueden vivir en una área de dispersión muy grande se llaman *cosmopolitas*, las cuales son poquísimas, y así de las 200.000 especies vegetales conocidas hasta ahora, sólo unas 25 especies habitan en una extensión de medio mundo, y unas 100 alcanzan un tercio de la superficie total de la tierra.

**87. CAUSAS DETERMINANTES DE LA ESTACION DE LOS SERES VIVOS.** — Las causas que determinan la estación de los seres vivos proceden principalmente de su modo de ser o especial organización, que no les permite adaptarse más que a ciertas condiciones climatológicas y vitales, fuera de las cuales se hace imposible su vida normal. Así, por ejemplo, los perales no pueden vivir debajo del agua, ni las palmeras en las altas montañas de la Argentina; en cambio, las algas de agua dulce no pueden vivir en el aire ni en el seno del mar. Asimismo los mamíferos no pueden vivir en el fondo de las aguas, ni los peces al aire libre, porque el aparato respiratorio de los primeros no puede funcionar en el interior del agua, ni el de los segundos en el seno del aire.

De lo dicho se deduce que si algún ser viviente, por cambiar de estructura o de organización durante su vida, necesita diferente medio para poder vivir, tendrá también distinta estación, según sea la fase de su existencia, como le sucede, por ejemplo, al mosquito, que en estado de larva, es acuático, y en estado de insecto perfecto, vive en el aire libre.

Otros agentes, además de los enumerados, determinan la especial habitación de los seres vivos, como ser: el calor, la luz, la humedad y la naturaleza del terreno: 1.º El *calor* influye poderosamente, dado que las plantas y los animales no sólo necesitan cierta cantidad de calor para su desarrollo, sino que la vida de muchos de ellos es incompatible con determinadas temperaturas; y así hay especies propias de países fríos, otras de países tropicales, otras, en fin, de países templados.

2.º No menos importancia tiene la *luz* para los seres vivos y así plantas hay que sólo se desarrollan en sitios sombríos y en cavernas, y entre los animales los hay diurnos, crepusculares y nocturnos.

3.º La *humedad* es otro factor que determina de una manera decisiva la estación de muchas especies, pues hay plantas y animales que sólo prosperan en los arenales, donde la humedad así del aire como del sol es sumamente escasa; en cambio, otras especies requieren abundancia de agua y un ambiente saturado de vapor acuoso.

4.º La *naturaleza del suelo* contribuye asimismo a fijar la estación propia de los seres vivientes; así, algunas plantas necesitan mucha potasa, otras mucha caliza, y por esto no pueden vivir en suelos silíceos; con los animales sucede esto menos, pero también se dan casos de especies que sólo se pueden desarrollar en determinados terrenos, por ejemplo, sobre terrenos calizos, por necesitar carbonato cálcico para construir sus caparazones o la envoltura de los huevos.

**88. FLORA Y FAUNA.** — Se llama *flora* el conjunto de plantas que viven espontáneamente en una región o en un país dado. Así, por ejemplo, las plantas que espontáneamente viven en la Argentina constituyen la *flora argentina*, y las que viven en Sudamérica, la flora sudamericana.

Se llama *fauna* el conjunto de animales propios de una región o de un país determinado. Así, por ejemplo, los animales que espontáneamente viven en la Argentina constituyen la *fauna argentina*; los que viven en el Atlántico, la fauna atlántica.

La zoología y la botánica han puesto de manifiesto que los distintos animales y plantas no se encuentran en todos aquellos sitios o parajes del globo donde existen condiciones aptas para su existencia y perfecto desarrollo. Para explicar esta aparente anomalía se admite en la actualidad que cada especie apareció en un punto del globo, desde el cual ha ido extendiéndose de unos puntos a otros en el decurso de los tiempos. Hay especies que tienen el área de dispersión muy limitada, como la mona llamada *Innus sylvanus*, que sólo se encuentra en el Peñón de Gibraltar; a otras, en cambio, se las encuentra en casi todas partes, como sucede con algunas especies de plantas, sobre todo entre las que vulgarmente se llaman *malas hierbas*, en las ratas, gorriones, moscas, etc.

**89. CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA EXTENSION DE AREAS DE DISPERSION DE LOS SERES VIVOS.** — Las

causas que han influido en la extensión de las áreas de dispersión de los seres vivos son de muy distinta índole.

1.º Unas veces ha sido la mayor o menor facilidad en el ser vivo de pasar de una región a otra, sea por sí propio o transportado por las corrientes de agua, aire o por intermedio de otros seres vivos. Hablando en general, las plantas, por carecer de medios propios de locomoción, tienen el área de dispersión más limitada que los animales, dotados de aparato locomotor. Así, los peces marinos, las aves y los insectos suelen tener áreas de dispersión extensísimas, dado que encuentran pocos obstáculos para trasladarse de unos puntos a otros; por el contrario, poseen áreas mucho más restringidas los mamíferos, reptiles, insectos poco voladores y moluscos terrestres.

2.º Otro factor importante en el área de dispersión es el estar unida una comarca con otra, o, por el contrario, separada por las llamadas *barreras naturales*, como son los mares para las especies terrestres, los desiertos, las montañas, etc. En general, las islas tienen faunas y floras más propias y mejor limitadas que los continentes.

3.º Factor poderosísimo en las áreas de dispersión de los seres vivos son las condiciones orgánico-fisiológicas especiales de las diferentes especies. Muchos animales y plantas se acomodan fácilmente a medios muy diversos de temperatura, presión, humedad, etc., y por esto sus áreas de dispersión pueden ser mucho más extensas; otras especies, por el contrario, son muy delicadas y a los menores cambios en las condiciones, perecen o llevan una vida lánguida; estas especies, en consecuencia, tendrán el área de dispersión muy limitada.

4.º Por último, el hombre ha ejercido acción preponderante en la distribución geográfica de los animales y plantas: unas veces multiplicando las especies que le son útiles, como el trigo, las papas, el caballo, las ovejas, etc.; otras veces indirectamente y hasta contra su voluntad difundiendo algunas especies perjudiciales, como ciertos cardos que se han extendido de modo prodigioso en América del Sur, la filoxera, el ratón, etc.; en otras ocasiones destruyendo o alejando las especies dañinas, como el león, el tigre, y también haciendo casi desaparecer especies inofensivas o beneficiosas, como el elefante, el castor, etc.; y por último, destruyendo barreras naturales, como la construcción de túneles o apertura de canales, que hacen se modifiquen las floras y las faunas de ciertos países.

Se conoce con el nombre de *aclimatación* la connaturalización en otros países distintos de diversas especies vegetales y animales; las reglas sacadas de la experiencia que se dan para este fin constituyen interesantes ramas de la agricultura y zoología.

**90. ZONAS TERRESTRES DE VEGETACION.** — Se llaman *zonas de vegetación* las regiones en que los botánicos dividen la tierra, según las especies vegetales que en ellas viven. Muchas son las clasificaciones propuestas, siendo una de las más universalmente admitidas la que divide la tierra en ocho regiones, dispuestas aproximadamente en zonas relacionadas con la temperatura. Estas zonas son:

1.<sup>a</sup> *Zona ecuatorial o de las palmáceas y bananas*, que se extiende hasta 15° de latitud a uno y otro lado del ecuador.

2.<sup>a</sup> *Zona tropical o de los helechos arbóreos*, desde los 15° a los 23° de latitud norte y sur.

3.<sup>a</sup> *Zona subtropical o de las mirtáceas*, desde los 23° a los 33° de latitud norte y sur.

4.<sup>a</sup> *Zona templada caliente o de las plantas leñosas siempre verdes*, desde los 34° a los 45° de latitud norte y sur.

5.<sup>a</sup> *Zona templada fría o de las plantas leñosas de hoja caediza*, desde los 45° a los 48° de latitud norte y sur.

6.<sup>a</sup> *Zona subártica o de las coníferas*, desde los 58° a los 66° de latitud norte y sur.

7.<sup>a</sup> *Zona ártica o de las matas alpinas*, desde los 66° a los 72° de latitud norte y sur.

8.<sup>a</sup> *Zona polar o de las hierbas alpinas*, desde los 72° de latitud al polo respectivo.

**91. REGIONES ZOOGEOGRAFICAS.** — Se llaman *regiones zoogeográficas* las porciones del globo en que se han dividido los continentes, atendiendo, sobre todo, a la distribución de los mamíferos y de las aves. Una de las más comúnmente admitidas se debe a Sclater y Wallace:

1.<sup>a</sup> *Región paleártica*: Comprende gran parte de Asia y Europa, teniendo como animales típicos la liebre, el zorro y la perdiz.

2.<sup>a</sup> *Región neártica*: Comprende gran parte de la América septentrional, siendo los animales distintivos el oso gris y el caimán.

3.<sup>a</sup> *Región etiópica*: Se extiende por casi toda el África y la Arabia; los animales característicos de esta región son la jirafa y el avestruz.

4.<sup>a</sup> *Región india*: Abarca la India e Indochina; el animal característico es el elefante.

5.<sup>a</sup> *Región australiana*: Comprende Australia e islas adyacentes; los animales distintivos son el canguro y el ave del paraíso.

6.<sup>a</sup> *Región neotropical*: Comprende casi toda la América meridional; los animales típicos son la llama y el jaguar.

7.<sup>a</sup> *Región circumpolar ártica*: Tiene como animal distintivo el narval. Esta región es de reciente creación, gracias a los resultados de las últimas exploraciones polares.

8.<sup>a</sup> *Región circumpolar antártica*: Tiene como animal distintivo el cachalote. Esta región es también, como la anterior, de reciente creación.

**92. LA VIDA EN LAS CAVERNAS.** — En el interior de las cavernas no existen vegetales, por la falta de luz, sino sólo animales y aun éstos en contadas especies. La fauna de las cavernas se llama *cavernícola* u *oscurívola*. Los animales que en ellas habitan suelen tener los tegumentos decolorados y los ojos atrofiados; pero, en compensación, suelen tener los otros órganos de los sentidos muy desarrollados. En las cavernas abundan los insectos, crustáceos y moluscos; se encuentran también algunos peces, un batracio ciego llamado *proteo*, que vive en las grutas de Carniola, y una rata negra, que vive en ciertas grutas de Norteamérica.

**93. DISTRIBUCION HIPSOMETRICA DE LOS SERES VIVOS.** — Llámase *distribución hipsométrica* de los seres vivos la que presentan éstos por razón de la altura o altitud. En la división altitudinal la nomenclatura más generalizada se refiere a las montañas de Europa, especialmente los Alpes, por haber sido en un principio las mejor conocidas. La división en pisos es como sigue: inferior, submontano, montano, subalpino y alpino o nival.

Como límite superior del piso montano se ha tomado el de las formaciones de especies planifolias; como piso subalpino aquel en que las formaciones arbóreas se reducen sólo a coníferas, y como piso alpino el superior a los árboles. Por efecto

de la altitud puede haber en los trópicos las mismas zonas de vegetación que van desde los trópicos a los polos, como sucede en los altos picos de las regiones ecuatoriales de los Andes, y así las mismas zonas en el ecuador se hallan mucho más elevadas que, por ejemplo, en España.

**94. FAUNAS Y FLORAS ACUATICAS.** — Las aguas se hallan habitadas por un número inmenso de organismos, animales y vegetales, pues también en las aguas, aun las más profundas, se realizan las condiciones necesarias para la vida, como ser: *oxígeno* y *temperatura* conveniente, que a partir de cierta profundidad apenas experimenta alteraciones. En cuanto a la luz no es requisito indispensable, pues los animales de las grandes profundidades la producen artificialmente; en cuanto a la presión, aún cuando en el fondo de las aguas profundas llega a ser muy grande, muchas especies se han adaptado perfectamente a ella. En este punto, dice Cury, las exploraciones oceanográficas han obligado a rectificar conceptos antiguos: pues, en efecto, hasta fines del siglo XIX se creía que la vida animal desaparecía después de los 500 metros, y ahora está plenamente comprobado lo contrario: estos organismos de las grandes profundidades se encuentran tan bien en su medio que no pueden elevarse a la superficie, por tener su constitución orgánica de acuerdo a las grandes presiones que deben soportar.

Entre las faunas y floras acuáticas débense distinguir las de las *aguas saladas* o marinas, y las de las *aguas dulces*, lacustres o fluviales.

**95. DISTRIBUCION DE LOS SERES MARINOS.** — La actual distribución de los seres marinos puede considerarse en sentido vertical o de profundidad, y en sentido horizontal, o sea en relación con las condiciones físicas de las costas y de los climas. Esta distribución depende de la diferente resistencia de las especies a las variaciones de temperatura y de presión; las especies que necesitan vivir en condiciones de grande uniformidad se llaman *estenotermas*, y las que son poco sensibles a los cambios de temperatura se denominan *euritermas*.

Entre los seres vivos que pueblan los mares se distinguen desde luego dos grupos: 1.º Seres que se encuentran a distancias variables entre la superficie y el fondo, ya sea trasladándose merced a las corrientes marinas (*plancton*), ya navegando li-

brememente como los peces (*necton*); 2.º seres que necesitan vivir en el suelo marino (*benton*).

1. El *plancton* (del griego *plagtos*, errante) comprende los vegetales y animales (diatomeas, protozoos) de tenue textura que viven flotando en las aguas del mar, siendo llevados de un sitio a otro por las corrientes y mareas, sin que puedan oponerse a este arrastre por carecer de medios propios de locomoción o por insuficiencia de los mismos.

2. El *necton* (del griego *necko*, nadar) comprende los animales flotantes con poderosos medios de locomoción, y que, por tanto, pueden desplazarse a voluntad.

3. El *benton* (del griego *benthos*, fondo del mar) comprende los organismos que ocupan el fondo marino, entre los cuales los hay *fijos*, como muchas algas, esponjas y corales, y los hay *libres*, como algunos crustáceos y peces.

96. **ZONAS MARINAS.** — Como la profundidad de las aguas determina un cambio radical en las condiciones de vida

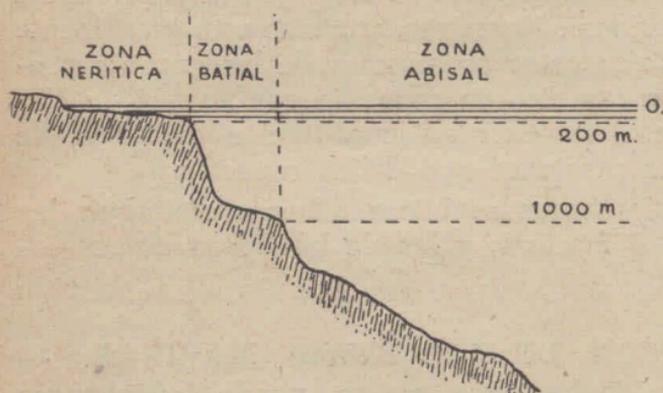


Fig. 45. — Distribución batimétrica de los seres vivos.

ha sido posible establecer varias zonas, conocida con los nombres de litoral, nerítica, batial y abisal, cuya exposición extractamos de Cury.

a) **Zona litoral.** — Comprende los seres marinos capaces de resistir las acciones de las mareas y del aire.

suelen vivir fijos en el suelo, adaptados a la vida aérea y acuática. Entre las *plantas* de esta zona cabe mencionar ciertas especies arborescentes, cuyo conjunto alcanza a formar a veces verdaderos bosques litorales, conocidos con el nombre de *mangrovas*; las raíces de estos vegetales se hunden en el barro negro. La *vida animal* se encuentra muy desarrollada, particularmente en la mangrova, señalándose sobre todo algunos peces, cangrejos, ostras y mejillones.

b) **Zona nerítica.** — Abarca la región del mar cuya profundidad se halla comprendida entre el nivel del mar y 200 metros bajo el agua: esta región tiene las aguas muy agitadas, temperatura variable y abundante luz; está habitada por plancton, necton y benton (fig. 45).

c) **Zona batial.** — Es la que va desde los 200 metros hasta los 1.000 metros; posee una temperatura constante y escasa luz. Esta zona se extiende a veces hasta muchos centenares de kilómetros de la costa, y contiene organismos planctónicos y nectónicos, que se mueven en sentido horizontal y vertical, ya por sus propios medios, ya por el movimiento de las aguas y por las variaciones de la densidad. Las especies de esta zona son estenotermas.

Las dos zonas, nerítica y batial, constituyen la llamada *zona pericontinental*, en la que abundan extraordinariamente la fauna pelágica (del griego *pélagos*, que significa alta mar), sobre todo entre los 80 y 350 metros de profundidad, y en ella se encuentran formas gigantescas de plancton.

d) **Zona abisal.** — Es la que se extiende desde los 1.000 metros hasta las mayores profundidades; tiene temperatura baja (de unos 0 grados) y carece de luz, por lo cual le falta vegetación. Muchos de los peces y crustáceos de esta zona son ciegos; otros, en cambio, poseen verdaderos focos luminosos. La fauna abisal es carnívora y limnífera, esto es, se alimenta de cadáveres de placton, y cuando no los encuentra devora sus semejantes; por esto los animales de esta zona tienen muy desarrollados los órganos de captura.

Los caracteres de la zona abisal son la uniformidad, antigüedad y carácter polar: 1. La *uniformidad* de esta zona depende de las condiciones físicas del medio, pues la temperatura, sobre todo a partir de los 2.000 metros, es constante en todos los mares, así tropicales como polares, y oscila entre 0° y 2° sobre cero; la fauna es muy rica en tipos zoológicos, pero enteramente uniforme en sentido horizontal, de suerte que muchos de los géneros allí contenidos son cosmopolitas.

2. El carácter de *antigüedad* de esta zona se refiere al hecho de que su fauna presenta mucha afinidad con la de la era secundaria, particularmente con la del terreno jurásico y aun más con la del cretácico. De aquí que se haya supuesto que la fauna de la zona abisal deriva de la fauna pericontinental que emigró a estas profundidades durante la era secundaria.

3. El carácter *polar* de esta zona quiere decir que las especies en ella vivientes son parecidas a las que se encuentran cerca de la superficie en las regiones polares; la causa de esto reside en la baja temperatura que reina constantemente en aquellas profundidades.

**97. LA VIDA EN LAS AGUAS DULCES.** — Los seres que viven en las aguas dulces reciben el nombre de *limnobios* o *dulcoquícolas*. Entre los vegetales cabe señalar algunas algas y diversas fanerógamas angiospermas. Con respecto a los animales, es curioso hacer notar la falta de foraminíferos, radiolarios, braquiópodos, equinodermos, cefalópodos y tunicados. En cambio, hay bastantes especies de peces (unas 2.500); todos los batracios son limnobios, cuando menos en su estado larval; entre los reptiles son limnobios los cocodrilos y algunos ofidios.

## CAPÍTULO VII

# GENERALIDADES DE GEODINAMICA

SUMARIO: 98. Definición y división de la geodinámica. — 99. Geodinámica externa. — 100. Geodinámica interna. — 101. Ciclo de los fenómenos geológicos. — 102. Orogénesis. — 103. Gliptogénesis. — 104. Erosión. — 105. Denudación. — 106. Transporte. — 107. Litogénesis.

### 98. DEFINICION Y DIVISION DE LA GEODINAMICA.

— *Geodinámica* es la parte de la geología que estudia la manera de obrar de los llamados agentes geológicos o geodinámicos.

*Agentes geológicos* o *geodinámicos* son los factores en virtud de los cuales se modifican en el transcurso de los tiempos, tanto el relieve del globo, como la composición y relaciones de la posición de los materiales terrestres. Es de la de mayor importancia el estudio de las causas geodinámicas actuales, porque sirve de fundamento para juzgar de los fenómenos geológicos que sucedieron en épocas pasadas y cuyas señales se han conservado en los terrenos.

Los agentes geológicos que tienden a modificar el relieve terrestre pueden dividirse en dos grandes grupos: unos tienen su asiento en la superficie terrestre, y se llaman *exógenos*; otros, cuyo origen se halla en el interior del globo, se llaman *endógenos*. Los primeros constituyen el objeto de la geodinámica externa y los segundos, de la geodinámica interna; con esta particularidad, que los agentes endógenos tienden a producir desigualdades en la superficie terrestre; mientras que los agentes exógenos igualan o nivelan estas desigualdades; y en esta acción sucesiva de ambos agentes se fundan los ciclos geológicos.

**99. GEODINAMICA EXTERNA.** — Estudia los agentes exógenos que tienden a igualar o nivelar las desigualdades terrestres. De tres fuentes principales toman su fuerza estos agentes, a saber: del sol y de la luna, de la gravedad terrestre y de los organismos vivientes.

1.º El *sol* y la *luna*, con su atracción producen las mareas, y el primer efecto de estos astros con su calor determina los vientos y las corrientes marinas, y evapora las aguas, que luego van a caer en las partes elevadas. 2.º La *gravedad terrestre* hace correr el agua hacia las partes bajas, arrastrando consigo los materiales térreos. 3.º Los *organismos vivientes*, que en parte toman también su fuerza de la luz y del calor solar, actúan de diversas maneras, como agentes de destrucción y de producción de rocas. Las acciones químicas de los cuerpos pueden considerarse como condiciones favorables o desfavorables para que obren los otros agentes: así, por ejemplo, el agua arrastra la caliza, previa disolución. Con todo, los agentes inmediatos de estas acciones superficiales son el aire, el agua y los organismos vivientes.

**100. GEODINAMICA INTERNA.** — Estudia los agentes endógenos que tienden a producir irregularidades en la superficie terrestre, y tienen su asiento en el interior del globo. Estos agentes se fundan principalmente en el calor central, juntamente con la gravedad terrestre, siendo sus principales manifestaciones los fenómenos de vulcanismo y los movimientos de la litosfera.

a) **Calor central.** — La existencia del calor central es atestiguada por el aumento gradual de temperatura con la profundidad y por los procesos de vulcanismo. Se llama *geotermia* el estudio del calor del globo terrestre. El calor que recibe la superficie del globo proviene casi exclusivamente del sol; por lo cual su repartición, así en el espacio como en el tiempo, es sumamente variable. Debido a la escasa conductibilidad de las rocas, el calor solar no se deja sentir más allá de los 20 metros de profundidad, donde se ha comprobado la existencia de una temperatura constante durante todo el año. A partir de esta zona, la temperatura aumenta gradualmente con la profundidad, a razón de 3º por cada 100 metros, lo cual da un *gradiente geotérmico* de 33 metros por cada grupo centígrados de aumento.

Precisamente por este aumento de temperatura con la profundidad, también por la elevada temperatura a que los volcanes arrojan las lavas, se viene a la conclusión de que el calor central de la tierra debe llegar a varios miles de grados. Si sólo se atendiese a esta temperatura, que si duda supera a la considerada hasta ahora como crítica para todos los cuerpos, el núcleo de la tierra debería hallarse en estado gaseoso; no obstante, como las enormes presiones a que está sometido pueden elevar las temperaturas críticas, o sea, de vaporización, de sus componentes, de aquí que generalmente se le suponga en un estado intermedio entre el líquido y el sólido, que sería semifluido.

b) **Gravedad terrestre.** — Puede considerarse, en parte, como origen de la energía geodinámica interna, pues los volcanes arrojan lava por compresión de la litosfera en la piroesfera; los temblores y hundimientos provienen de reajustes gravitatorios.

rios de las capas interiores y el fenómeno de la isostasia es también efecto de la gravedad.

### 101. CICLO DE LOS FENOMENOS GEODINAMICOS. —

La tierra puede considerarse como un organismo vivo en continua actividad, designándose con el nombre de *ciclo de los fenómenos geológicos* la serie no interrumpida de cambios, repetidos más o menos periódicamente, que tienen lugar en la superficie terrestre por efecto de agentes geodinámicos.

La vida de nuestro planeta viene a ser una lucha continuada entre la formación de montañas, que tienden a aumentar el relieve, y la erosión y sedimentación, que tienden a un nivelamiento general. Los materiales arrancados de las montañas son transportados por los ríos, para depositarse luego en la parte baja y tranquila de éstos o en el fondo de los mares y en las zonas más o menos próximas a las costas. Y estos terrenos así formados constituirán nuevas cordilleras por acción de los agentes orogenéticos. En determinadas regiones pueden haberse sucedido uno o varios ciclos geológicos, y con los datos que el geólogo recoge alcanza a reconstituir la historia evolutiva de la tierra.

Modernamente se comprenden todos estos fenómenos con los nombres de orogénesis, gliptogénesis y litogénesis.

### 102. OROGENESIS. —

*Orogénesis* (del griego *orós*, montaña) es la parte de la geología que estudia el proceso por el cual se han constituido los relieves terrestres. Este proceso se debe a causas internas o hipogénicas, que unas veces actúan en forma repentina y otras veces con extraordinaria lentitud.

a) **Fenómenos repentinos de orogénesis.** — Resaltan en primer lugar las erupciones volcánicas, que en ocasiones han dado origen en un corto número de meses y aun a veces de días a la aparición de montañas de gran elevación, en medio de territorios llanos, como ocurrió en el sur de México con el volcán Jorullo, que se formó en unos 15 días, hasta alcanzar una altura de 500 metros sobre el suelo, y con el Monte Nuovo, que se formó en la campaña napolitana en una noche de septiembre de 1538, ante el asombro y terror de los habitantes de sus contornos.

Por el contrario, los mismos fenómenos pueden dar origen a destrucciones casi instantáneas, al fragmentar con violentas

explosiones islas o montañas enteras. Tal es el caso de la explosión del volcán Krakatoa, entre las islas de Sumatra y Java en el estrecho de la Sonda, que en 1883 lanzó al aire las tres cuartas partes de la isla, cuya superficie medía unos 30 kilómetros cuadrados. Algo parecido sucedió con el volcán Momotombo, situado en Centroamérica (Nicaragua), que en una de sus erupciones hizo explosión y esparció por el aire su cono volcánico en colosales fragmentos, que al caer sobre el lago Managua constituyeron islas de gran extensión.

En este mismo grupo de fenómenos se incluyen los originados por los terremotos, si bien sus trastornos no suelen modificar tan intensamente la superficie terrestre. En ocasiones la sacudida sísmica sólo deja grietas que con mayor o menor extensión cuarteán la región afectada, por las cuales se originan a veces escapes de gases; pero pronto, con el tiempo, se suavizan las grietas hasta desaparecer casi del todo.

b) **Fenómenos lentos de orogénesis.** — Se manifiestan por ciertos cambios de nivel de las aguas, que dan lugar a que en ciertas costas aparezcan lo que se denomina *playas levantadas* o sea playas que en la actualidad nunca son invadidas por el mar, pero que, en otras épocas geológicas no muy antiguas, lo estuvieron. Sobre todo se nota el levantamiento por los restos de moluscos adheridos a las rocas, a varios metros sobre el nivel actual de las aguas. Ejemplos de esta clase se advierten en distintos parajes de la Argentina, como en Belgrano (Buenos Aires) frente a la estación Golf y en los alrededores de La Ensenada de La Plata: estos importantes bancos de conchillas están formados de diversas especies de moluscos marinos, que aun se hallan vivos en las costas atlánticas del Plata, lo que demuestra cuán reciente debe ser la época de este fenómeno. Asimismo, entre Diamante y Paraná es dado observar grandes barrancas llenas de caparazones de ostras a 30 y hasta 80 metros sobre el nivel del río Paraná; demostración palpable de un levantamiento lento del terreno.

En ocasiones los movimientos son debidos a presiones tangenciales o a descompresiones, determinantes de arrugas o roturas en los estratos terrestres, hasta el punto de dar origen a montañas en sitios en donde en otro tiempo se extendía ampliamente el mar. Por el primer proceso, o sea por el de arrugamiento, se formaron, por ejemplo, las cumbres más altas del mundo

situadas en el Himalaya (Asia), cuyos materiales habían sido lentamente depositados durante los tiempos primarios en el fondo de un antiguo mar. Por el segundo proceso, o sea de rotura, se ha producido la discontinuidad de los sedimentos o la intensa alteración que, con respecto a su disposición, presentan las capas de la corteza terrestre.

**103. GLIPTOGENESIS.** — *Gliptogénesis* (del griego *glip-tos*, cincelado) es la parte de la geología que estudia la acción erosiva producida en los relieves terrestres por los agentes epigénicos. Los efectos se dejan sentir en la superficie terrestre, unas veces mediante el soplo del viento, o por la acción que los gases constitutivos de la atmósfera ejercen sobre las rocas; otras por las aguas corrientes o almacenadas en lagos y mares, o bien por las que en estado de vapor se encuentran en la atmósfera, o que solidificadas constituyen nieves y glaciares, que ocupan los territorios polares y las zonas de gran elevación.

En este complicado conjunto de fenómenos existen series de términos diversos, de los cuales unos obran destruyendo y otros, por el contrario, edificando, o cuando menos preparando los materiales para futuras construcciones geológicas; el orden de estos términos es: erosión, denudación, transporte y sedimentación.

**104. EROSION.** — La *erosión* (del latín *erosiō*, roedura) puede definirse diciendo que es la serie de alteraciones químicas y mecánicas que transforman los materiales duros y coherentes en blandos y fácilmente disgregables. Entre los agentes de erosión merecen citarse, por su importancia, el aire, con su acción química, el agua, el calor, el frío y los seres vivos.

a) **Acción erosiva del aire.** — El aire ejerce acción erosiva por el oxígeno, el vapor de agua y el anhídrido carbónico. El *oxígeno* produce oxidaciones en los minerales y rocas, convirtiéndolos en sustancias fácilmente disgregables y al mismo tiempo mantiene la vida de los seres orgánicos. El *vapor de agua* hidrata a muchos minerales, sobre todo los de hierro, y los reduce a sustancias terrosas. El *anhídrido carbónico* hace solubles a ciertas rocas minerales y ayuda al vapor de agua en su ataque a los silicatos.

Entre todas las acciones químicas del aire, ofrece especial interés la que tiene lugar en el granito, roca compuesta esencialmente de cuarzo, feldespato y mica. En efecto; el anhídrido carbónico, junto con el vapor de agua, descompone a los feldespatos, que son silicatos dobles de aluminio y potasio, sodio o calcio, en silicato de aluminio hidratado, que es la arcilla o el caolín: con la mica del granito se realiza una acción parecida, que da por resultado diversos productos ferruginosos. Con esta alteración química del feldespato y de la mica, se disgregan los granitos, que luego determinan la formación de grandes depósitos de arena silícea y de arcilla.

El ataque a las rocas puede efectuarse siguiendo las grietas naturales, denominadas *diaclasas*, que se entrecruzan en tres sentidos, dando origen a que la masa rocosa quede dividida en formas prismáticas que terminan, al ensancharse aquéllas, por

quedar sueltas y al suavizarse sus aristas por tomar formas redondeadas a veces sumamente curiosas. Estos bloques pueden a veces quedar sobre otros, en equilibrio relativamente inestable, pudiendo oscilar con facilidad, cuando se les empuja, como sucedió con la famosa "piedra de Tandil", hoy día caída ya (fig. 46). Al mismo fenómeno de la erosión se debe el Zapato de Capilla del Monte (Córdoba) (fig. 47).



Fig. 46. — La roca movediza de Tandil.

b) **Acción erosiva del agua.** — El agua de lluvia al caer disuelve algo de anhídrido carbónico del aire, fenómeno de extraordinaria importancia para su acción erosiva. Pues, en efecto, si el territorio es calizo, las aguas de lluvia, al caer sobre las calizas, las disuelven parcialmente en forma de bicarbonato de calcio, con lo cual hacen que las superficies de las rocas dejen de ser lisas y presenten acanaladuras y pequeños surcos más o menos paralelos, separados por puntas y crestas de pequeñas dimensiones dirigidas según la máxima pendiente.

c) **Acción erosiva del calor.** — Los cambios bruscos de temperatura hacen que las rocas se cuarteen y fragmenten, formándose, sobre todo en las zonas montañosas, acumulaciones de cantos sueltos, de figura irregular y angulosa que parecen materiales allí transportados.

Estos fenómenos se observan también en las zonas desérticas, dando origen a los denominados desiertos de piedra, como lo es en gran parte el Sahara, por la disgregación intensa de las rocas heterogéneas, sobre todo cuando sus minerales constitutivos son de diversos colores. El fenómeno se explica de la siguiente manera: en las rocas donde entran varios minerales en su composición, los más oscuros absorben el calor más rápidamente que los claros; de aquí que la roca no se dilate por igual, y que se formen en su masa tensiones de distinto valor, que determinan la fragmentación cada vez mayor de las rocas.

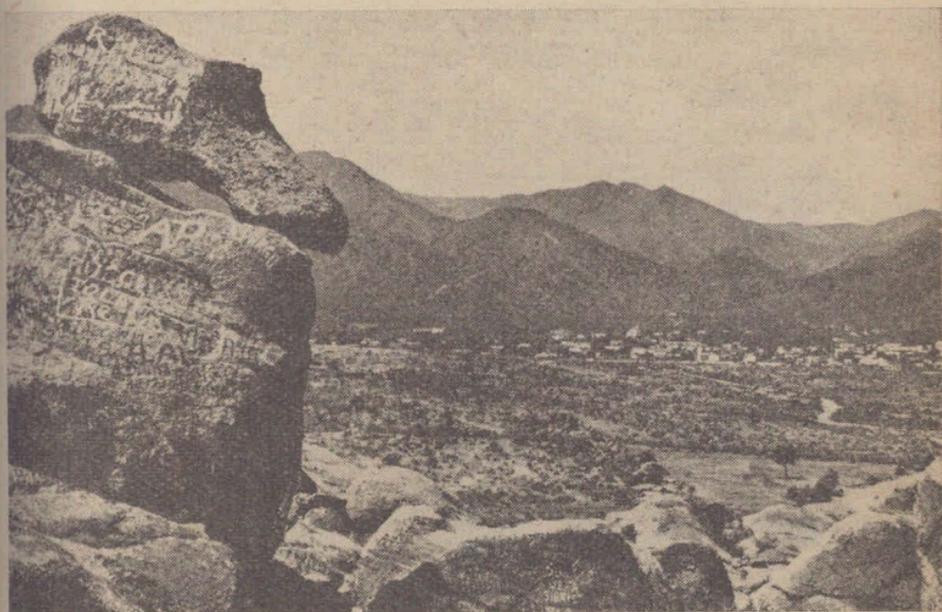


Fig. 47. — El Zapato de Capilla del Monte (Córdoba).

En el Sahara, donde las oscilaciones diurnas de la temperatura pueden pasar de 50°, el ataque a las rocas se deja sentir de una manera extraordinaria; y así los viajeros se ven a veces sorprendidos, durante las horas de mayor calor, por ruidos secos, semejantes a pistoletazos, debidos a la rotura repentina de rocas recalentadas.

d) **Acción erosiva del frío.** — Los descensos fuertes de temperatura llegan a congelar el agua infiltrada en las porosidades de las rocas o a rellenar sus espacios y grietas, y como esta congelación tiene lugar con aumento de temperatura, resulta que el agua congelada obra a manera de cuña, fragmentando y reduciendo a pequeños trozos las rocas, aun las más duras, que luego constituyen los pedregales de las zonas montañosas.

En algunas rocas, por su constitución íntima, se verifica este fenómeno con gran facilidad: tal es el caso de ciertas areniscas, llamadas por esto *heladizas*, las cuales son sumamente malas para la construcción, pues fácilmente se desmoronan por las heladas, a no ser que se las someta a procedimientos especiales para evitar este fenómeno, como el de la *silicatificación*.

e) **Acción erosiva de los seres vivos.** — La acción erosiva o destructora de los seres vivos puede considerarse en las plantas y en los animales, siendo de mucha mayor trascendencia en las primeras que en los segundos.

Las *plantas* destruyen mecánicamente las rocas con sus raíces, que obran a manera de poderosas cuñas, y químicamente con los ácidos que segregan, particularmente con el anhídrido carbónico, que luego junto con el agua reacciona con muchos materiales pétreos. Entre los *animales* merece citarse la acción destructora de los erizos de mar y moluscos litófagos, que con sus líquidos ácidos atacan las rocas calcáreas para establecer en ellas sus guaridas. Es también notable la acción de muchos mamíferos, especialmente los castores, topos, conejos, etc., que con sus galerías y madrigueras minan de continuo los terrenos donde habitan.

**105. DENUDACION.** — Es la separación de los materiales hechos disgregables por el fenómeno de la erosión. En efecto, una vez deshecha la roca y convertida en arena o tierra, unos materiales son separados sin gran dificultad del sitio que ocupan, así por acción del viento como de las aguas; con lo cual aparecen debajo de ellos otros que al quedar al descubierto están en condiciones para que sobre los mismos comiencen a actuar los distintos factores del fenómeno (figs. 48 y 49).

Puede incluirse como fenómeno de denudación cierto efecto mecánico del viento, llamado *corrasión*, que consiste en el



Fig. 48. — Picachos de Montserrat (España) fuertemente denudados.

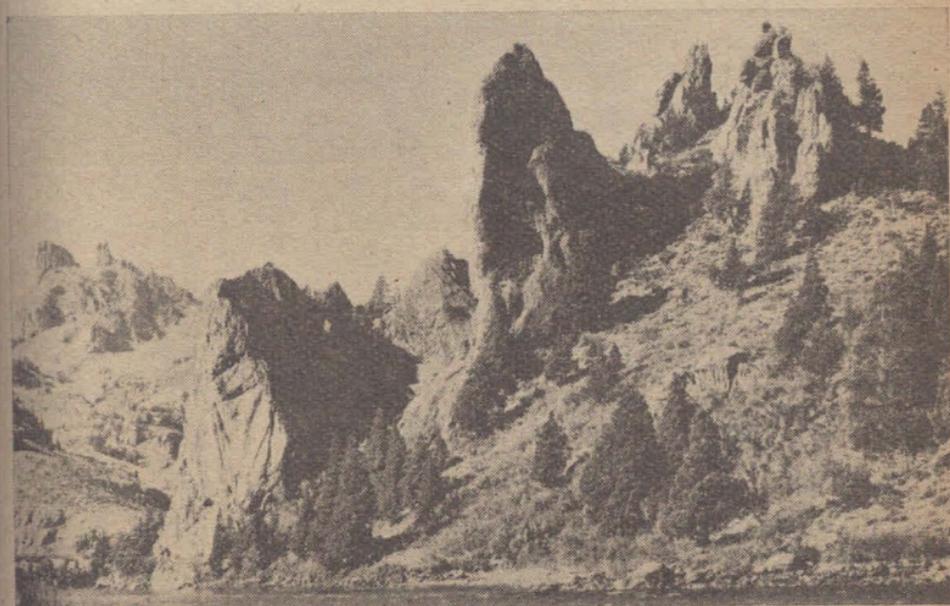


Fig. 49. — El Valle Encantado del Río Limay, en el Neuquén (Foto de Bourquin).

desgaste de muchas rocas, merced a los materiales arrancados por el viento, con formación de oquedades y hasta de curiosos dibujos en relieves sobre la superficie de las mismas, especialmente en los terrenos desérticos. Los que cruzan las llanuras pedregosas del Sahara, denominadas *hamadas*, son testigos de la labor así efectuada por el viento, pues las agudas y duras partículas de polvo impulsadas violentamente por él lastiman las piernas y manos y en ocasiones llegan a hacerse irresistibles, sobre todo en las partes más delicadas del cuerpo, como la cara y los ojos: por esta razón los habitantes de ciertas zonas del Sahara, cuando viajan, se protegen la cara mediante velos y gasas, para evitar las molestias del fino polvo (fig. 50).



Fig. 50. — Rocas denudadas de la cascada de Cospina en la región serrana de Córdoba.

**106. TRANSPORTE.** — Es el arrastre a grandes distancias de los materiales procedentes de la erosión y denudación de las rocas y terrenos, sea por la acción del viento, llamada *acción eólica* (del griego *eos*, dios del viento), ya sea por acción de las aguas.

a) **Acción eólica del viento.** — Convertidos los materiales duros e inalterables de las rocas en partículas finas, por la acción erosiva de los agentes atmosféricos, constituyen arena y polvo, a veces de extraordinaria finura. Estos materiales pueden ser transportados por el viento, sobre todo en regiones donde

sopla con fuerza y en dirección constante. Las distancias que pueden salvar las partículas son a veces extraordinarias.

En efecto: con frecuencia sobre las Canarias, las variaciones del viento alíseo hacen que caigan sobre dichas islas materiales sumamente finos procedentes de las regiones desérticas de las costas africanas del Atlántico. Estas caídas de polvo o tierra, según V. Fricht, en el año 1863, llegaron a la cifra de 394.000 metros cúbicos, que representan una masa, por lo menos, de 200.000 metros cúbicos de roca. En el sudeste de Europa, durante los días en que el viento tórrido sopla del interior del Africa hacia el Mediterráneo, toda la región se ve invadida por un polvo finísimo, que penetra por todas partes cubriendo y ensuciándolo todo. En otoño de 1926 cayeron sobre ciertas regiones de Europa Meridional algunas lluvias de tono rojizo, debido a partículas de polvo finísimo, tomadas de la atmósfera y provenientes del Sahara.

Otras veces el polvo de la atmósfera no procede precisamente de regiones desérticas, sino de volcanes. Y en estas circunstancias, si los vientos se prestan a ello, ese polvo es llevado a distancias mucho mayores, de miles y miles de kilómetros. La Argentina, hace pocos años, fué testigo presencial de estas lluvias de polvo, procedente de los volcanes andinos.

Pero llega un momento en que los materiales, transportados por suspensión, se depositan, al disminuir o cesar la violencia de la corriente aérea, hasta formar lechos o capas en el suelo, conocidas con el nombre de sedimentos, que en este caso se llaman *eólicos*, para distinguirlos de los depositados por las aguas, que se llaman *neptúnicos*. Entre los depósitos eólicos merecen especial mención el loes y las dunas.

**b) Formación de loes.** — En Alemania se designa con el nombre de *loes* una especie de légamo arenoso, formado por polvo impalpable de color amarillento, que fácilmente se deshace en el agua. Es sumamente permeable, de suerte que absorbe toda el agua que cae sobre él. Este polvo procede de regiones desérticas o de cenizas volcánicas y ha sido llevado por el viento a gran distancia, hasta depositarse en regiones húmedas, donde forma capas de espesor considerable, que en algunos sitios alcanzan a 600 metros. El loes ocupa inmensas extensiones de China, Estados Unidos y Argentina (Pampa).

c) **Formación de las dunas.** — A los vientos se debe la formación de las *dunas*, que son montículos de arena situados a lo largo de las costas o en el interior de los grandes desiertos. Estos montículos presentan la pendiente muy suave por el lado del viento y rápida por la parte contraria. Muchas dunas adelantan lentamente, empujadas por el viento, arrasando los campos y aun las viviendas del hombre, por lo cual se hace preciso

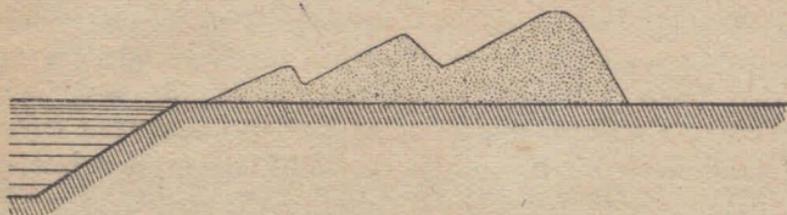


Fig. 51. — Duna normal con sus varias ondulaciones.

contenerlas mediante plantaciones adecuadas con el fin de evitar sus perniciosos efectos. El avance de las dunas no se verifica trasladándose éstas en masa, sino simplemente por el transporte de arena de la parte del viento a la parte opuesta, capa a capa (figs. 51 y 52).

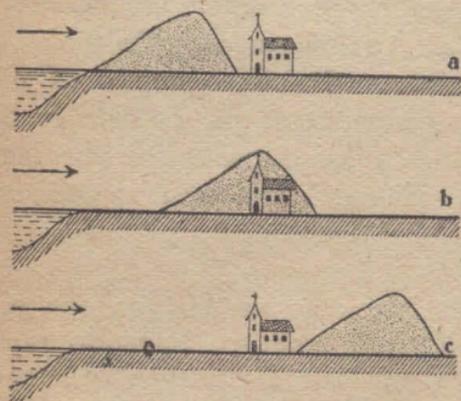


Fig. 52. — Proceso de avance de una duna.

d) **Acción de transporte del agua.** — Las aguas son el vehículo más eficaz de transporte de materiales al mar. Tratemos de precisar el monto total de la abstracción de tierras a los continentes por las aguas. J. Murray, para 19 de los principales ríos del mundo, ha encontrado 1,38 kilómetros cúbicos de sedimentos por año, y una proporción de éstos con respecto al agua de 38 por 100.000, o sea que cada 100.000 metros cúbicos de agua

contienen 38 metros cúbicos de sedimentos. El caudal de agua que el conjunto de todos los ríos de la tierra aporta anualmente al mar asciende a 23.000 kilómetros cúbicos; y como, según acabamos de ver, la proporción de materias sólidas arrastradas es

de 38 por 100.000, resulta que la cantidad anual de estas materias es de unos 10'43 kilómetros cúbicos, cifra equivalente a 1:9.730.000 del volumen total de los continentes. Si la meseta de la tierra firme fuese uniforme de 700 metros de altura, perdería cada año por este solo concepto de la erosión fluvial, 0,07 milímetros, o sea un milímetro cada 14 años, o lo que es lo mismo 7 milímetros por siglo. Por tanto, en menos de 10 millones de años, el transporte fluvial destruiría todas las tierras emergidas.

**107. LITOGENESIS.** — La *litogénesis* (del griego *lithos*, piedra) es la parte de la geología que estudia los fenómenos de sedimentación y de formación de las rocas.

Bajo el nombre de sedimentación se comprende el fenómeno por el cual los materiales arrastrados por el viento o por las aguas se depositan hacia las partes bajas, en capas o estratos más o menos horizontales. Los sedimentos arrastrados por el viento se llaman *eólicos* y los procedentes de materiales arrastrados por las aguas se llaman *neptúnicos*, los cuales, a su vez, pueden ser mecánicos y químicos.

*Sedimentos mecánicos* son los depositados sólo por acción de su propio peso, y *sedimentos químicos* son los que han estado disueltos y cuya formación obedece a un fenómeno de precipitación química. Con todo, es frecuente que los *sedimentos* sean *mixtos*, es decir, que su existencia se deba a ambos procedimientos de sedimentación.

Otros sedimentos curiosos y a veces de grande utilidad para el hombre son los de origen vegetal o animal, es decir, que sus materiales son restos de plantas, como ocurre con la hulla, o de animales, como en el caso de diversas calizas: estos sedimentos se denominan respectivamente fitógenos y zoógenos.

Por último, los materiales depositados y ya constituidos sufren, por acción del tiempo y de diversas causas, como presiones, acciones metamórficas y recristalización, una serie de transformaciones que determinan aumento de dureza y hasta cierto punto un cambio en su constitución, que hace que materiales muy poco coherentes, como arcillas y arenas, pasen a constituir rocas a veces muy duras, como las pizarras, areniscas y conglomerados, y durísimas e inalterables, como las cuarcitas.

La fase durante la cual se depositan los sedimentos en el fondo de las aguas se llama con razón *litogénesis*, por ser la fase de elaboración de los materiales que servirán para edificar las cadenas de montañas, y se contrapone a la *orogénesis*, o fase de formación de los relieves montañosos.

## CAPÍTULO VIII

# ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION

SUMARIO: 108. Definición y división de sedimentación. — 109. Importancia del estudio de la sedimentación. — 110. Clasificación de los sedimentos por su origen. — 111. Sedimentos de origen detrítico. — 112. Formas bajo las cuales actúa el agua de los mares. — 113. Acción del mar en las costas. — 114. Acción del mar en la desembocadura de los ríos. — 115. Sedimentación marina. — 116. Sedimentación de origen químico. — 117. Sedimentos de origen orgánico. — 118. Formación de las rocas carbonosas. — 119. Formación de las rocas calcáreas. — 120. Formación de las rocas silíceas. — 121. Formación de las rocas fosfatadas. — 122. Noción de facies. — 123. Formación geológica. — 124. Elementos que deben considerarse en los estratos.

### 108. DEFINICION Y DIVISION DE SEDIMENTACION.

— *Sedimentación* es la acumulación de los materiales provenientes de la destrucción de la corteza terrestre. Ahora bien, como esta acumulación puede tener lugar en los continentes y en el fondo de los mares, de aquí la división de la sedimentación en continental y marina.

La sedimentación continental ofrece diversas variantes, y así se llama *detrítica* la acumulación de materiales en la falda de las montañas, o sea cuando los depósitos no proceden de grandes distancias; *aluvial*, la acumulación de materiales en los valles o llanos, por efecto de los arroyos y ríos, o sea cuando los depósitos son de acarreo largo; *eólica*, cuando el agente de transporte de los materiales es el viento; *glaciar*, cuando el agente de transporte son los hielos de los glaciares, y *lacustre*,

cuando los materiales han sido depositados en el fondo de algún lago. En este último caso los materiales suelen depositarse según capas oblicuas, que avanzan cada vez más sobre los bordes del lago: uno de los casos típicos lo ofrece el Ródano, que al desembocar en el lago de Ginebra (Suiza), ha formado un depósito de 3 kilómetros desde la época romana (fig. 53).

### 109. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA SEDIMENTACION.

La observación de lo que sucede en la actualidad con la sedimentación como preludeo de la producción de nuevas rocas y modificación de las preexistentes, nos ha de llevar al conocimiento del proceso por el cual se formaron los materiales que vemos hoy día formar parte de las sierras y llanuras. Pues débese admitir que las mismas causas que modifican hoy día las condiciones físicas y biológicas del planeta actuaron de manera periódica en épocas pasadas; y si admiramos la grandiosidad de ciertos efectos

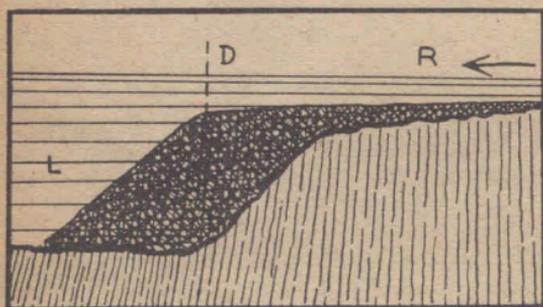


Fig. 53. — Desembocadura de un río en un lago, según A. Peyloubet.

producidos por causas, que parecen insignificantes, sólo porque tuvieron lugar en el decurso de tiempo o de duración incalculable.

Todavía, para comprender mejor el alcance de los fenómenos de la sedimentación, es de saber que, mientras ésta tiene lugar, van quedando enterrados entre las capas muchos restos de animales y plantas, que sobreviven en la región o que son arrastrados por el agua; y estos restos pueden, si las circunstancias son favorables

conservarse en todo o en parte, o por lo menos dejar su huella en las capas donde quedaron sepultados.

Este proceso de sedimentación tuvo lugar en épocas pasadas; y entre sus materiales se conservan muchos *testigos*, o sea restos o huellas de plantas y animales que vivieron durante cada época en las distintas regiones del globo, de aquí que por esos restos, llamados *fósiles*, nos sea dado conocer las condiciones físico-biológicas de cada región en las distintas épocas.

### 110. CLASIFICACION DE LOS SEDIMENTOS POR SU ORIGEN.

— Con el nombre de *sedimentos* o *rocas sedimentarias* se designan en geología todos los depósitos cuya formación se debe a la acción de los agentes dinámicos externos: se les llama también *rocas exógenas*, en oposición a las *rocas endógenas* de origen eruptivo. Uno de los caracteres de las rocas sedimentarias es la *estratificación*, o sea su disposición en estratos o capas superficiales, indicadoras de cierta periodicidad

en el depósito. Con todo, a veces los espesores son tan grandes y la sedimentación se ha efectuado de una manera tan continua que puede desaparecer todo indicio de capa o estrato, formándose así rocas macizas o sedimentarias, pero sin ninguna señal o traza de sedimentación.

Otro carácter propio de las rocas sedimentarias es el encerrar dentro de su masa residuos orgánicos, unas veces alterados y sin dejar ver su primitiva organización, como sucede con los grafitos, y otras, por el contrario, conservando perfectamente su forma externa y aun su organización interna, como lo tenemos en los fósiles vegetales y animales.

Los materiales que han de constituir las rocas sedimentarias, una vez depositados, sufren una serie de cambios que modifican su primitivo estado, mediante acciones físico-químicas, presión, temperatura, etc., es decir, un conjunto de fenómenos que hace que rocas primitivamente blandas y deleznales, tales como las arenas, pasen a constituir rocas durísimas y consistentes, como son las cuarcitas.

Por su origen las rocas sedimentarias se dividen en detríticas, químicas y orgánicas. En la formación de las *rocas detríticas* sólo han intervenido acciones físicas, como la pesantez y la presión, pudiendo ser debidas a la acción del viento (*rocas eólicas*), como sucede con las dunas, una vez muertas al cementarse y endurecerse sus materiales, o ser formadas en el seno de las aguas y principalmente del mar, teniéndose en este caso las *rocas neptúnicas*. Las *rocas de origen químico* han sido debidas a fenómenos químicos, pues habiendo permanecido en un principio en disolución en el seno de las aguas, pueden, al concentrarse éstas, precipitarse y dar origen a masas rocosas duras y consistentes, como sucede con las calizas, la sal gema y el yeso. Las *rocas de origen orgánico* están formadas por restos orgánicos, como sucede con las calizas coralinas y numulíticas, constituidas por la acumulación de restos o caparazones de animales en cantidad prodigiosa, que llegan a medir en ocasiones espesores de varios centenares de metros, y con los carbones minerales, formados por restos vegetales que han sufrido una serie de cambios en el decurso de los tiempos.

**111. SEDIMENTOS DE ORIGEN DETRITICO.** — Las rocas detríticas, llamadas también *deutógenas*, provienen de la disgregación de otras rocas, y por la acción combinada del agua

y del viento dan lugar a formaciones así en los continentes como en el mar. Estos sedimentos, según el tamaño de su grano, se clasifica en *psafíticos* (del griego *psaphós*, canto rodado), como las brechas y pudingas; *psamíticos* (del griego *psammós*, arena), como las dunas y las areniscas; *pelíticos* (del griego *pelós*, arcilla), como las margas y arcillas.

Una gran parte de los detritus depositados en el mar proviene del trabajo de las aguas del mismo mar, así en las costas, como en las desembocaduras de los ríos, al recibir los materiales procedentes del interior de los continentes. He aquí algunos datos sobre el monto total de los detritus, según su procedencia.

La cantidad anual de *materiales en suspensión* que los ríos, aportan al mar se eleva a 10'43 kilómetros cúbicos. Pero el trabajo de las aguas continentales no se ciñe a la sola erosión y transporte mecánico, sino que comprende, además, el trabajo de disolución, por cierto nada despreciable, ya que, según cálculos, los ríos llevan al mar por cada kilómetro cúbico de agua, unas 182 toneladas de substancias en disolución, y el conjunto de todos los ríos, unos 5 kilómetros cúbicos de substancias disueltas por año.

Pero a los dos fenómenos anteriores debe agregarse la erosión marina. El desarrollo de todas las costas de la tierra es de unos 200.000 kilómetros. Estas costas, suponiéndolas de una altitud media de 100 metros y con un retroceso de 3 centímetros por año, proporcionan anualmente 600 millones de metros cúbicos de detritus, o sea que la erosión marina equivale 1:17 del trabajo de las aguas meteóricas. Los 145 millones de kilómetros cuadrados de los continentes equivalen a un círculo de 6.800 kilómetros de radio, o sea de 40.000 kilómetros de circunferencia; y como la longitud efectiva de las costas es de 200.000 kilómetros, resulta que la erosión marina es, en realidad, cinco veces mayor que la correspondiente al círculo ideal. En el caso ideal, los continentes desaparecerían por sólo la erosión marina en 227 millones de años; pero, en el caso real, serían necesarios 45 millones de años tan solamente, es decir, un plazo de tiempo cinco veces menor.

Teniendo, pues, en cuenta los tres factores expuestos, a saber: la erosión continental, el trabajo de disolución y la erosión marina de los continentes e islas, resulta que las tierras pierden anualmente unos 18 kilómetros cúbicos. Por tanto, los 100 millones de kilómetros cúbicos de tierras emergidas desaparecerían por los referidos conceptos en menos de 6 millones de años, dado que no hubiese acciones que contrarrestasen estas acciones de las aguas, como son los movimientos orogénicos y epirogénicos.

**112. FORMAS BAJO LAS CUALES ACTUA EL AGUA DE LOS MARES.** — El agua de los mares actúa en su acción mecánica de tres maneras: por el oleaje, por las mareas y por las corrientes marinas.

a) **Acción del oleaje.** — *Oleaje* es el movimiento superficial y ondulatorio de las aguas del mar. Se debe a los vientos, si bien la disposición de las costas y el influjo de las mareas hacen variar la dirección de las olas que, en tiempo normal, avanzan paralelamente a las costas. Las olas son, sin duda, el agente más poderoso de demolición que ejerce el agua del mar (fig. 54).

b) **Acción de las mareas.** — *Mareas* son movimientos periódicos de elevación y depresión de la superficie del mar, que tienen lugar cada seis horas. Son debidas a la atracción del sol y más particularmente de la luna; cuando estos dos astros están en oposición o conjunción, entonces el agua sube más y la marea se llama viva; en cambio, cuando estos dos astros están en cuadratura, la marea es mucho menos pronunciada. La marea alcanza su máximo en las costas, donde es frecuente que suba hasta 5 metros; en alta mar sube mucho menos, como puede notarse en las islas oceánicas. Las mareas constan de *flujo* y *reflujo* y constituyen con este movimiento un poderoso auxiliar de las olas en su trabajo de demolición y trituración de los materiales costeros: el reflujo se llama también *marea vaciante*, porque arrastra los materiales a alta mar.

c) **Corrientes marinas.** — Son movimientos de traslación de una parte de las aguas del mar en dirección determinada. Son de tres clases: unas en sentido vertical, de escasa importancia al parecer; otras superficiales en sentido horizontal, que se encuentran en todos los mares; otras, en fin, profundas, en sentido horizontal, que se desarrollan de una manera constante en todos los grandes océanos. Cuatro parecen ser las causas de las corrientes marinas: a saber: las diferencias de salinidad, los vientos, las diferencias de temperatura y el movimiento de rotación de la tierra. Las corrientes marinas no ejercen acción demolidora importante; pero, en cambio, van repartiendo por el fondo del mar los materiales acarreados por los ríos y los que las olas trituran en las costas.

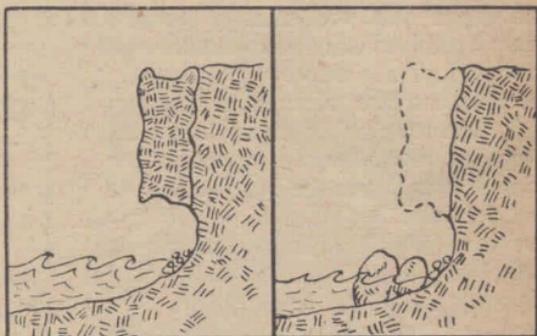


Fig. 54. — El mar al asalto de las costas.

**113. ACCION DEL MAR EN LAS COSTAS.** — La acción del mar sobre las costas se debe principalmente a las olas, cuya fuerza es, en ocasiones, verdaderamente fantástica. T. Stefenson logró determinar, mediante un dinamómetro especial, el esfuerzo producido por los golpes de mar, y así halló que en el faro de Skerryvare en Escocia, la presión por metro cuadrado llega a 3.000 kilos durante el verano y a 10.000 durante el invierno, habiéndose dado el caso de llegar en los grandes temporales a 30.500. Esta acción del mar difiere, naturalmente, según sean las costas, acantiladas o bajas. Estudiaremos por separado estos dos casos.

a) **El mar en las costas acantiladas.** — El choque de las olas contra los acantilados es enorme; baste decir que, al estrellarse las olas sobre la base de los acantilados, elevan verticalmente en ocasiones a más de 60 metros sus penachos blancos de espuma, por lo cual arrancan con frecuencia bloques de piedra de hasta 1000 toneladas, que luego trituran por el choque mutuo y con el suelo. La máxima fuerza de las olas se desarrolla en la parte baja de los acantilados, o sea en el límite entre el mar y la tierra.

El acantilado, pues, va siendo socavado por esta parte, sobre todo si los materiales no son muy resistentes; hasta que perdiendo el equilibrio se derrumba la parte alta: con esto la costa retrocede paulatinamente, y los materiales derrumbados, después de haber sido triturados, se depositan en el fondo del mar, no lejos de la costa (figs. 55 y 56).

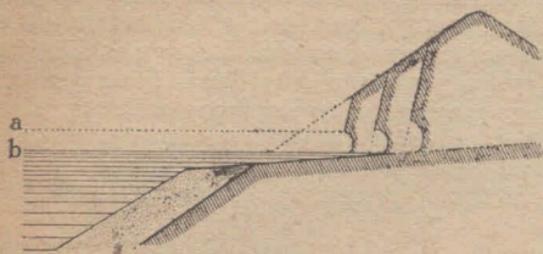


Fig. 55. — Retroceso de un acantilado:  
a, marea alta; b, marea baja.

El poder destructor de las olas depende no sólo de la amplitud de las mismas, sino también de la altura de la marea y de la disposición de las capas de terreno en el acantilado: las olas consiguen su máximo esfuerzo en las costas de grandes

mareas y en los acantilados donde los estratos se hallan horizontales. Si las capas son verticales y perpendiculares a la costa, suelen formarse muchas dentelladuras, provenientes de la desigual resistencia que los diferentes estratos ofrecen a las olas.

Son propias de estas costas las llamadas *marmitas de gigantes*, que son ciertos hoyos en las rocas producidos por los cantos, a los que las olas imprimen movimientos de rotación.

#### b) El mar en las costas bajas.

— El trabajo de las olas en estas costas se reduce a remover continuamente los materiales de la orilla, que por el frote con el suelo y por el choque mutuo van reduciéndose de tamaño sin cesar: cuanto más pequeños son los fragmentos, pueden permanecer más tiempo en suspensión en el agua y, por consiguiente, pueden ser llevados más lejos por las mareas y corrientes marinas.

Son propias de estas costas las llamadas *playas*, en las que el límite de la tierra con el mar es llano y arenoso. Estos materiales proceden de los ríos y de los acantilados, previa trituración de los mismos. Los materiales de mayor tamaño se encuentran generalmente en la parte más lejana de las aguas y se han depositado allí en los días de mayores olas, que tienen lugar cuando las grandes tormentas coinciden con las ma-

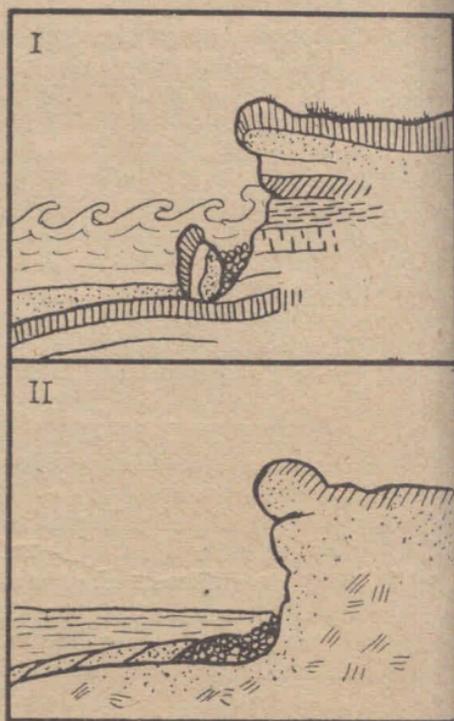


Fig. 56. — Trabajo de erosión (I) y de sedimentación (II) del mar en las costas.

yores mareas: una vez depositados allí estos materiales, ya no pueden ser arrastrados nuevamente por las aguas del mar. Estos materiales gruesos ofrecen la forma de talud y constituyen lo que se llama *cordón litoral*: en su base las olas normales rompen sin fuerza, para llevarse al retroceder parte de los materiales: en este punto es donde suelen acumularse las conchillas y algas. Las playas poco inclinadas tienen los materiales pequeños, y las muy inclinadas los tienen grandes, como sucede en los ríos.

A poca distancia de la costa se van a depositar las arenas menudas; más lejos aún se deposita el légamo fino, generalmente formado por substancias arcillosas, y en las grandes profundidades a considerable distancia de las costas, a partir de unos 300 kilómetros por término medio, cesa la sedimentación mecánica y se verifica solamente la sedimentación orgánica. Las arenas depositadas frente a las playas, a corta distancia de éstas, presentan formas diversas, según sea la forma de la playa: cuando ésta se presenta en saliente, las arenas toman la misma forma, como de flecha; pero si la costa es arqueada y las aguas se hallan poco agitadas, los materiales se depositan parcialmente, según la cuerda de dicho entrante, formándose bancos de arena llamados *diques*, que tienden a cerrarlos para constituir *lagunas litorales* o *albuferas* (figuras 57 y 58).

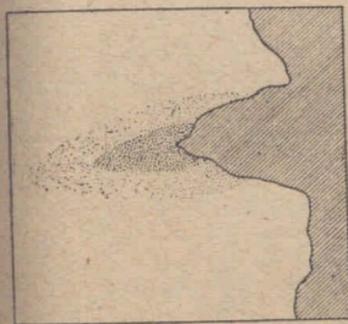


Fig. 57. — Formación de un banco de arena en una saliente de la costa.

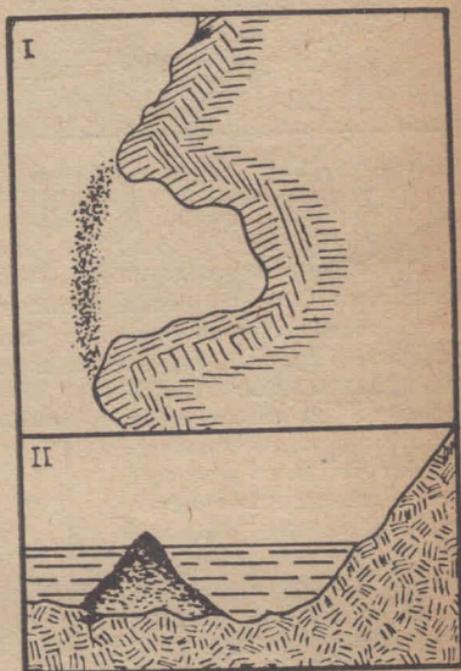


Fig. 58. — Formación de albuferas o lagunas litorales.

**114. ACCION DEL MAR EN LA DESEMBOCADURA DE LOS RIOS.** — Dos son los tipos de desembocadura de los ríos en el mar: desembocadura en estuario y desembocadura en delta.

a) **Estuarios.** — Se llaman *estuarios* las bocas anchas de los ríos, que por la depresión de su cauce permiten la entrada del mar al subir la marea. Los estuarios, como se observa en el Guadalquivir y en el Amazonas, se forman con preferencia en mares abiertos, donde las mareas y corrientes marinas tienen gran influjo; porque, entonces, los materiales que descienden

del río son llevados a grandes distancias dentro del mar. Con todo, en el punto de equilibrio entre la corriente fluvial y la de las mareas se origina un depósito movable de arena, que se conoce con el nombre de *barra*, el cual retrocede o avanza al compás de las mareas, constituyendo un grave peligro para las embarcaciones. Favorece, además, la formación de estuario el movimiento de descenso de la costa (fig. 59).



Fig. 59. — Formación de una barra, según R. Cury.

triángulo, que se observan en la desembocadura de muchos ríos al mar, cuando en éstos no tienen acción ni las mareas ni las corrientes marinas, como sucede con la desembocadura de los ríos Ebro (España) y Nilo (Egipto) (fig. 60). Es que en estos puntos los materiales arrastrados por las aguas se van depositando en las cercanías de la misma desembocadura. En los deltas es frecuente que el río se ramifique en muchos brazos, lo cual proviene de haberse formado depósitos de arena (banco de arena) enfrente mismo de la desembocadura, que obligaron al río a dividirse en dos brazos; cada uno de estos brazos se fracciona luego en otros, hasta producirse la forma laberíntica que se advierte en algunos ríos. Favorece la formación de deltas el movimiento ascensional de la costa (fig. 61).

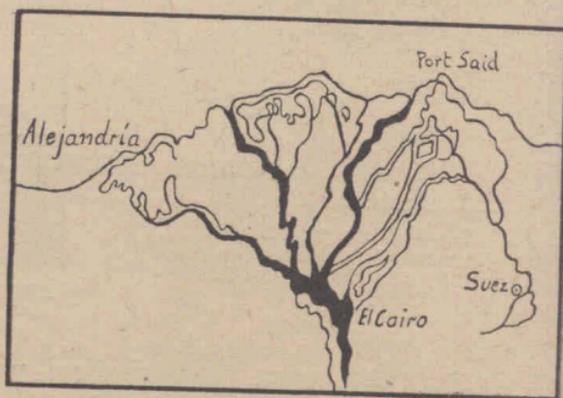


Fig. 60. — Delta del Nilo (Egipto).

El tamaño de dichas formaciones es muy diverso y siempre en relación con la del río y con la fuerza de su corriente. Algunos son sumamente extensos, como el del Ganges y Bramaputra, en la India, que desemboca juntos y dan origen a un delta en el Golfo de Bengala de más de 80.000

La corriente de las mareas ocasiona en ciertos estuarios y en las inmediaciones de su desembocadura una contracorriente repentina y semejante a una gran ola que se propaga en sentido contrario a la corriente fluvial y que puede dar lugar, si la corriente del río es grande, a una ola peligrosa y espumante, de dos a cuatro metros, que avanza hacia el interior con gran ruido y velocidad. Esto es lo que forma el *mascaret* en el río Sena (Francia), la *bora* en el Ganges (India) y el *pororoca* en el Amazonas (Brasil).

b) *Delta*. — Se llaman *deltas*

los depósitos de aluvión en forma de

kilómetros cuadrados de superficie; importante es también y sumamente ramificado el del Misisipí en los Estados Unidos con 30.000 kilómetros; de gran regularidad es el del Nilo con 22.000 kilómetros cuadrados.

Se ha calculado la cantidad de materiales que los principales ríos llevan en suspensión anualmente al mar: el Ródano unos 20 millones de metros cúbicos, el Misisipí 28 millones, el Danubio 60 millones y el Ganges se cree que excede en mucho estas cifras. De estos y otros datos se deduce que todos los ríos juntos, por esta acción de transporte, llevan al mar unos 10 kilómetros cúbicos de materiales en suspensión. Con esta sólo acción en 10 millones de años llegarían a desaparecer todos los continentes, si las fuerzas internas del globo no se encargaran de contrarrestar esta acción niveladora de las aguas, con movimientos de elevación de los continentes.

El llamado en la Argentina *delta del Paraná*, constituido por un grupo de islas entre el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas, no es propiamente un delta, pues el Río de la Plata tiene aún corriente en ese punto. Para que lo fuera sería menester que la costa entre la isla de Martín García y San Fernando fuese una costa de mar. Según esto, el delta del Paraná es simplemente un conjunto de islas aluvionales.

Tampoco es delta la bifurcación del Amazonas, pues los fósiles encontrados en la isla Maroja de su desembocadura demuestran que no se trata de un origen aluvional moderno, sino de un terreno contemporáneo del resto, aislado por la bifurcación del río.

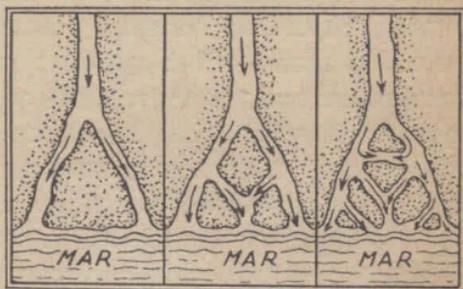


Fig. 61. — Formación de un delta, según R. Cury.

**115. SEDIMENTACION MARINA.** — Los mares no sólo ejercen trabajo destructor en las costas, sino también constructor o de sedimentación: el primer trabajo se debe principalmente a las olas y a las mareas, y el segundo a las mismas mareas y a las corrientes marinas.

Las corrientes marinas arrastran los materiales finos procedentes de los ríos y del trabajo de las olas en las costas. Cuando las corrientes van paralelas a las costas y éstas presentan entrantes, suele depositarse delante de las escotaduras gran parte de lo materiales que transportan, hasta formar una elevación del fondo del mar, que aumentando progresivamente, emerge de las aguas y constituye lo que se llama *dique*, que tiende a cerrar la porción de mar que cae por el lado de la tierra: tal es el origen de las albuferas o lagunas litorales. En los salientes de las costas se forman también bancos de arena de forma alargada, conocidos con el nombre de *espigas* o *flechas*.

Los materiales muy finos, como las arcillas, son transportados por las corrientes mar adentro, hasta encontrarse con aguas tranquilas que permitan depositarlos paulatinamente en el fondo. Este depósito forma alrededor de los continentes una faja continua de 100 a 200 kilómetros de anchura, pero que en algunos puntos, como en el Brasil, alcanza a 600 kilómetros. En los mares interiores suele este depósito cubrir por completo su fondo.

El fenómeno antes explicado hace que los continentes se hallen bordeados de dos zonas, llamadas respectivamente terrígena y pelágica. La *zona terrígena* alcanza una profundidad inferior a 1.000 metros, y se subdivide en dos subzonas: una poco profunda y la más cercana a la costa, que recibe los siguientes sedimentos: arena, gravas y arcilla; otra de profundidad comprendida entre 200 y 1.000 metros, recibe sedimentos más finos y calizos, llamados *barros*, de los cuales, unos son azules, por contener sulfato de hierro, y otros son rojos, como los de las costas del Brasil, por contener hidróxido de hierro. La *zona pelágica* corresponde a las grandes profundidades, y contiene, sobre todo, los sedimentos provenientes de la descomposición de los organismos que han vivido en aquellas profundidades.

**116. SEDIMENTOS DE ORIGEN QUIMICO.** — Proviene de la precipitación directa de las sustancias disueltas en las aguas, las principales de las cuales son: carbonatos, sulfatos y cloruros de calcio, magnesio, potasio y sodio.

a) **Sedimentos calcáreos.** — Los carbonatos de calcio y magnesio son algo, pero no muy solubles en el agua con anhídrido carbónico; de aquí que en las aguas dulces estos carbonatos sean los primeros en precipitar, constituyendo una especie de cóstra lacustre que tapiza el fondo de los lagos. En algunos manantiales se forman los llamados *oolitos* calcáreos, que son granos más o menos esféricos, en los cuales el carbonato cálcico se ha dispuesto en capas concéntricas alrededor de un cuerpo extraño como foraminífero, fragmentos de molusco o grano de arena. Se forman asimismo sedimentos calcáreos en el interior de las cavernas, pues sus aguas cargadas de bicarbonato cálcico en disolución, al rezumar por el techo y las paredes de las grutas pierden parte del anhídrido carbónico por el ligero aumento de temperatura y evaporación del agua, y entonces se precipita

arte del carbonato cálcico en estado neutro, formando estalactitas, cuando penden del techo, y estalagmitas, cuando, a manera de columnas, crecen desde el suelo hacia arriba.

b) **Sedimentos sulfatados y clorurados.** — En las formaciones geológicas existen potentes masas de sales solubles, que son objeto de activa explotación; estas sales son principalmente sulfatos de calcio (yeso), sodio, potasio y magnesio, y cloruros de sodio (sal común), potasio y magnesio. Estas masas han debido depositarse en cuencas aisladas o con difícil comunicación con el mar, pues de lo contrario no habrían conseguido la concentración necesaria para cristalizar. Estas condiciones se encuentran realizadas en los lagos y lagunas de los países desérticos tropicales y de las mesetas de clima mediterráneo, donde la evaporación es grande. Con todo, pueden haberse formado en ciertos golfos o bahías de países secos y cálidos, que no comunican más que superficialmente con el océano.

Todas las sales naturales que se extraen de las formaciones geológicas se encuentran disueltas en las aguas del mar y en las de los lagos salados. El orden de separación dependerá sencillamente de su solubilidad: las más solubles se depositarán las últimas y las menos solubles cristalizarán primero. Cuando se evapora el agua del mar de densidad 1'02 se precipita *carbonato cálcico*, al alcanzar el agua la densidad 1'05; *yeso*, cuando esta densidad es de 1'13, pero entonces se ha evaporado ya el 7 por ciento del agua; más tarde empieza a separarse *cloruro de sodio* (sal), sulfato magnésico y cloruro magnésico, y cuando la densidad es 1'31, la mayor parte del depósito es sal común; las últimas en separarse son las sales potásicas y el sulfato sódico.

c) **Fenómeno de diagénesis.** — Son las modificaciones que experimentan a veces las rocas sedimentarias por formación de nuevos minerales o por transformación de los ya existentes. Pertenecen a los fenómenos de diagénesis la *decalcificación* de las arcillas y la descomposición de las partículas carbonosas, por oxidación lenta, que decolora ciertas pizarras arcillosas y arcillas carbonosas; la *dolomitización* o sustitución del carbonato cálcico por el magnésico en las calizas magnesianas. Estas transformaciones no deben confundirse con otras más profundas que experimentan los sedimentos, al pasar a pizarras cristalinas, y se conocen con el nombre de metamorfismo.

**117. SEDIMENTOS DE ORIGEN ORGANICO.** — Son los provenientes de restos de animales y vegetales, entre los que

resaltan los carbonosos (hulla, lignito y turba), los calizos (como creta y corales), los silíceos (como el trípoli) y los fosfatados (como la fosforita y el guano).

En la actualidad es dado presenciar la formación de las turberas en los países fríos y húmedos y de los llamados barros pelágicos; estos barros provienen de la descomposición de los organismos, que han vivido en las grandes profundidades oceánicas. Estos organismos forman el plancton y, una vez muertos, caen en forma de lluvia al fondo del mar, y al descomponerse sus partes blandas dejan los esqueletos que originan sedimentos con aspecto de barro. Así, por ejemplo, está el barro de los foraminíferos (*globigerinas*), que posee un 96 por ciento de caliza; el barro de los *radiolarios*, propio del Océano Indico, y el barro de las *diatomeas* que abunda en los mares del hemisferio austral.

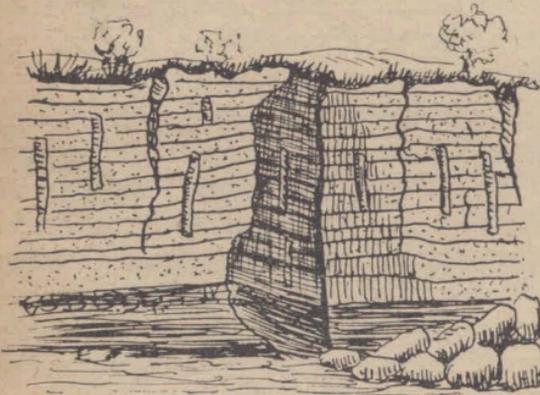


Fig. 62. — Troncos de árboles parados dentro de la arenisca de una formación antracolíptica.

**118. FORMACION DE LAS ROCAS CARBONOSAS.** — Las principales rocas carbonosas son la hulla, el lignito y la turba. Examinaremos separadamente el proceso de formación de cada una de estas rocas.

a) **Formación de las hulleras.** — Se llama

*hulleras* los depósitos de carbón mineral (antracita y hulla) que se encuentran en los terrenos primarios del período denominado permo-carbónico. Estos depósitos se deben, según se cree, a la carbonización de la madera de árboles gigantescos, especialmente cicádeas, coníferas y helechos, que tomaron grandes proporciones en el período permo-carbónico, por las circunstancias favorables que para ello reunía entonces la tierra, como era mucha humedad y gran cantidad de anhídrido carbónico en la atmósfera (fig. 62).

La conversión de la celulosa de la madera en carbón mineral se ha realizado por la pérdida de hidrógeno, oxígeno y algo de carbono, en forma de metano, anhídrido carbónico y agua.

mediante el influjo de ciertas bacterias que la hicieron fermentar, como acontece con otros productos orgánicos, especialmente azucarados. En esta acción se producirían además ácidos húmico y úlmico, que al llegar a cierta proporción obrarían como antisépticos sobre las bacterias, deteniendo el curso de la fermentación (figura 63).

La hulla se encuentra en forma de capas, ordinariamente en número considerable, separadas por terrenos de acarreo, como arena, arcilla, cantos rodados, etc. Fundándose en esta disposición de la hulla, se han emitido dos hipótesis sobre su formación. Antiguamente se creyó que los vegetales crecieron en el mismo

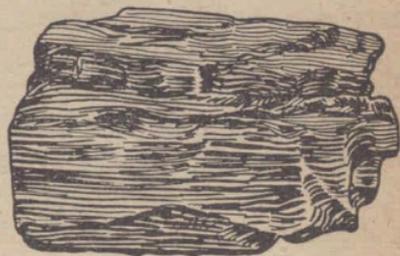


Fig. 63. — Fragmento de hulla.

sitio en que se encuentra ahora el carbón (*auctoconia*), mediante un proceso análogo al que presenta en nuestros días la turba.

Con todo, esta teoría ofrece el inconveniente de tener que admitir tantos hundimientos cuantas son las capas de carbón, y exige un número muy considerable de años para la formación de la hulla. Posteriormente se creyó que los vegetales crecieron en el continente y que después fueron arrastrados por las aguas a grandes lagos o estuarios marinos (*alotectonia*). Esta teoría se da como más probable para las cuencas carboníferas reducidas; pero para las de grande extensión se vuelve a la *auctoconia*, sólo que, en vez de suponer que los vegetales eran herbáceos, serían enormes árboles, como lo

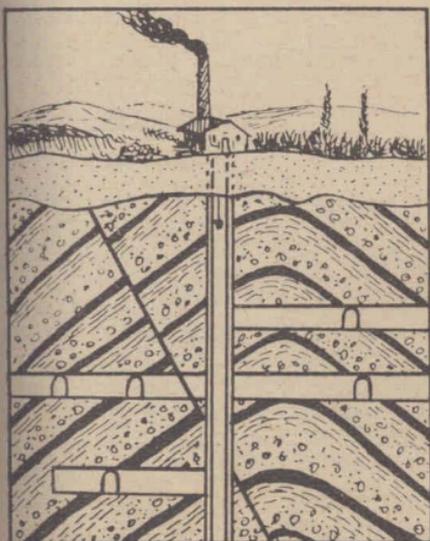


Fig. 64. — Explotación de una cuenca hullera.

demuestra el hecho de encontrarse en muchas capas de hulla grandes troncos de árboles con sus raíces en la misma posición que suelen presentar en vida. Así que, según esta teoría, la hulla

sería una especie de turba arbórea, dispuesta en capas separadas por los materiales detríticos arrastrados por las aguas continentales (fig. 64).

b) **Formación del lignito.** — El *lignito* es un carbón mineral más reciente que la hulla, que abunda sobre todo en los terrenos cretáceo y terciario. Parece que se formó de grandes bosques de coníferas, en particular de cipreses, que se desarrollaron en terrenos pantanosos y en climas templados o tropicales; las hojas de los troncos de estos árboles, al depositarse sobre el suelo, fermentarían, merced a la acción del *Micrococcus lignitum* hasta transformarse en lignito. Esta hipótesis ha sido propuesta fundándose en los dos hechos siguientes: 1.º En la actual formación, en Virginia (Estados Unidos), de un carbón muy parecido al lignito en un bosque con suelo pantanoso; 2.º el haberse encontrado las mismas especies de cipreses fósiles entre algunos lignitos de Alemania, con abundancia de microbios *Micococcus lignitum* (fig. 65).

c) **Formación de las turberas.** — Se llaman *turberas* o *turbales* los terrenos donde se encuentra el carbón llamado

*turba*. Para la formación de las turberas se necesita que los vegetales que originan la turba vayan creciendo por su parte superior, a medida que mueren sus raíces, y que estos residuos puedan fermentar a

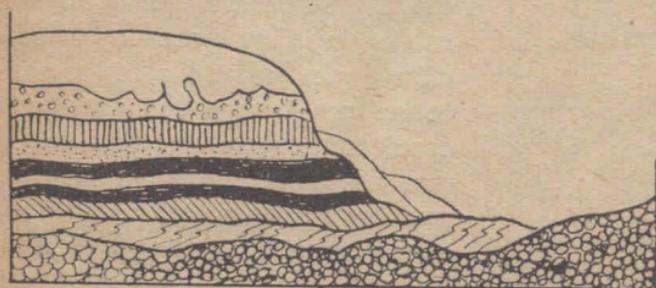


Fig. 65. — Corte esquemático de una formación lignitífera.

abrigo del aire por intervención de determinadas bacterias. Las plantas que reúnen estas condiciones son ciertos musgos del género *Sphagnum*, que sólo prosperan en agua limpia y en países cuya temperatura media oscila entre 6 y 8 grados (figs. 66 y 67)

De aquí se infiere que las turberas únicamente se desarrollarán en países fríos y húmedos y en terrenos arenosos con el subsuelo arcilloso, para que el agua, por una parte, qued

detenida y encharcada y, por otra, quede como filtrada de las sustancias que lleva en suspensión. Pero todavía hay más: esta agua debe circular con lentitud por la turbera, con objeto de que nunca quede saturada de anhídrido carbónico y ácido úlcico, que imposibilitaría la vida del *Bacillus amylobacter*, que es el determinante de la fermentación de los esfagnos.

### 119. FORMACION DE LAS ROCAS CALCAREAS. —

Varias son las rocas carbonosas de origen orgánico, o sea aquellas en cuya formación han intervenido los seres vivos, entre las que descuellan la creta y las calizas madreporicas.

a) **Formación de la creta.** — La creta es una caliza blanca, terrosa, compuesta de diminutos caparazones de foraminíferos y coraliarios y de fragmentos de conchitas y moluscos. He aquí el proceso de formación de esta roca, que puede designarse con el nombre de *ciclo calcáreo*.

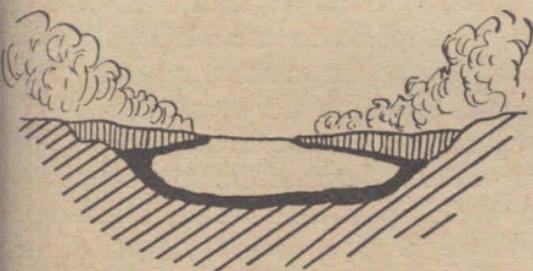


Fig. 67. — Formación de una turbera: la masa negra del fondo indica las sustancias sapropélticas.

en las aguas carbónicas. Ahora bien, las aguas contienen casi siempre algo de anhídrido carbónico; de aquí que puedan llevar en disolución algunas cantidades de carbonato cálcico. Pero los animales acuáticos, al asimilarse este carbonato cálcico, lo transforman en carbonato neutro insoluble, que a la muerte del



Fig. 66. — Esfagno productor de turba.

Muchos de los animales marinos fijan en su esqueleto, en forma insoluble, el carbonato cálcico disuelto en las aguas. Para comprender esto es de saber que el carbonato cálcico neutro es insoluble en el agua exenta de anhídrido carbónico; en cambio, es bastante soluble

animal se deposita en el fondo del mar. Los foraminíferos viven en gran número en el seno del agua, especialmente en la zona tórrida, y al morir caen, a manera de finísima lluvia al fondo del mar, con lo que se depositan formando una capa de barro blanquecino. Este fenómeno, que tiene lugar aun en nuestros días, adquirió gran desarrollo hacia el fin de la era secundaria, en el período llamado cretáceo, por abundar en él la creta.

Esta formación tiene lugar aun hoy día, como lo demuestra el hecho siguiente. En un centímetro cúbico de un fango sacado en los alrededores de la isla Nueva-Amsterdam se contaron: 5.000 foraminíferos de tamaño mayor, 200.000 de tamaño menor e igual contenido de fragmentos, 7 millones de coccolitos, 5 millones de trocitos de tierra, 150.000 restos de esponjas, 100.000 radiolarios y diatomeas y 240.000 granitos de minerales. Estas cifras dan una buena idea de lo que el microscopio es capaz de revelar en la naturaleza.

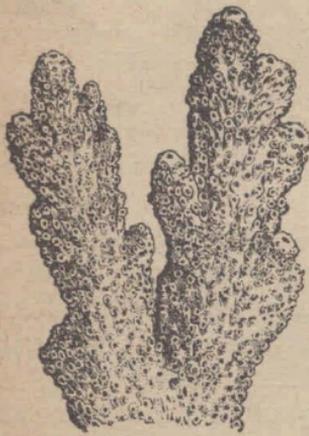


Fig. 68. — Madrépora.

#### b) Formaciones madreporicas.

Se llaman *formaciones madreporicas* de coral unas grandes masas de carbonato cálcico debidas a ciertos organismos marinos, los cuales, a pesar de su diminuto tamaño, originan en poco tiempo enormes depósitos, gracias a su gran número y pasmosa actividad.

Dos son las disposiciones que afectan estas formaciones: o bien la de faja paralelas a las costas, y entonces se llaman *arrecifes de coral*, o bien la de islas más o menos circulares en medio del océano, frecuentemente con una laguna de agua dulce en su interior,

entonces se llaman *islas madreporicas* o *atólones*. Las especies coralíferas son pólipos que viven en colonias, en aguas limpias de salinidad normal, que se hallen en continua agitación y cuya temperatura no sea inferior a 20°, y a profundidades que oscilen entre 1 y 40 metros (fig. 68).

Por todas estas condiciones se prevé que no en todos los mares podrán existir estas formaciones de coral. Por necesidad de agua limpia y salinidad normal, no se podrán desarrollar cerca de la desembocadura de los ríos de alguna importancia; po-

serles necesario el movimiento del agua, sólo podrán crecer por la parte expuesta a las olas y corrientes marinas; por el mucho calor que necesitan, solamente prosperarán en los mares de la zona tropical, y por no poder vivir a gran profundidad, requerirán un suelo rocoso no muy profundo, donde poder asentar estable-



Fig. 69. — Isla de coral en pleno Océano Pacífico.

mente la colonia. Según esta última condición, el crecimiento de altura de los corales tendría por límites el nivel del mar y la

profundidad de 40 metros; sin embargo, se encuentran formaciones de coral hasta a 300 metros sobre el nivel del mar, y otras que comienzan más allá de los 600 metros bajo el nivel de las aguas (figs. 69 y 70).

Para explicar estos hechos se admite el lento y progresivo hundimiento del fondo del mar en la región de los corales: si el trabajo de éstos es más activo que la inmersión del océano, la isla llegará a tener sus fundamentos más allá de los 40 metros, sin que los corales vivos hayan tenido que bajar nunca a aquellas profundidades; la emersión de los corales se debería, por

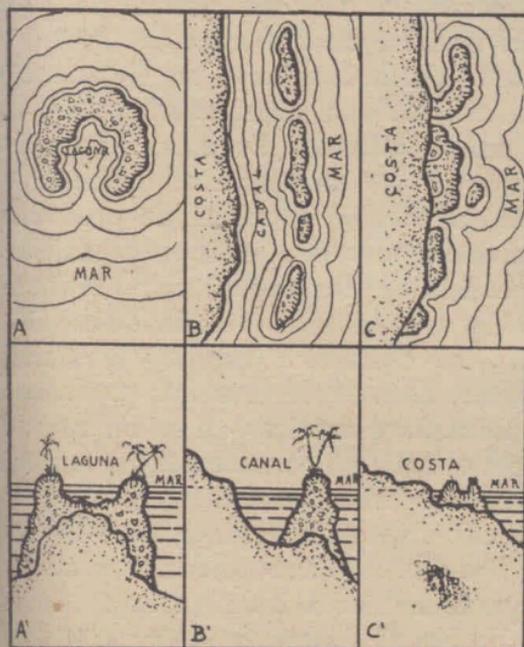


Fig. 70. — Ejemplos de atolón (A), de arrecifes barreras (B) y de arrecifes litorales (C), según R. Cury.

el contrario, al levantamiento del fondo del mar. La forma circular con una laguna en medio, que se observa en gran parte de las islas coralinas, se explica sabiendo que los corales cons-

truyeron al principio sus formaciones alrededor de islas o sobre cráteres de volcanes, y que no rellenaron la parte interior porque necesitan para vivir el embate de las olas, que sólo se deja sentir por la parte exterior.

**120. FORMACION DE LAS ROCAS SILICEAS.** — Las rocas silíceas de origen orgánico forman lo que se ha dado en llamar *trípoli*, *harina fósil* o *tierra de infusorios*. El trípoli, considerado como materia, en su estado natural, tal como sale de los yacimientos, forma una masa oscura, verdosa, gris e incluso blanca, que parece harina, de peso específico extremadamente reducido (0'24). En su estado purísimo es una masa blanca, como la nieve, en forma de polvo harinoso fino, pero áspero. El análisis demuestra que la masa principal consiste en sílice hidratada como el ópalo (de 80 a 90 por ciento).

El trípoli debe su formación a grandes masas de algas unicelulares, conocidas con el nombre de *diatomáceas*. Antes de comprobarse definitivamente su clasificación como plantas, fueron consideradas frecuentemente como animales bacilares. La sustancia viva de las diatomáceas consiste en una diminuta porción incolora de protoplasma con núcleo, envuelta en una coraza silícea, que consta de dos partes, como si fuesen una cajita y su tapa. El tamaño de las diatomáceas varía entre 5 milésimas y 4 décimas de milímetro. Dado este diminuto tamaño de las diatomáceas, se explica que en un  $\text{mm}^3$ . de trípoli de Bohemia se contasen 2500 millones de caparazones silíceos. Las formas de los caparazones varía grandemente; pues los hay circulares, multipoligonales, discoidales, lineales, rectos y curvos, hasta el punto de haberse ya descubierto 2000 especies, de las cuales unas 400 son propias de aguas dulces, y las restantes, de aguas saladas. El ácido silícico que necesitan para sus caparazones lo toman del agua dentro de la cual viven (fig. 71).

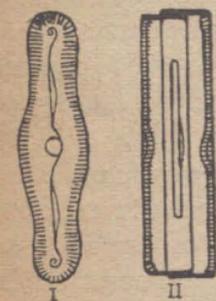


Fig. 71. — Diatomea: I, de frente; II, de perfil.

Las diatomáceas se encuentran actualmente en casi todas las aguas de la tierra, lo mismo en las dulces que en las saladas, con la particularidad que muchas especies son cosmopolitas, pues lo mismo se las encuentra en las zonas árticas que en la proximidad de los trópicos. La extensión total de barro diatomáceo

Los fondos actuales del mar se ha calculado en dos millones y medio de kilómetros cuadrados, o sea el 7 por ciento de la superficie total del mar.

La formación del trípoli se debe a que en las aguas abundantemente pobladas de diatomáceas las capas se cayeron al fondo, formando capa sobre capa, hasta constituir espesores de varios metros (excepcionalmente de hasta 100 metros). Pero ciertos yacimientos revelan que el trípoli se formó en poco tiempo, lo cual se explica por la muerte súbita de una inmensa cantidad de diatomáceas a consecuencia de influencias nocivas, como cambios de temperatura o de composición química de las aguas. Los yacimientos de trípoli conocidos y técnicamente utilizables pertenecen a la era terciaria o cuaternaria, y se depositaron casi exclusivamente en aguas dulces.

**121. FORMACION DE LAS ROCAS FOSFATADAS.** — Las principales rocas fosfatadas son dos, la fosforita y el guano.

a) **Fosforita.** — Es un fosfato cálcico muy estimado como abono, que, si no todo, al menos en parte, se atribuye a origen orgánico, según un proceso parecido al que aun hoy día se advierte en determinadas regiones. En efecto, las corrientes marinas transportan a veces plantas y animales a grandes distancias, donde se depositan y enterrados. Así, la corriente del Golfo de México transporta al mar glacial gran cantidad de troncos y ramas de árboles tropicales, aportados por los ríos, como Orinoco y Magdalena, a los mares ecuatoriales. El encuentro de la corriente cálida del Golfo con la corriente fría del polo norte hacia las costas de Terranova hace que muchos animales, sobre todo peces, sucumban en gran cantidad al pasar repentinamente de aguas cálidas a aguas frías, y sus cadáveres van al fondo a formar considerables bancos de estos animales. Ahora bien, como los esqueletos de esos animales contienen gran proporción de fosfato cálcico, de aquí que luego resulten las acumulaciones de yacimientos de compuestos fosfatados.

b) **Guano.** — Es una mezcla de fosfato cálcico, fosfato magnésico y fosfato amónico, de color blanco grisáceo, amarillo pardo, procedente de la acumulación de excrementos de aves marinas, junto con restos de los peces de que se alimentan y de las mismas aves al morir. Las formaciones de guano se presentan en varias regiones tropicales, donde por la gran sequedad

del clima se conservan con la composición indicada. La región más abundante de guano es la costa del Perú, particularmente las islas *Chinches*.

**122. NOCION DE FACIES.** — Se entiende por *facies* conjunto de caracteres petrográficos y paleontológicos de una formación sedimentaria.

a) **Importancia de la noción de facies.** — Actualmente se concede gran importancia en geología a este aspecto peculiar de los terrenos, que constituye su facies. Es que, por ejemplo, en el mar los materiales depositados en puntos alejados de los continentes ofrecen caracteres petrográficos muy diferentes a los depositados en la proximidad de los mismos. Asimismo, los animales y vegetales que en ellos viven son también distintos, pues a unos perjudican las aguas turbias y agitadas, al paso que otros viven sin dificultad en ellas. Con todo, en muchos casos es más decisiva para apreciar la edad de los terrenos la facies derivada de los caracteres paleontológicos (animales y vegetales fósiles) que los caracteres petrográficos. Por ejemplo: puede suceder que, mientras se depositaban las calizas de la provincia de Buenos Aires, al mismo tiempo se formaban las margas de San Luis y los sedimentos de gres de Córdoba; en este caso no decidirá el sincronismo, el estudio de los restos de animales y vegetales existentes en sus estratos, pues los geólogos saben perfectamente que determinados fósiles sólo se encuentran en estratos de tal edad y no de otra.

b) **Diferentes tipos de facies.** — Las facies se dividen en continentales y marinas, según que se trate de depósitos formados en el mar o en los continentes.

1. La *facies marina* se llama: 1.º *nerítica* o *litoral*, cuando la formación de los estratos ha tenido lugar en aguas poco profundas, según lo revela la naturaleza de sus rocas, formadas por margas, cretās o cantos rodados con restos de caparazones de moluscos o de corales; 2.º *batial*, cuando la formación de los estratos ha tenido lugar en aguas muy profundas, en las que abundan las arcillas y pizarras, con fósiles pertenecientes a ammonites, ceratites y nummulites.

2. Las *facies continental* se llama: 1.º *lacustre*, si los sedimentos se depositaron en algún lago tranquilo, según se d

comprende de su composición mineralógica (arenas, margas o arcillas en bancos delgados) y paleontológica (moluscos de conchas delicadas y bien conservados, que vivieron en el mismo lugar donde quedaron aprisionados); 2.º de acarreo, que puede ser debido al viento (eólico) y comprende arenas, a las aguas corrientes (aluvial) y comprende conglomerados y gravas, o a los hielos (glaciar) y comprende fragmentos de piedras que no han sido pulidas por el rodado; en esta última facies de acarreo no suelen encontrarse fósiles.

**123. FORMACION GEOLOGICA.** — Es el complejo de estratos que presenta una entidad en sentido genético y, dados los fósiles contenidos en él, también en sentido biológico.

Al hablar de una formación geológica debe tenerse en cuenta que se trata, no sólo de cierta uniformidad de caracteres geológicos, sino también de contenido paleontológico o fósiles. La identificación de las formaciones en partes distantes de la tierra se realiza principalmente por estudio de los fósiles, a base de una comparación de sus faunas y floras (figuras 72 y 73).

Ya desde los albores de los estudios geológicos se observó cierto ritmo en la deposición de los sedimentos, hasta el punto de hablarse de un ciclo de sedimentación. Este concepto se funda en la observación de que muchas formaciones marinas, que empiezan con conglomerados, pasan a sedimentos depositados en un mar más profundo y más arriba a sedimentos de carácter hemipelágico o pelágico, pudiendo ocurrir que luego el perfil pase nuevamente a depósitos más arenosos, perdiéndose finalmente en depósitos litorales y terrestres.



Fig. 73. — Discordancia y digresión.

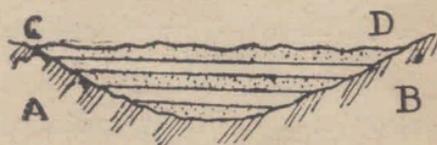


Fig. 72. — Discordancia y transgresión.

**124. — ELEMENTOS QUE DEBEN CONSIDERARSE EN LOS ESTRATOS.** — Se designan con el nombre de estratos las capas de terreno superpuestas y separadas unas de otras por superficies paralelas; los estratos se llaman también bancos. Los estratos deben su origen a la sedimentación, seguida de la consolidación. En todo estrato pueden considerarse tres elementos, a saber: la potencia, la dirección y la inclinación (figs. 74 y 75).

a) **Potencia.** — Se llama potencia o espesor de un terreno

el grosor del conjunto de sus capas o estratos: se mide por perpendicular al plano de la estratificación o de unión de los estratos, y es la longitud de esa perpendicular entre las dos superficies límites. Esta longitud, si no es muy considerable,

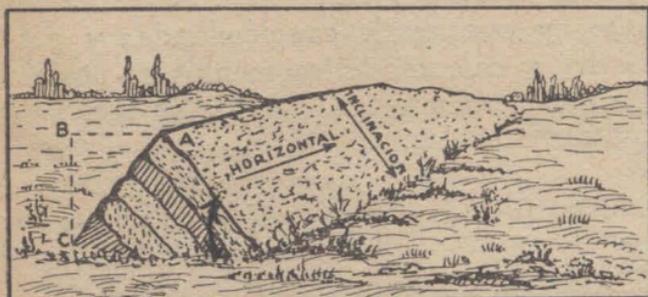


Fig. 74. — Altura (BC), dirección e inclinación de los estratos, según diseño de R. Cury.

ra por el método barométrico y la inclinación de las capas, el ángulo que forman con el horizonte, para deducir por cálculo el valor de la potencia, conforme a la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{seno de la inclinación}}{\text{altura}}$$

El espesor o potencia de cada estrato en particular es variable y depende del tiempo durante el cual se verificó la sedimentación de un modo ininterrumpido, así como de la cantidad de materiales aportados por los agentes que lo ocasionaron: por estas razones hay estratos muy delgados, al paso que otros alcanzan muchos metros de espesor.

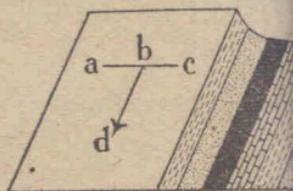


Fig. 75. — Medida de dirección y buzamiento de los estratos.

b) **Dirección.** — Se llama *dirección* o *rumbo* de los estratos la intersección del plano del estrato con el horizonte. El instrumento adecuado para determinar la dirección de los estratos es la *brújula* o *compás de los mineros*, para lo cual se coloca el instrumento paralelamente a la hori-

tal de los estratos y se lee el ángulo que hace la dirección de esta horizontal con la aguja imanada. Y así, por ejemplo, si este ángulo fuese de  $50^\circ$  a la derecha del observador puesto de frente al Norte, la dirección sería N— $50^\circ$ —E. Este valor indica que la intersección del plano del estrato con el horizonte forma un ángulo de  $50^\circ$  este con la línea norte-sur magnético. Para hallar el valor con respecto a la línea meridiana, habría que aplicarle la corrección del valor de la declinación magnética del lugar de observación (fig. 76).

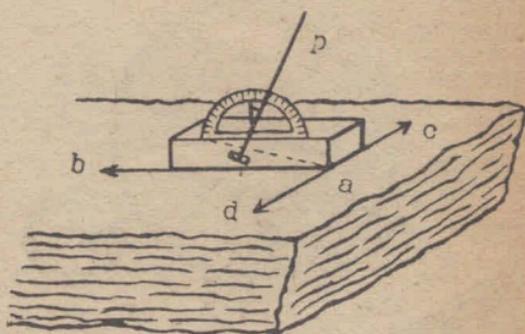


Fig. 76. — Determinación del buzamiento de un estrato.

c) **Inclinación.** — Se llama *inclinación* o buzamiento de los estratos el ángulo que forma el plano del estrato con el horizonte. Este ángulo se mide con un instrumento llamado **clinómetro** el cual

consiste en un círculo graduado, de cuyo centro cuelga una especie de péndulo, que tiende a colocarse en dirección a la vertical cuando el plano del círculo se dispone verticalmente. Para mayor exactitud el clinómetro po-

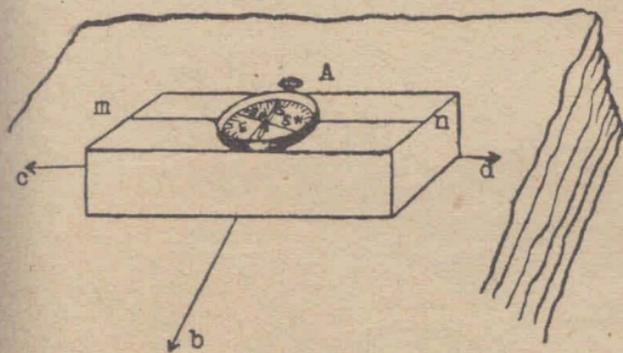


Fig. 77. — Determinación del rumbo de un estrato.

see un pie plano en un sitio tal que al hacerlo descansar horizontalmente, el péndulo señale  $0^\circ$  y  $90^\circ$  cuando se halla vertical. Colocado el pie del clinómetro sobre la superficie de estratificación, perpendicularmente a la intersección del estrato

con el horizonte, se obtiene el valor del ángulo de buzamiento (fig. 77). Es necesario colocar el clinómetro rigurosamente paralelo a la dirección de la capa, y si esto no es posible, tomar dos medidas y deducir de ellas el ángulo verdadero.

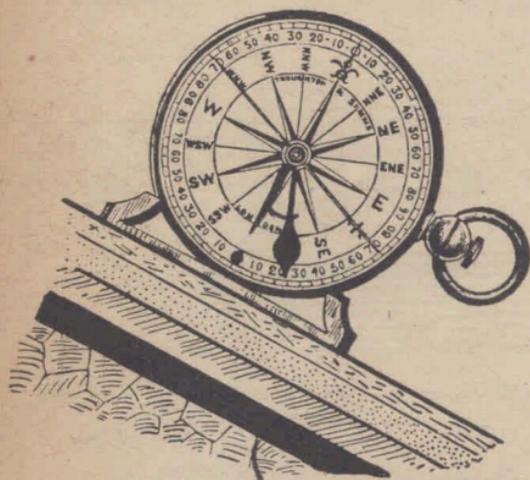


Fig. 78. — Clinómetro con brújula sobre un estrato inclinado.

En la práctica la brújula y el inclinómetro se hallan reunidos en un solo instrumento, conocido con el nombre de *brújula de geólogo*, que ofrece el aspecto de un reloj de bolsillo dividido en  $360^\circ$  y rumbos de la rosa de los vientos, con la aguja imantada para la dirección y el péndulo para la inclinación (fig. 78).

## CAPÍTULO IX

# GEOTECTONICA DE LOS TERRENOS ESTRATIFICADOS

**AMARIO:** 125. Relaciones mutuas entre los estratos. — 126. Estratificación concordante. — 127. Estratificación discordante. — 128. Hiatos o lagunas estratigráficas. — 129. Pliegues de los estratos. — 130. Diversos tipos de pliegues. — 131. Formación de los pliegues. — 132. Diaclasas: sus causas. — 133. Fallas o paraclasas. — 134. Diversos tipos de fallas. — 135. Terrenos y su caracterización.

**125. RELACIONES MUTUAS ENTRE LOS ESTRATOS.** — Los estratos, próximos y superpuestos, difieren unos de otros, no sólo por la naturaleza de sus materiales constitutivos, sino también frecuentemente por la distinta posición relativa o buzamiento. Examinemos primero cómo pueden diversificarse los estratos por sus materiales constitutivos y luego por su distinta posición relativa.

a) **Diversificación de los estratos por sus materiales constitutivos.** — Es frecuente encontrar series de estratos que empiezan por conglomerados, sobre los cuales descansan areniscas, que a su vez soportan arcillas cubiertas por un fino calizo. Esto indica que el régimen hidrográfico del río o lago, o si era mar, la proximidad a la costa y la profundidad del mismo, variaron profundamente mientras se formó la serie. Es que, al principio, corrientes impetuosas arrastraron hasta aquel lugar gruesos bloques y grandes guijarros; más tarde, por disminución de la velocidad del agua, o por haberse alejado de la costa, no llegaron a él más que arenas; posteriormente arcillas, que pudieron mantenerse más tiempo en suspensión, hasta que la tranquilidad de las aguas, costeras o marinas, hizo que dejaran de acudir limos, y que por evaporación de agua en los lagos y por acción de los animales en el mar se formaran las capas calizas que coronan toda la formación.

En muchas ocasiones es dado encontrar interpuestos materiales gruesos

entre otros finos, o sea alternancias de conglomerados y areniscas, de arcillas y arcillas, etc.; esto indica cambios en las condiciones de sedimentación que para los más finos será el periodo de calma y para los conglomerados de grandes corrientes o de régimen litoral (marino o lacustre). Cuando una serie se suceden regularmente varias veces los mismos grupos de estratos por ejemplo, conglomerados, areniscas, arcillas, margas y calizas, se puede dar por cierto que hubo condiciones idénticas de sedimentación, y si los materiales que forman los estratos son de igual procedencia, esto indica tampoco varió la dirección de las corrientes alimentadoras de la cuenca, por lo que habría habido variación en la red hidrográfica por capturas o por haberse desviado algún río o torrente.

b) **Diversificación de los estratos por su distinta posición.** — Al producirse los estratos quedaron, por regla general, horizontales; pero después, efecto de los movimientos del terreno, se han inclinado y replegado, haciendo que los estratos formados después del movimiento no guarden paralelismo con los formados con anterioridad al mismo. De aquí provienen las diversas modalidades en las relaciones mutuas entre los estratos, conocidas con los nombres de concordancia, discordancia y estratificación cruzada.

**126. ESTRATIFICACION CONCORDANTE.** — Se llama *estratificación* la manera como están colocados los estratos y sus relaciones que guardan entre sí. La estratificación se llama *concordante* o *hacia y concordante* en la estratificación cuando los estratos superpuestos están o no plegados.

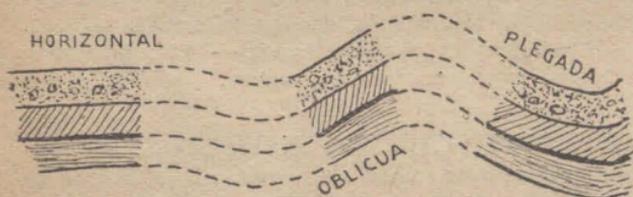


Fig. 79. — Estratificación concordante.

paralelos entre sí, o sea que tienen la misma inclinación y dirección. Según esto, los estratos concordantes pueden ser entre horizontales, oblicuos o plegados (fig. 79).

a) **Condiciones bajo las cuales se forma la estratificación concordante.** — La estratificación concordante es la más común y a veces cubre grandes extensiones del suelo; en este caso las capas tienen gran potencia y corresponden por entero a una serie sucesiva de formaciones. En la inmensa mayoría de los casos la concordancia es prueba de que la sedimentación se efectuó continua y tranquilamente. Cuando tal continuidad ocurre suelen estar representados en armónico desarrollo todos los

minos de las subdivisiones, sin que por lo menos en su origen haya habido pausas eliminatorias de alguna de las series geológicas (fig. 80).

Con todo, sucede a veces que sistemas perfectamente concordantes tienen discontinuidad en la sucesión de los términos que faltan y dejan gran vacío en la serie, pero que se hallan muy bien desarrollados en otro lugar. Esto supone que la superficie libre del estrato donde comenzaron a faltar los otros permaneció sin perturbación y en condiciones inadecuadas para la recepción de nuevos materiales; lo cual sólo pudo ser permaneciendo dicha capa en aguas de escasa sedimentación o emergiendo como tierra firme, para hundirse nuevamente al finalizar aquel período.

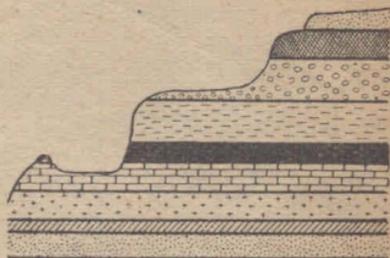


Fig. 80. — Estratificación concordante.

b) **Estratificación cruzada.** —

Suele incluirse en la estratificación concordante la *estratificación cruzada*, llamada también *falsa estratificación*, la cual consiste en series o grupos de estratos paralelos entre sí, formando ángulo con otros, y todos ellos inclinados en diferentes direcciones con relación a la estratificación general, dando al conjunto tal confusión que a veces se hace imperceptible la estratificación general. Esta curiosa estratificación se produce siempre en la sedimentación rápida de carácter torrencial, y también por cambios frecuentes en la dirección e intensidad de las corrientes en los deltas y en los bordes de los lagos (fig. 81).

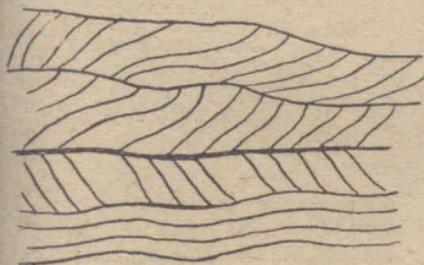


Fig. 81. — Estratificación cruzada.

**127. ESTRATIFICACION DISCORDANTE.** — La *estratificación* se dice *discordante* o que hay discordancia en la estratificación cuando los estratos no corresponden los unos a los otros en toda su extensión. La discordancia puede ser simple o angular.

a) **Discordancia simple.** — La *discordancia simple* tiene lugar cuando las dos series de estratos se han depositado horizontalmente, pero se ha producido una denudación más o menos importante sobre la serie inferior, antes de verificarse el depósito de la serie superior. Este caso tiene lugar, si después de la primera estratificación hubo un levantamiento del terreno que



Fig. 82. — Ejemplos de discordancia simple (izquierda) y de discordancia angular (derecha).

facilitó la erosión de una parte de la misma y luego un hundimiento en forma de cuenca, que fué rellenada por otra serie de capas sin inclinación perceptible con respecto a las subadyacentes (figura 82).

b) **Discordancia angular.** — La *discordancia angular* tiene lugar cuando las capas superiores no presentan la misma inclinación que las inferiores. Cuando esto ocurre es indudable que, desde la formación de las capas más antiguas a las más modernas, transcurrió un largo período de inactividad sedimentaria, tan dilatado que pudieron actuar en grandes proporciones las fuerzas de plegamiento y demás causas de perturbación y los lentos procesos erosivos de las aguas continentales o marinas. La estratificación discordante puede, a su vez, ser transgresiva y regresiva (fig. 83).

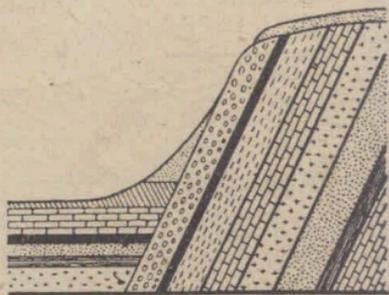


Fig. 83. — Estratificación discordante.

c) **Estratificación transgresiva.** — Es la que tiene lugar cuando los estratos más recientes montan o como se desbordan sobre los más antiguos o inferiores. Esta manera de estratificación supone un descenso de la tierra firme, lo que permitió que las aguas invadieran nuevas extensiones del suelo y que se depositaran sobre éste los mismos materiales constitutivos de aquellos

estratos, que en el nuevo régimen abarcan mayor área (fig. 84).

Como el movimiento de descenso que origina la transgresión suele ser muy lento, las nuevas capas difieren poco de las antiguas, en cuanto a su inclinación, y con dificultad se advierte su condición transgresiva en los afloramientos de pequeña extensión, y sólo puede descubrirse midiendo cuidadosamente los buzamientos de un gran espacio de suelo y examinando la disposición alcanzada por los diferentes sedimentos. La estratificación transgresiva tiene grande importancia práctica cuando se trata de buscar minerales en un estrato y de determinar la extensión geográfica del mismo, como también en la búsqueda de agua, en el caso de ser acuífero uno de los niveles transgresivos.

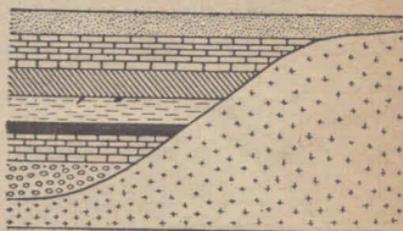


Fig. 84. — Sedimentación transgresiva.

#### d) Estratificación regresiva.

— Es la que tiene lugar cuando los estratos más recientes o superpuestos se apoyan o mueren en los bordes de los más antiguos. Esta manera de estratificación se debe a que, mientras se efectuaba, el mar se retiró, y en consecuencia la parte emergida no recibió nuevos sedimentos; de esta suerte las capas formadas posteriormente no descansan en toda su extensión sobre las anteriores, por ser menor la superficie de sedimentación (fig. 85).

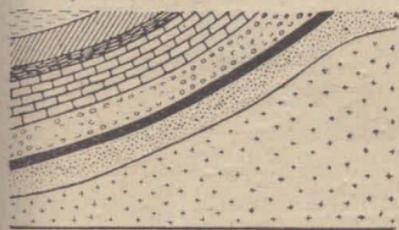


Fig. 85. — Sedimentación regresiva.

### 128. HIATOS O LAGUNAS ESTRATIGRAFICAS.

— *Hiato* (del latín *hyatus*, abertura) o *laguna estratigráfica* es la falta de uno o varios términos en una serie de estratos. Esto supone, excepto en casos muy raros, un período de emersión entre dos de sedimentación. Supongamos una formación compuesta de los términos 1 al 10, que en otra región contiene tan sólo los términos 1 al 3 y 7 al 10; esto significa que el mar abandonó esta región después de depositarse el término 3 y que volvió a recubrirla en transgresión cuando empezó a formar el término 7.

Supongamos una formación compuesta de los términos 1 al 10, que en otra región contiene tan sólo los términos 1 al 3 y 7 al 10; esto significa que el mar abandonó esta región después de depositarse el término 3 y que volvió a recubrirla en transgresión cuando empezó a formar el término 7.

Siempre que falten algunos términos de una serie a todas luces concordante, que se ha desarrollado potente en otros lugares, incluso como formación completa, debe considerarse en rigor como una discordancia disimulada. Con todo, no suele estar tan oculta que, en algunos parajes de la estratificación, no se adviertan ciertas discordancias; por ejemplo, al observar capas más jóvenes descansando en excavaciones producidas por la denudación de las más antiguas, o porque las depositadas primero se hallan en algunos sitios alteradas por pliegues y fallas y hay notable diferencia en la inclinación de uno y otro sistema, separado por el salto o hiato de la serie. La Argentina presenta hiatos, por ejemplo, en su formación pampeana, tales como el postbonaerense y el chapadmalense entre las formaciones chapadmalense y ensenadense.

La existencia de hiatos o lagunas estratigráficas corresponde a una fase de elevación, comprendida entre dos períodos de invasión marina. Dicha fase se traduce estratigráficamente por una discordancia angular entre las dos series de rocas o depósitos marinos. Antes de invadir el mar un territorio, éste se ve sometido a los agentes de la dinámica externa, y, por lo tanto, en lugar de formarse rocas, se destruyen las ya constituídas. Pero una vez que el mar recubre el territorio, la denudación cesa y es reemplazada por una fase de sedimentación, es decir de formación de nuevos materiales, que darán origen a capas o lechos horizontales, que formarán con los anteriores un cierto ángulo o discordancia angular, si aquéllos han sufrido un movimiento que los desvió de su primitiva posición horizontal.

**129. PLIEGUES DE LOS ESTRATOS.** — Son las ondulaciones que presentan a veces los estratos, por efecto de impulsos laterales, o, como se dice más científicamente, empujes tangenciales, que han sufrido.

Todo pliegue se halla formado de una parte convexa llamada *anticlinal*, desde la cual divergen las inclinaciones de los estratos a uno y otro lado, y de una parte cóncava, llamada *sinclinal*, porque hacia ella convergen las inclinaciones de uno y otro lado. Los lados del anticlinal y sinclinal se llaman *costados* o *flancos*, así como las partes encorvadas o acodadas se llaman *charnelas* (figs. 86 y 87).

Generalmente se entiende por pliegue el conjunto de un anticlinal y un sinclinal contiguos; la línea en la cual se reúnen

Las partes más altas de un pliegue se denomina *eje del anticlinal*, la línea en la que se reúnen las partes más profundas del arco o depresión se denomina *eje del sinclinal* (fig. 88).

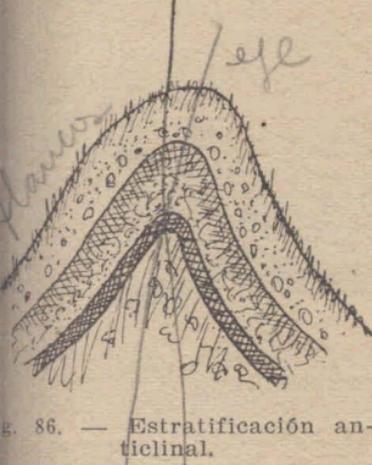


Fig. 86. — Estratificación anticlinal.

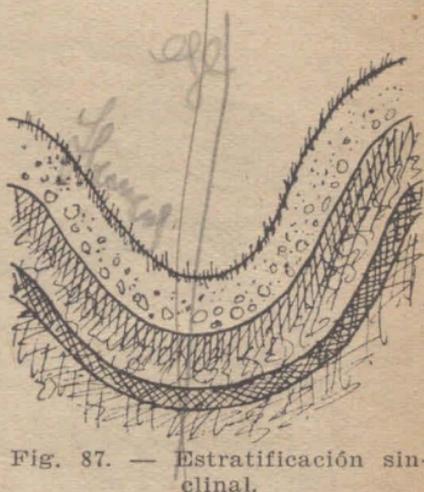


Fig. 87. — Estratificación sinclinal.

No debe creerse que los anticlinales coincidan siempre con elevaciones del terreno y los sinclinales con depresiones o valles, pues aun cuando al tiempo de formarse el anticlinal fuese así, las elevaciones anticlinales, expuestas a la denudación, pueden haber desaparecido y llegar a coincidir con un valle. Por tanto, debe procurarse no identificar las estructuras geológicas (*anticlinales y sinclinales*), con las estructuras topográficas (montañas y valles) (fig. 89).

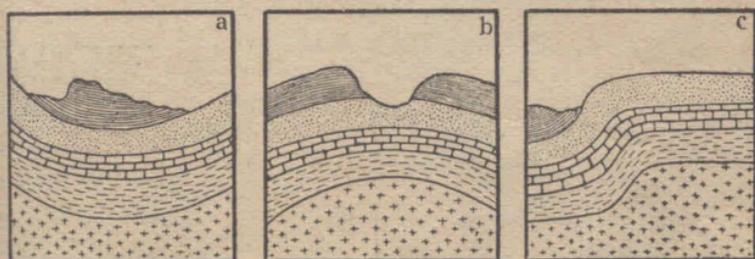


Fig. 88. — Estratos plegados: a, pliegue sinclinal; b, pliegue anticlinal; c, pliegue monoclin.

130. — **DIVERSOS TIPOS DE PLIEGUES.** — Los pliegues pueden presentar multitud de variantes, entre las que me-

recen señalarse los pliegues: normal, derecho, inclinado, invertido, acostado, isoclinal y en abanico conforme a las siguientes descripciones de A. Peyloubet.

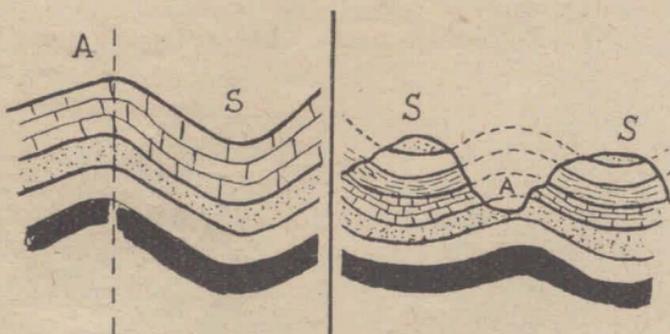


Fig. 89. — Pliegues sin denudación (izquierda) y con denudación (derecha).

1. *Pliegue normal* es el que posee el mismo espesor en sus dos flancos. - 2. *Pliegue derecho o simétrico* es aquel cuyo plano axial es vertical y los dos flancos forman con el horizonte ángulos iguales. - 3. *Pliegue inclinado o asimétrico* es aquel cuyo plano axial no es vertical y los ángulos formados por los flancos con el horizonte no son iguales. - 4. *Pliegue invertido* es el que tiene uno de los flancos ligeramente invertido, o sea que se ha pasado al lado opuesto de la vertical (fig. 90). - 5. *Pliegue acostado o tumbado* es aquel cuyos dos flancos tienden a hacerlos horizontales (fig. 91). - 6. *Pliegue isoclinal* es el que presenta los dos flancos paralelos entre sí. - 7. *Pliegue en abanico* es aquel cuyos flancos forman un ángulo hacia arriba y hacia abajo estrangulando el núcleo central (fig. 92).

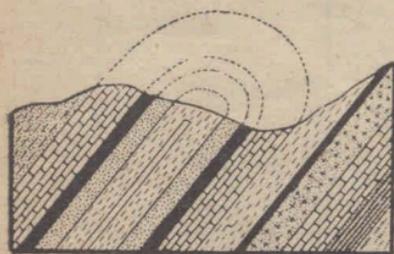


Fig. 90. — Estratos invertidos por un plegamiento.

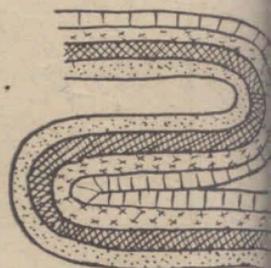


Fig. 91. — Pliegue tumbado.

**131. FORMACION DE LOS PLIEGUES.** — Desde los albores de la geología se ha tratado de explicar la formación de los pliegues, llegando

cluso a practicar diversas experiencias para demostrar el respectivo punto de vista.

a) **Experiencias para explicar el plegamiento de los estratos.** — 1. Favre quiso estudiar el influjo de la contracción en la forma que adoptan las capas del terreno, para lo cual apiló en una caja láminas de caucho previamente estiradas, que llevaban adheridas capas de arcilla gredosa. Pues bien, la superficie tomó en este caso formas parecidas a las que se observan en las estratificaciones invertidas. Estas experiencias tendían a comprobar si realmente los plegamientos eran debidos a la disminución del volumen del núcleo terrestre, al cual tendería a amolarse la corteza y, por tanto, al perder tamaño se plegaría o arrugaría, como un fruto al secarse. Pero generalmente es hoy desechada esta hipótesis, pues teniendo en cuenta el tamaño que debería tener la tierra, si todos los materiales plegados se estirasen, sería mucho mayor del que se deduce por el cálculo.



Fig. 92. — Pliegue en abanico.

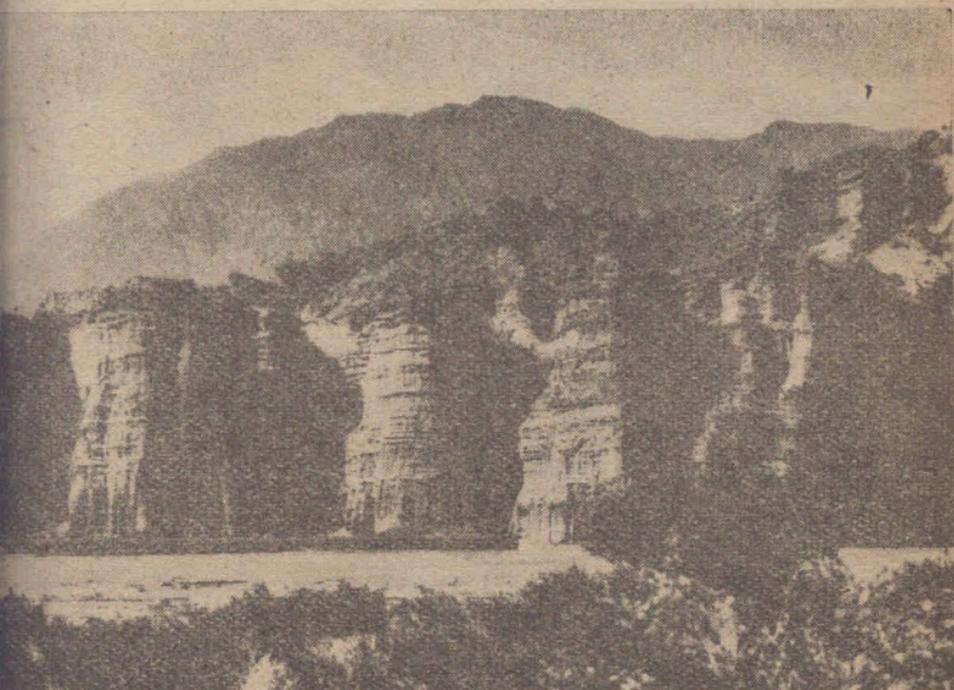


Fig. 93. — Estratificación casi horizontal en Quebrada Las Conchas (Salta).

2. El geólogo Daubré quiso demostrar que los pliegues de los terrenos eran debidos a presiones laterales, para lo cual colocó diversas láminas de

plomo dispuestas horizontalmente y de manera que por un tornillo se las pudiese empujar. Las que tenían igual espesor en todos sus puntos producían pliegues rectos; si en alguna parte las láminas eran más delgadas, allí los pliegues se inclinaban, lo que a su vez demostraba que para una misma fuerza, el plegamiento puede ser más o menos pronunciado, según la resistencia de la roca (figs. 93 y 94).



Fig. 94. — Estratos fuertemente plegados en la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires (Foto Kohlmann).

Por su parte, Hall pretendió demostrar que en los plegamientos de la tierra tuvieron influencia no sólo las fuerzas laterales, sino también la presión vertical. A este fin apiló en una caja trozos de tela de diversas materias, como lana, algodón, etc., y las comprimió lateralmente, después de haberles cargado un peso en su superficie. Con esto se formaron plegamientos ondulados, idénticos a muchos de los que se observan en las capas profundas de la tierra.

*b) Teoría de los geosinclinales.* — Se debe a Haug y fué sugerida a la vista del enorme espesor de algunas series de estratos que con facies semejante llegan a alcanzar en algunas regiones montañosas más de 10.000 metros, lo cual indica que durante mucho tiempo la sedimentación se verificó en condiciones análogas, pues de haber variado éstas habría cambiado también la facies de los estratos. Ahora bien, estos enormes depósitos de materiales no pueden explicarse por una sedimentación en las condiciones ordinarias, ya que, por muy profundo que supusiésemos el mar en que se realizaba, llegaría a llenarse de sedimentos, y éstos tomarían al fin carácter

nerítico o de aguas poco profundas, contra lo que enseña la observación. Por esto, Haug supone que en los mares existen grandes y largas depresiones o fosas en vías de hundimiento, comprendidas entre dos macizos más resistentes. Estas largas y profundas depresiones o cubetas oceánicas han sido designadas con el nombre de *geosinclinales*, para distinguirlas de los simples *sinclinales*, que son menos extensas, y en ellas es en donde se van formando gradualmente esos enormes estratos a medida que se va hundiendo su fondo (figs. 95, 96 y 97).

Pero todavía hay más. A medida que esto ocurre, los sedimentos primeramente formados van entrando en zonas cuya temperatura es cada vez más elevada, en virtud del llamado grado geotérmico. Una acumulación de sedimentos de 1000 metros de espesor, al hundirse otros tantos metros, ac-

creará una elevación de temperatura del antiguo fondo de unos  $30^{\circ}$ , y como con frecuencia las acumulaciones alcanzan 10.000 metros, puede haber *sinclinales* cuyos primeros sedimentos formados sean así llevados gradualmente a una temperatura de  $300^{\circ}$ .

Todo *geosinclinal* presenta de ordinario forma alargada, y como consti-

tuye un punto débil que no puede deprimirse indefinidamente, llega un instante en que, por la contracción de la corteza terrestre o por otras causas, los bordes tienden a acercarse, como las mandíbulas de una morsa; lo cual hace surgir una cadena de montañas en el mismo sitio donde antes había un cubeta.

Según esta explicación, los *geosinclinales* no se forman por el peso de los sedimentos, sino más bien por las fuertes compresiones laterales.

c) **Teoría del equilibrio isostático.** — Además del enfriamiento de la tierra y la consiguiente disminución de su radio, algunos geólogos creen que también es causa del impulso tangencial el fenómeno de la *isostasia* o tendencia al equilibrio. En efecto, las acciones geodinámicas externas tienden a nivelar las partes salientes o montañosas y a rellenar los fondos marinos rompiendo así el equilibrio isostático. Pero la tendencia al equilibrio hace que masas submarinas sean añadidas a los continentes, formando pliegues montañosos, lo cual se concibe puede tener lugar desde el momento en que se

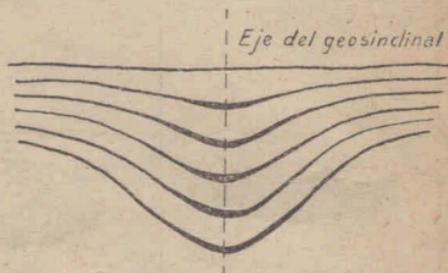


Fig. 95. — Esquema de un geosinclinal.



Fig. 96. — Proceso de la formación de un geosinclinal, según Staub.

admite la envoltura superficial de tierra o *sial* flotando sobre otra más densa, llamada *simá* (figs. 98, 99 y 100).

Según esto, los fenómenos de plegamiento de los estratos serían pa-

recidos a los que se observan en las grandes masas de hielos flotantes, que a chocar entre sí se pliegan y retuercen por efecto de las enormes presiones, hasta formar pliegues muy semejantes, aunque menores, a los observados en los estratos rocosos constitutivos de la corteza terrestre (figs. 101 y 102).

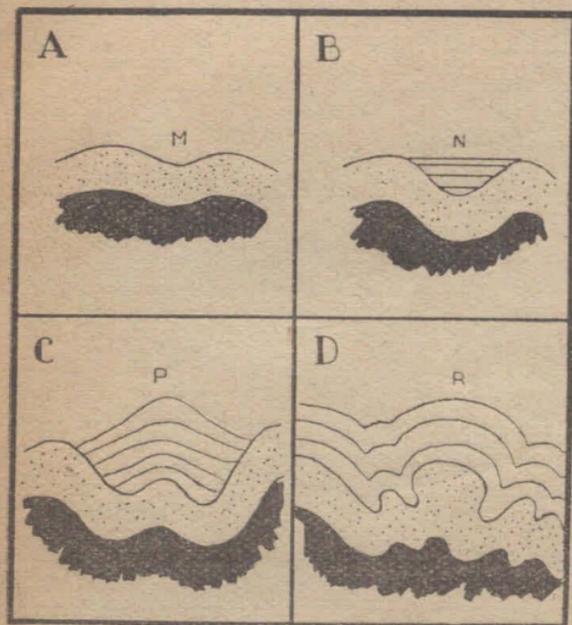


Fig. 97. — Proceso de la formación de un geosinclinal.

### 132. DIACLASAS; SUS CAUSAS. —

Se llaman *diaclasas* las simples hendiduras en las capas de terreno sin desplazamiento. Son frequentísimas en las rocas, así estratificadas como en masa; pero muchas veces no se manifiestan al extraer la roca o al quedar ésta descubierta, sino que es menester exponerla a los agentes atmosféricos o golpearla. Las

diaclasas se observan, sobre todo, en las canteras, y su previo conocimiento es de gran interés práctico para facilitar la extracción de las rocas. Las diaclasas se disponen frecuentemente, según las direcciones determinadas por tres planos normales entre sí, que hacen que las rocas se cuarteen y, al separarse los fragmentos, tomen formas más o menos paralelepédicas (fig. 103).

Las diaclasas se deben a muy diversas causas. En las rocas estratificadas pueden provenir de los cambios en la naturaleza del sedimento; otras veces la formación de diaclasas es independiente de la sedimentación, y así se las ve en toda clase de rocas; estas diaclasas se producen por contracción de la misma roca, debida al enfriamiento en las eruptivas o a la desecación de las sedimentarias, por presiones energéticas, por torsiones, etc.

Daubrè demostró la formación de las diaclasas por presión y torsión

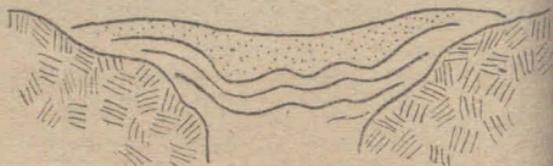


Fig. 98. — Esquema de los elementos de un geosinclinal en el concepto corriente.

valiéndose de los siguientes experimentos. Sometió un bloque de cera fría a la acción de la prensa hidráulica, y obtuvo diaclasas en ángulo recto y otras irregulares parecidas a las de los mármoles veteados. También sometió a ligera torsión láminas de vidrio o de hielo, y obtuvo en las láminas dos sistemas de grietas conjugadas.

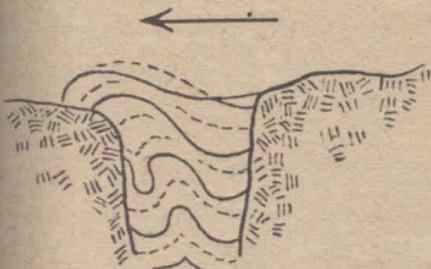


Fig. 99. — Esquema de la formación de los plegamientos, según la teoría de la contracción lenta.

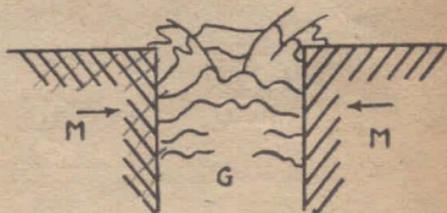


Fig. 100. — Esquema del plegamiento de un geosinclinal (G) en medio de dos macizos (M, M), que actúan como las mandíbulas de una morsa.

**133. FALLAS O PARACLASAS.** — Dase el nombre de *falla* o *paraclasa* a la coincidencia en un mismo nivel de dos o más estratos de diferente edad. Las fallas se deben a la rotura de los estratos de la corteza terrestre, producida, ya por acciones subterráneas, ya por levantamientos o hundimientos que determinan el deslizamiento de unas capas sobre otras y las hacen discordantes entre sí. Según esto, las fallas o paraclasas se deben a

dislocaciones producidas por movimientos verticales del suelo, al paso que las diaclasas resultan más bien de la torsión de las capas por efecto de movimientos tangenciales.

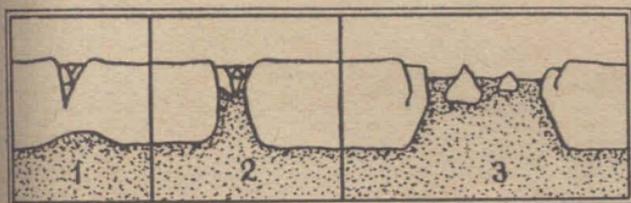


Fig. 101. — Formación de fosas tectónicas continentales por la disyunción de masas.

a) **Elementos de las fallas.** — En toda falla pueden considerarse los siguientes elementos: plano de falla, línea de falla, labios de falla y salto de falla (figs. 104 y 105).

1. *Plano de falla* es la superficie según la cual se ha producido la rotura y el resbalamiento de las dos partes resultantes; es frecuente que las superficies de las rocas de este plano se pu-

limenten y abrillanten por efecto del frote, y entonces se denominan *espejos de falla*. - 2. *Labios de falla* son los bordes superiores de las dos superficies separadas, uno de los cuales forma el labio levantado y el otro el labio hundido. - 3. *Línea de falla* es la intersección del plano de falla con la superficie del suelo. - 4. *Salto de falla* es el desnivel existente entre los estratos primeramente unidos y luego corridos por la rotura, que en ocasiones puede llegar a centenares de metros; el salto de falla se aprecia por la distancia entre los dos labios de la falla.

b) **Las fallas en la superficie del terreno.** — En la superficie del terreno las fallas se señalan en ocasiones por una ruptura de pendiente, como es el caso de las cataratas. Pero, por lo general, el accidente en la superficie pasa desapercibido, pues el escarpe producido al principio es luego suavizado por los agentes de la dinámica externa, hasta desaparecer totalmente con el tiempo. Si el

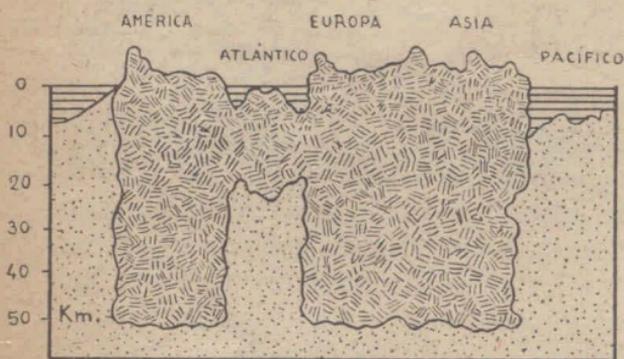


Fig. 102. — Relación entre el **sial** (bloques centrales) y el **sima** (masa punteada).

plano de falla es vertical, la intersección de dicho plano con la superficie topográfica suele ser una línea recta; no así cuando el plano de falla no es vertical, pues en este caso su intersección con la superficie topográfica suele dar origen a una línea curva complicada. Si la dirección de la falla es la misma que la de las capas y los plegamientos, se tiene el caso de una *falla longitudinal*, y, si por el contrario, corta más o menos oblicuamente a dichos accidentes, se origina una *falla diagonal*, pudiendo llegar a ser *transversa* en el caso de cortar a las capas y pliegues normalmente.

c) **Importancia del estudio de las fallas.** — Es del más alto interés para el geólogo e ingeniero el conocimiento de las fallas, pues por estar formadas de terrenos desagregados y

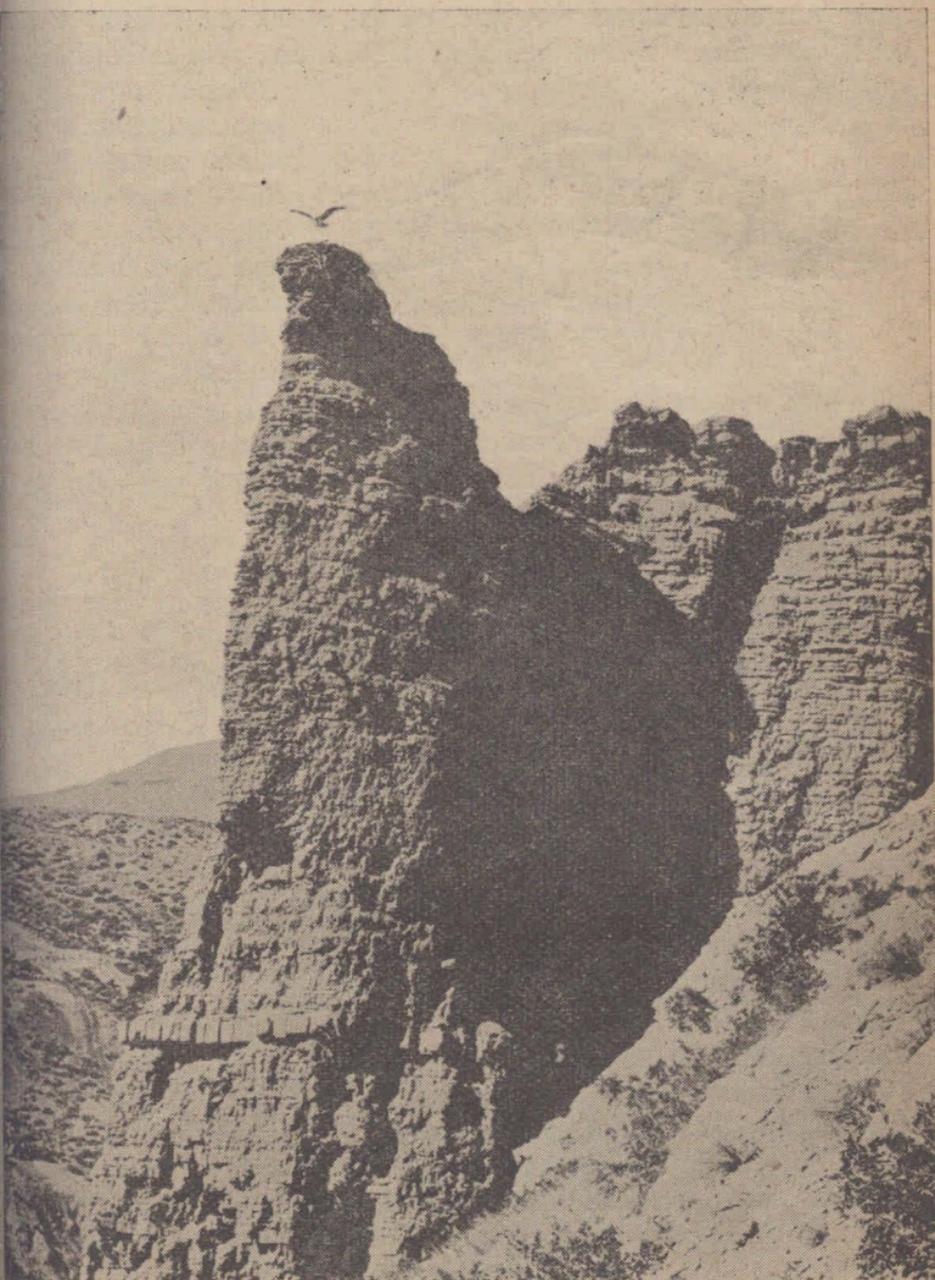


Fig. 103. — Imponentes moles de rocas estratificadas en el gran cañón del Colorado (Estados Unidos).

permeables, dificultan los trabajos de perforación o embalse de aguas, por la facilidad con que, en los sitios de fallas, se producen derrumbes e inundaciones. Fuera de esto, en las explotaciones mineras, la presencia de fallas suele cortar en seco los venenos de minerales aprovechables. Por esto, cuando se trata de túneles bajo las aguas, debe comenzarse por el estudio de las fallas, como ha sucedido con los proyectos de túneles en el Canal de la Mancha entre Francia e Inglaterra, del Estrecho de Gibraltar entre España y Africa y del Río de la Plata entre Buenos Aires y Colonia.



Fig. 104. — Plegamiento acompañado de fractura.

taciones mineras, la presencia de fallas suele cortar en seco los venenos de minerales aprovechables. Por esto, cuando se trata de túneles bajo las aguas, debe comenzarse por el estudio de las fallas, como ha sucedido con los proyectos de túneles en el Canal de la Mancha entre Francia e Inglaterra, del Estrecho de Gibraltar entre España y Africa y del Río de la Plata entre Buenos Aires y Colonia.

### 134. DIVERSOS TIPOS DE FALLAS.

— Las fallas pueden presentarse aisladas o formando agrupamientos. Estudiaremos primero los tipos de fallas aisladas, y luego las especies de fallas en agrupamientos.

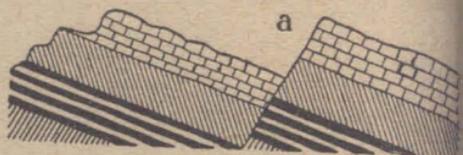


Fig. 105. — Falla: a, plano de falla.

a) **Fallas aisladas.** — Entre las fallas aisladas cabe señalar los tipos siguientes: vertical, oblicua, conforme, inversa, longitudinal y transversal.

1. *Falla vertical* es la que tiene el plano de falla en posición vertical (fig. 106). - 2. *Falla oblicua* es la que tiene el plano de falla en posición inclinada, llamándose en este caso *normal* (fig. 107), cuando el plano está inclinado de tal manera que el labio hundido reposa sobre el no hundido; al parecer, el labio hundido debe haberse deslizado sobre el plano de falla por efecto de la gravedad, y como éste es el caso más frecuente, de aquí que se llamen normales las fallas en que esto tiene lugar. La falla oblicua se llama *invertida* cuando el labio hundido aparece colocado debajo del no hundido, apoyándose éste sobre aquél. - 3. *Falla conforme* es aquella cuyo plano está inclinado en el sentido hacia donde buzan las capas de terreno.

4. *Falla inversa* es aquella cuyo plano buza en sentido contrario al de los estratos (fig. 108). - 5. *Falla longitudinal* es aquella cuyo plano coincide con la dirección de las capas y los plegamientos. - 6. *Falla diagonal* es aquella cuyo plano corta más o menos oblicuamente las capas y los plegamientos, pudiendo llegar a ser *transversa* en el caso de cortar las capas y pliegues normalmente.

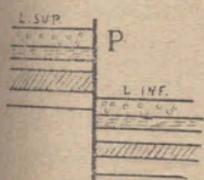


Fig. 106  
Falla vertical.

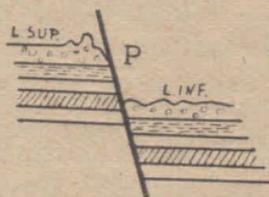


Fig. 107. — Falla normal.

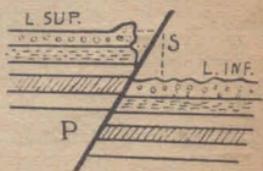


Fig. 108. — Falla inversa.

b) **Fallas en agrupamiento.** — Con frecuencia las fallas no se presentan como accidentes aislados, sino reunidas varias de ellas en dirección sensiblemente paralela, lo cual da lugar a las siguientes variantes: fallas en escalera, fosa tectónica, horst y geoclasa.

1. *Fallas en escalera* son las que producen ascensos y descensos, como una escalinata, haciendo que una región descienda con respecto a otra en saltos sucesivos. Con todo, en ciertos casos el descenso no es continuo, por existir entre dos fallas consecutivas un espacio de terreno elevado sobre los contiguos, y cuando esto sucede la falla se llama de *escalones compensados*.

2. *Fosa tectónica* es una larga zona deprimida, situada entre dos series de fallas en escalera. Un ejemplo típico de fosa tectónica lo proporciona el valle del Rin en Alemania, hundido entre dos macizos, que son la Selva Negra, hacia la derecha, y la cadena de los Vosgos, hacia la izquierda.

Una variante de fosa tectónica es la llamada *cupeta tectónica*, que es simplemente una verdadera fosa tectónica no alargada, sino de forma más o menos circular.

3. *Horst* o *pilar* es una extensa zona de estratos hundidos, o zona de resistencia comprendida entre dos zonas hundidas, por efecto de fallas en escalera, que van en sentido inverso a uno y otro lado del *horst*. Ejemplo típico de este accidente nos lo ofrece la montaña del Sinaí, en Arabia, verdadero pilar de resis-

tencia, situado entre las dos fosas que forman el Golfo de Suez y el de Akaba. Pero todavía el ejemplo más grandioso de *horst* es sin duda el continente africano, de gran elevación en sus zonas centrales, que descienden hasta cerca de los mares, y ya cerca de las costas mediante escalones producidos por fallas, que salvan los ríos con cataratas o rápidos y dificultan la penetración comercial de ese gran territorio.

c) **Geoclasas.** — Son roturas y desplazamientos extraordinarios de terrenos, continuados por la superficie terrestre por espacio de centenares de kilómetros. Tal es la gran rotura que comienza en los lagos de África, se continúa por Abisinia y el Mar Rojo y termina al norte de Palestina, donde constituye la depresión de Ghor, ocupada en parte por el Mar Muerto y el valle del río Jordán. Otra gran geoclase es la que sigue las costas orientales de Asia, la cual queda manifiesta al correr paralelamente el archipiélago japonés no lejos de grandes profundidades oceánicas.

**135. TERRENOS Y SU CARACTERIZACION.** — Se llama *terreno* en geología el conjunto de capas de minerales o rocas que se han depositado durante un mismo periodo de tiempo. Para precisar los terrenos se recurre a los llamados caracteres petrográficos, estratigráficos y paleontológicos.

a) **Caracteres petrográficos.** — Son los que se refieren a los minerales y rocas de que se componen los terrenos. Estos caracteres, por regla general, sólo pueden servir para casos excepcionales, ya que unas mismas capas pueden variar de naturaleza en el sentido horizontal, por haberse depositado en un mismo tiempo, según los puntos, materiales de diferente naturaleza como sucede actualmente en un mismo mar o lago, según sean su profundidad y lejanía de la costa.

b) **Caracteres estratigráficos.** — Son los que se refieren a la disposición, orden y colocación de los estratos. La estratigrafía suministra preciosos datos referentes a la edad relativa de los varios terrenos, a la duración comparativa de los tiempos geológicos y, sobre todo, a los movimientos del suelo habidos en el transcurso de los tiempos geológicos.

La caracterización de los terrenos por los estratos puede resumirse en seis reglas llamadas *principios estratigráficos*: 1.º En los terrenos que no han llegado a invertirse, cada estrato es más reciente que los que se hallan debajo de él.

2.º El espesor de los estratos está relacionado, hablando en general, con el tiempo que duró su formación.

3.º Los estratos concordantes se formaron probablemente sin ninguna interrupción; en cambio, los estratos discordantes indican que, entre unos y

otros, medió un período de emersión, después del cual, por una nueva inmersión del terreno, se produjo la segunda serie de estratos.

4.º Los estratos transgresivos revelan hundimiento lento y no interrumpido del fondo del mar o lago donde se formaron, y los estratos regresivos denotan emersión continuada del suelo.

5.º No todos los tiempos geológicos han dejado estratos de terreno en todos los puntos del globo, sino que los estratos de un mismo tiempo presentan frecuentemente grandes lagunas o hiatos, ya sea por haber perdido sus materiales con la erosión, ya también por haber mediado en aquellos puntos alguna emersión que imposibilitó la sedimentación durante aquel tiempo, mientras se estaba efectuando en otras tierras sumergidas.

Para conocer la época de una erupción sirven los dos principios siguientes: 1.º Una formación eruptiva es anterior al terreno que la cubre si se trata de una roca efusiva y al que contiene fragmentos de la roca eruptiva, pues mal podría formarse el terreno a expensas de materiales inexistentes: 2.º, una formación eruptiva es posterior al terreno que cubre y al que atraviesa metaformizado y cuyos fragmentos engloba (figs. 109, 110 y 111).



Fig. 109. — Rocas eruptivas posteriores a las estratificadas.

c) **Caracteres paleontológicos.** — Son los suministrados por los fósiles que los terrenos encierran; estos caracteres suelen ser los más decisivos para la caracterización de los terrenos.

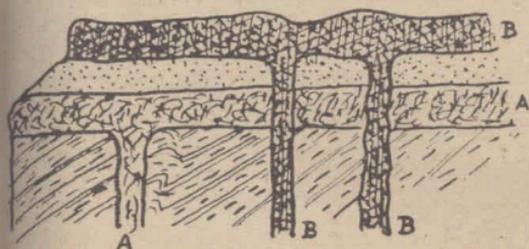


Fig. 110. — Mantos de basalto de distintas edades colocados uno encima del otro; el más reciente ha perforado al anterior.

tales, deduce el medio en que vivieron los ahora en fósiles.

**Fósil** es todo ser orgánico, petrificado o no, de especie extinguida o viviente, depositado en un terreno anterior al actual. También se llaman fósiles las impresiones dejadas por los organismos en las capas sedimentarias, como sucede con las impresiones de hojas, de huellas de animales, de huevos, de conchillas, etc.

2. **Fenómeno de la fosilización:** Se llama *fosilización* la transformación de los organismos vivientes en fósiles, lo cual suele tener lugar por sustitución de la materia organizada en materia mineral. Para que esto se realice

1. **Concepto de paleontología y de fósil:** Se da el nombre de *paleontología* a la parte de la geología que estudia los restos que han dejado en la tierra los seres vivos que existieron en épocas anteriores a la actual. La paleontología, pues, trata del estudio de los fósiles, así en su forma externa como en su organización y desarrollo, y comparando estos datos con los que se desprenden del estudio de los seres actuales, deduce el medio en que vivieron los seres vivientes convertidos

se necesita que los restos se hallen debajo del agua, que impida su contacto con el aire atmosférico. Si la materia entra fácilmente en descomposición no se fosiliza; por esto las partes blandas de los animales y plantas apenas se encuentran nunca fosilizadas; en cambio, abundan los restos fósiles conchillas, huesos, dientes, etc.

3. *Principios paleontológicos*: Son las reglas encontradas para deducir la edad de los terrenos valiéndose de los fósiles. Estos principios pueden resumirse en tres: 1.º Los restos de animales y plantas existentes en las rocas sedimentarias vivieron ordinariamente en el lugar y en la época en

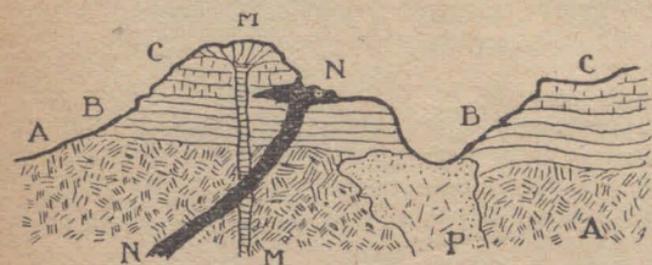


Fig. 111. — Ejemplo de determinación de la edad relativa de las rocas eruptivas: El granito **P** es posterior al depósito sedimentario **A**; el pórfido **N** es más reciente que **P** y que **A** y **B**; el basalto **M** es más reciente que **P** y **C**.

que aquéllos se fosilizaron. 2.º Los vegetales y animales han ido variando en el transcurso de los tiempos geológicos, en lo que aparecieron nuevas especies y desaparecieron otras. 3.º El área geográfica de las especies en los tiempos geológicos antiguos fué, por regla general, mucho más extensa que en la actualidad.

Según estos principios, dos capas de terreno, sean cualesquiera su naturaleza y distancia, pertenecerán a la misma edad si contienen los mismos restos orgánicos. Por los fósiles, pues, se hace posible deducir las variaciones de la repartición de las tierras y mares, así como la sucesión de los climas en los distintos períodos geológicos; en una palabra, se puede reconstituir la historia de la tierra de una manera parecida a como se ha reconstituido la historia de la humanidad por los escritos y monumentos del hombre.

## CAPÍTULO X

# CICLO DEL AGUA EN LA NATURALEZA

SUMARIO: 136. Formas bajo las cuales actúa el agua. — 137. Acción geológica de las aguas corrientes. — 138. Napas freáticas. — 139. Napas artesianas. — 140. Corrientes subterráneas. — 141. Acción geológica de las aguas subterráneas. — 142. Nieves; regiones de nieves perpetuas. — 143. Aludes; trabajo geológico que realizan. — 144. Estudio sobre los glaciares. — 145. Acción erosiva y de transporte de los glaciares. — 146. Depresiones ocupadas por antiguos glaciares. — 147. Hielos marinos.

### 136. FORMAS BAJO LAS CUALES ACTUA EL AGUA. —

El agua es el factor por excelencia del dinamismo terrestre y obra en sus tres estados: sólido, líquido y de vapor. La acción del agua es tan importante: 1.º, por los enormes depósitos que de ella encierra nuestro planeta; 2.º, por encontrarse a la vez naturalmente en los tres estados, lo que quizá no puede decirse de ningún otro mineral; 3.º, por la facilidad en pasar de un estado a otro, lo que lleva como consecuencia una gran movilidad.

El agua actúa así por su movimiento rítmico u ondulatorio de los grandes depósitos naturales, cuales son los mares y lagos, como por su circulación en la tierra, como agente de erosión, de denudación y de transporte, tanto en estado líquido como en estado sólido.

El agente determinante del movimiento o ciclo del agua en la naturaleza es la acción combinada del calor solar y la gravedad terrestre. En efecto, el calor del sol determina la evaporación del agua en su superficie libre, y este vapor de agua se condensa y se precipita por la atmósfera hasta regiones más o menos elevadas.

Cuando el estado de humedad en un punto de la atmósfera llega a su punto de saturación, el vapor de agua se condensa, ya en menudísimas gotas, que flotan en la atmósfera constituyendo las nubes, ya en gotas más o menos gruesas, que caen en tierra formando la lluvia. La condensación de las nubes en forma de lluvia tiene lugar cuando por una causa especial, como radiación, dilatación, etc., se produce un enfriamiento que hace bajar el punto de saturación, o cuando una capa de aire es transportada de una región a otra más fría, por ejemplo, de un terreno bajo y llano a una zona montañosa. Si la condensación va acompañada de enfriamiento rápido, se produce el granizo; si el enfriamiento es lento, se forma la nieve.

Según esto, el ciclo completo del agua en la naturaleza comprende: 1.º La evaporación del agua en la superficie libre de los mares, lagos y ríos; 2.º, la traslación del vapor de agua a zonas elevadas y frías; 3.º, la condensación del vapor de agua y la precipitación del agua condensada en forma de lluvia o de nieve; 4.º, el movimiento del agua; sea en estado líquido o en estado sólido, por los continentes, hasta ingresar nuevamente en el mar o en los lagos.

**137. ACCION GEOLOGICA DE LAS AGUAS CORRIENTES.** — En la tierra firme las aguas corrientes se originan de los manantiales o fuentes, y directamente de las lluvias y nevadas. Al llover o derretirse las nieves, parte del agua penetra por el suelo, constituyendo las llamadas *aguas subterráneas*; pero otra porción corre por la superficie en filetillos sin cauces fijos, determinando las llamadas *aguas salvajes*; estos filetillos, uniéndose unos a otros, se precipitan por el fondo de los barrancos, constituyendo los arroyos y torrentes, para pasar de éstos a los ríos, que desembocan en el mar o en algún lago.

a) **Acción de las aguas salvajes.** — Las aguas de lluvia, corriendo por un suelo poco permeable y desnudo de vegetación, tienen gran poder de erosión, pues arrancan con facilidad los materiales sueltos, que luego depositan al pie de las pendientes. Con esto van cavando surcos en las pendientes, que a la larga alcanzan grandes proporciones, sobre todo en terrenos arcillosos o margosos. Si la arcilla encierra bloques de piedra, éstos defienden de la acción del agua la tierra de su parte inferior, mientras se excava rápidamente la de los lados, hasta que trans-

currido algún tiempo queda una columna o pirámide de tierra con una piedra en su parte superior. Estas pirámides son particularmente frecuentes en los valles del Tirol (Alemania).

b) **Acción de los torrentes.** — Los *torrentes* son cursos de agua de poca longitud, pero de mucha pendiente. Los torrentes casi nunca tienen el lecho que varía desde la cresta hasta la base de la montaña, sino que en la parte alta suele existir un sistema de arroyos y barrancos, donde el trabajo de erosión es máximo, que en su conjunto afectan la forma de un embudo con el vértice en la entrada de un cauce, constituyendo todo este conjunto la llamada *cuenca de recepción*. Luego sigue el cauce del torrente, llamado *canal de desagüe*. Finalmente, en la parte baja, y gracias a la menor pendiente, se depositan en gran parte los materiales arrasados, en forma de abanico con el vértice en el extremo del canal, y es lo que se ha dado en llamar *cono de deyección* (fig. 112).

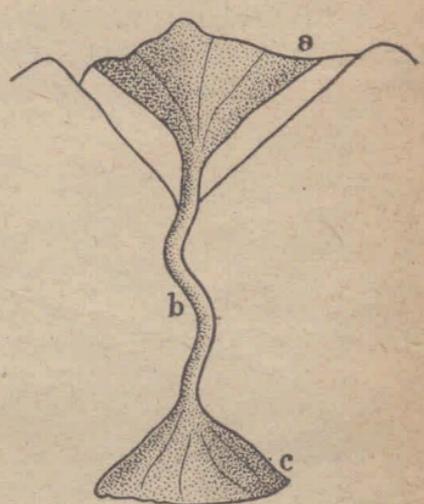


Fig. 112. — Cuenca de un torrente: a, cuenca de recepción; b, canal de desagüe; c, cono de deyección.

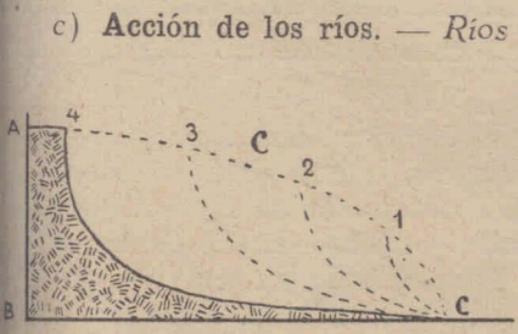


Fig. 113. — Esquema de la modificación del cauce de un río.

c) **Acción de los ríos.** — *Ríos* son corrientes permanentes de agua y de bastante intensidad. Las mismas leyes reguladoras de la corriente de agua de los torrentes regulan también la corriente de los ríos; por tanto, en éstos deben existir las tres zonas llamadas de derrubio, de transporte y de acumulación (figs. 113 y 114).

1. *Regiones a lo largo de los ríos:* El curso superior de los ríos es siempre torrencial y asiento de continuo derrubio:

representa la cuenca de recepción de los torrentes. La intensidad del derrubio depende de la naturaleza del terreno y del caudal y velocidad del agua, alcanzando su valor máximo en terrenos de materiales sueltos y en cursos de mucha pendiente y caudal. En el curso medio predomina el transporte sobre el arranque y sedimentación, y representa el canal de desagüe de los torrentes. En el curso inferior de los ríos prepondera la *acumulación* de materiales o sea su sedimentación: representa el cono de deyección de los torrentes.

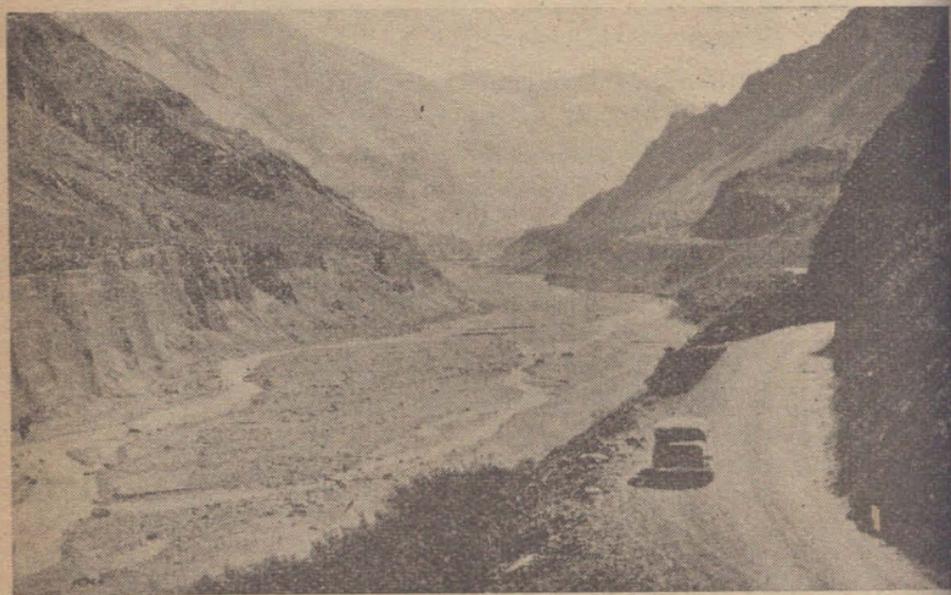


Fig. 114. — Camino internacional a Chile en plena Cordillera (Mendoza).

2. *Trabajo mecánico de los ríos*: Las aguas corrientes, merced a los materiales arrancados, trabajan sobre su lecho de dos maneras: unas veces como sierras con su movimiento lineal o de traslación; otras veces como perforadoras en el movimiento giratorio de los remolinos, determinando en este último caso excavaciones a veces de bastante profundidad, llamadas *ollas* y *marmitas de gigantes*. Los mismos materiales arrastrados suelen ir puliéndose y redondeándose por el roce de unos con otros y con el lecho del río, determinando los cantos rodados, la grava y la arena, según el tamaño. En general, los cantos predominan en el curso superior, y la arena y el limo en el curso inferior.

3. *Accidentes de los ríos*: En los ríos se advierten con frecuencia tres accidentes principales, llamados rápidos, cascadas y cataratas. Los ríos presentan a veces en su curso medio una acentuación marcada y repentina de la pendiente, por la cual las aguas se precipitan con extraordinaria velocidad, dando origen a una zona torrencial momentánea y de corto recorrido: en ellas, al ganar las aguas en velocidad, pierden en cambio profundidad. Dicho accidente es lo que constituye un *rápido*, desnivel que tiene por origen, del mismo modo que las gargantas, una desigualdad del lecho por la distinta resistencia de las rocas que forman el suelo, pues erosionándose más lentamente las capas duras, dan origen a un resalte el cual forma el rápido. Las famosas cataratas del Nilo entre Assuán y Khartún no son sino rápidos, y son abundantes estos accidentes en los ríos de la Indochina y de Finlandia (figura 115).

La misma desigualdad en la constitución del terreno puede dar lugar a fenómenos aun más acentuados, es decir, a un desnivel brusco por el cual se precipitan las aguas verticalmente, dando

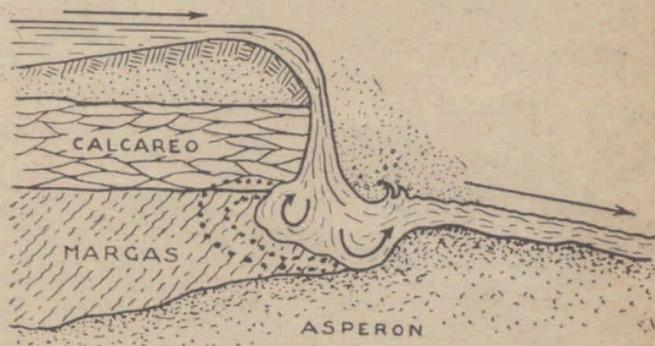


Fig. 115. — Acción erosiva de una catarata.

lugar a lo que se denomina *cascada* si el desnivel es pequeño y *salto* si el desnivel es grande y por él se precipita un río de cierta importancia. Las cascadas y los saltos son muy frecuentes en los torrentes y en los ríos torrenciales, por ejemplo, en el curso superior del Rin en Suiza y del Garona en los Pirineos franceses.

Se da el nombre de *catarata*, cuando la cantidad de agua que se precipita por el desnivel es extraordinaria y al mismo tiempo la altura de caída es enorme. Las más conocidas de todas son las del Niágara, que forman una caída de unos 50 metros, con una anchura de un kilómetro, en la frontera de los Estados Unidos con el Canadá (figs. 116 y 117). Su nombre quiere decir en lenguaje indio "trueno de agua", pues el ruido de la gigantesca caída es semejante al de una tempestad y su fragor se aprecia muchos kilómetros antes de llegar a ellas. Sumamente importante es la catarata Victoria en el río Zambeza, en Africa, la cual supera en proporciones a la del Niágara, pues su anchura es doble y su desnivel pasa de los 100 metros en algunas partes. Más extraordinarias aun por la belleza del paisaje y por la variedad de perspectivas son las del Iguazú, sobre todo el salto de Santa María, en la frontera de la República Argentina y el Brasil, próximo a la frontera común entre el Brasil, la República Argentina y el Paraguay (figs. 118 y 119).

El papel erosivo de estas gigantescas caídas de agua es extraordinario. Todas ellas tienden a retroceder lentamente y a veces dicho retroceso es favorecido por grandes desplomes progresivos del frente rocoso que cons-

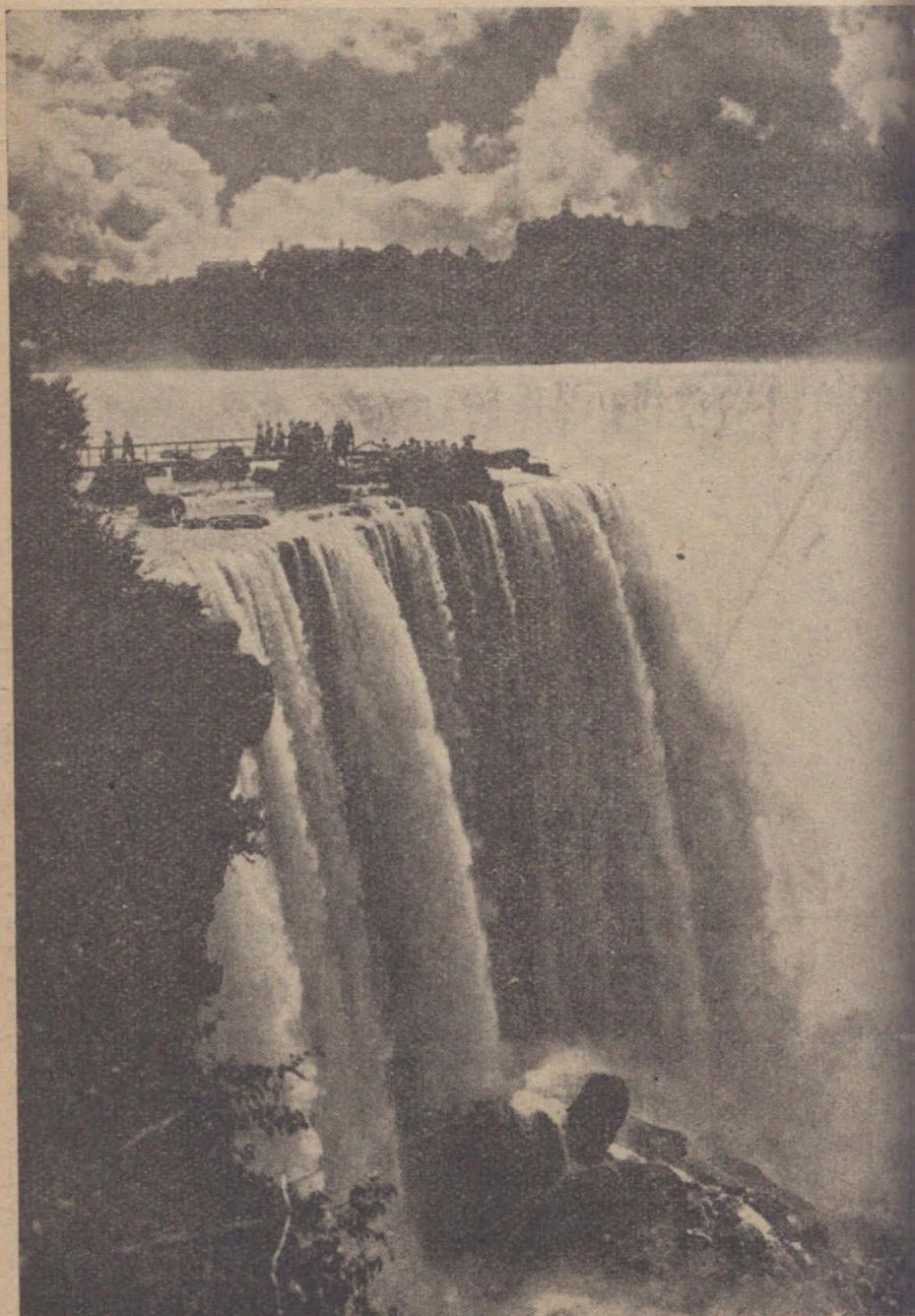
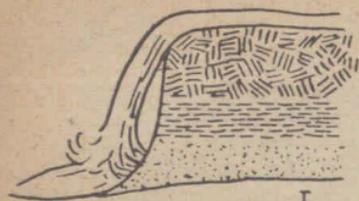


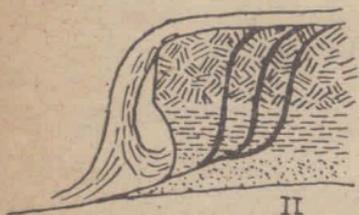
Fig. 116. — Las cataratas del Niágara en verano con sus enormes masas de agua líquida, que se precipitan al abismo.



Fig. 117. — Las cataratas del Niágara convertidas en enormes bloques de hielo durante el invierno.



I



II

Fig. 118. — Representación gráfica del retroceso de un escarpe de catarata.

tituyen el salto. El caso del Niágara es uno de los mejor conocidos y estudiados. El promedio del retroceso se ha podido calcular por los datos tomados desde 1842 a 1905 en el que el retroceso fué en total de 54 80 metros, según los sitios, siendo el promedio anual de 1'25 metros. Los niveles del antiguo frente se reconocen en la actualidad en un recorrido de 11 kilómetros aguas abajo de la catarata.

4. *Formaciones notables de los ríos:* Son las terrazas y los meandros. Llámense *terrazas* ciertas capas de aluviones, o sea conglomerados intercalados con guijos y arenas, que aparecen a diversa altura sobre las márgenes de los ríos, formando grandes escalones laterales, los cuales atestiguan los diversos niveles que el río ha tenido en otras épocas. Tal alternancia en el régimen indica diferentes estados de equilibrio del río, puesto que las terrazas se formaron en una época



Fig. 119. — Las cataratas del Iguazú (Misiones).

o período tranquilo, durante el cual el río depositó dichos materiales, a la cual siguió otra en que por un exceso de agua, o por acentuación de la pendiente y consiguiente variación del nivel de la base, los materiales son transportados y el valle se ahonda (figs. 120 y 121).

*Meandros* son sinuosidades o codos de los ríos, debidos a que el agua ataca alternativamente una de las riberas, mientras en la otra disminuyen notablemente la velocidad y el caudal. Con esto una de las orillas va siendo socavada y haciéndose cóncava y de paredes abruptas, mientras que en la otra se depositan en abundancia los materiales arrastrados hasta constituir un banco o playa aluvial (figs. 122 y 123).

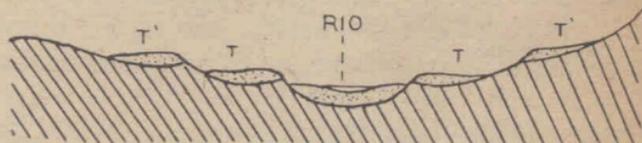


Fig. 120. — Sección transversal de un río con las terrazas.

**138. NAPAS FREATICAS.** — Son mantos o extensiones inmensas de agua que circula con extraordinaria lentitud por determinadas capas del interior de la corteza terrestre.

a) **Origen de las napas freáticas.** — Una parte del agua de lluvia o del derretimiento de las nieves se infiltra en las capas superficiales de la corteza terrestre formando la llamada capa o napa freática. La cuantía de la infiltración depende del grado de permeabilidad del suelo; las aguas meteóricas caídas sobre un territorio llano e impermeable quedan en la superficie formando charcos y lagunas; pero si el suelo está constituido de materiales permeables, como arenas, cascajos o rocas agrietadas, las aguas se infiltran en ellas y por su

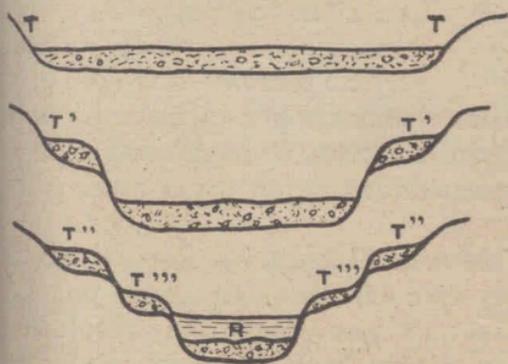


Fig. 121. — Fases de la excavación de un valle.

propio peso tienden a descender rellenando todas las grietas y cavidades. Con todo, este descenso no es indefinido, pues en llegando a cierta profundidad, las enormes presiones allí existentes no permiten la formación de grietas y cavidades, con lo cual las aguas no pueden penetrar más; se calcula que el límite

máximo de profundidad a que pueden descender las aguas oscila entre 10.000 y 12.000 metros.

Por otra parte, según es sabido, la temperatura de la corteza terrestre crece con la profundidad (grado geotérmico), de suerte que a esas profundidades máximas deben existir temperaturas de unos  $365^{\circ}$ , es decir, la del punto crítico del agua, por encima de la cual este líquido se combina con los cuerpos constitutivos de la corteza terrestre, desalojando al ácido silícico de sus combinaciones y combinándose con los minerales constitutivos de dichas rocas.

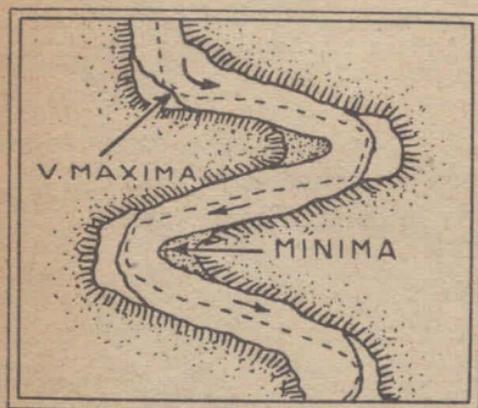


Fig. 122. — Curso meandroso de un río, que deposita materiales en las partes salientes, según R. Cury.

go *piezo*, comprimir) la superficie formada por dicha capa, que suele seguir las ondulaciones del terreno, si bien no paralelamente a él, por tener sus irregularidades algún tanto atenuadas.

**b) Zonas de alteración y de cementación.** — Por debajo de la napa freática existen aguas que circulan sin cesar por los intersticios de las rocas, aguas que por llevar en disolución cierta cantidad de anhídrido carbónico y de oxígeno, disuelven con facilidad ciertas substancias, por ejemplo calizas, y modifican profundamente, sobre todo oxidándolas, las rocas por las que circulan; de aquí la denominación de *zona de alteración* con que ha sido designada esta región de la corteza terrestre.

Pero todavía más en el interior existen aguas que se desplazan también con extraordinaria lentitud y se hallan exentas de gases disueltos: en esta zona adquieren especial importancia

Con todo, las aguas que de momento interesan no son estas tan profundas, sino las que quedan a escasa profundidad, impregnando completa y permanentemente el terreno hasta formar una capa o napa, que es la que se trata de alcanzar cuando se construyen los pozos; de aquí el nombre de capa freática con que se la conoce, tomando esta palabra del griego *phreas*, que significa pozo. Se denomina *nivel hidrostático* o *superficie piezométrica* (del griego

los fenómenos de depósitos, en vez de los de disolución, de suerte que las grietas y espacios libres se rellenan paulatinamente de substancias minerales por acción de estas aguas, y de aquí el nombre de *zona de cementación* con que se la conoce.

c) **La napa freática y las fuentes naturales.** — Ocurre a veces que los terrenos sumamente permeables en su superficie están constituídos a cierta profundidad por capas o estratos impermeables, como arcillas o margas. En este caso las aguas de infiltración quedan retenidas por dichos materiales, que de-



Fig. 123. — Río San Juan en el Valle del Zonda (San Juan).

terminan la denominada *capa acuífera* o *nivel de agua*. Si este nivel de agua queda al descubierto por las irregularidades del terreno, el agua de la capa acuífera brota al exterior, originándose así un manantial o fuente.

Las fuentes pueden dividirse en diferentes tipos, según la importancia de la capa acuífera, su profundidad y lugar en que brotan. Los principales tipos de fuentes son: de superficie, de afloramiento y de valle.

1.º *Fuentes de superficie* son las propias de terreno impermeable, como pizarras, arcillas, granitos, etc., las cuales pueden

ser abundantes si el espesor de los detritus superficiales es de gran potencia; pero como esto ocurre raras veces, de aquí que sean frecuentes, sí, pero poco abundantes y que reflejen, aunque con retraso, el régimen de lluvias de la región. 2.º *Fuentes de afloramiento* son las que se presentan en las laderas de las cañadas por quedar la capa impermeable al descubierto; suelen distinguirse por su abundancia y continuidad, por provenir de la capa freática de extensas regiones. 3. *Fuentes de valle* son las que brotan en los lugares donde la capa acuosa aparece cercana a la superficie del terreno, pero sin quedar cortada por los accidentes topográficos. Estas fuentes son irregulares, por retirarse en tiempo de estiaje de la superficie del suelo el nivel piezométrico.

**139. NAPAS ARTESIANAS.** — En los terrenos donde alternan bancos impermeables y permeables es frecuente que entre dos bancos impermeables se constituya una capa acuífera alimentada por zonas más elevadas, y allí donde la capa permeable aflora se denomina *cabecera del agua*. Si la constitución del terreno en régimen plegado hace que los estratos ostenten la forma de U, la napa acuífera recibe el nombre de *artesiana*.

Las aguas artesianas están de suyo sometidas a presión, pues estando contenidas entre las capas impermeables superior e inferior, tienden a rellenar la parte media; esta agua a presión en el caso de no existir grietas ni cavidades, se designa con el nombre de *cautiva*. En estas condiciones, al practicar una perforación que ponga al agua allí acumulada en comunicación con el exterior, podrá suceder que llegue a la superficie con fuerza suficiente aun para brotar a manera de surtidor y elevarse a varios metros por encima del suelo, y entonces se tendrá un verdadero pozo artesiano. En este caso el agua ascenderá casi a la altura del nivel más alto de la misma, si está conducida por tuberías, pues de lo contrario el rozamiento con el aire y con las propias moléculas del agua entre sí hace que pierda fuerza y que sólo llegue a un nivel bastante inferior al que le correspondería. Según esto, se llaman *aguas surgentes* las que sobrepasan la superficie del terreno (fig. 124).

También puede suceder que el agua sólo ascienda hasta cierto nivel, pero sin llegar a la superficie; en este caso se tendrá un pozo alimentado por agua artesianas, y el nivel del líquido encerrado en el pozo coincidirá con el que tienen las aguas

entro de la capa artesiana; estas *aguas* que se detienen debajo de la superficie del terreno se llaman *ascendentes*. Si en lugar de brotar las aguas artesianas mediante una perforación artificial, éstas salen en virtud de una rotura natural del terreno, por ejemplo, una falla, se tienen fuentes, por lo general abundantes y con frecuencia calientes.

**140. CORRIENTES SUBTERRANEAS.** — Tienen lugar en terrenos agrietados, particularmente calizos. Es que el agua, en lugar de acumularse para constituir napas o mantos, sigue las hendiduras de las rocas y reuniéndose en otras mayores origina los arroyos y ríos subterráneos. Estas aguas tienen un poder erosivo y un poder análogo al de las aguas superficiales, y dan lugar a fuentes resurgentes, vauclosianas e intermitentes y a rutas o cavernas.

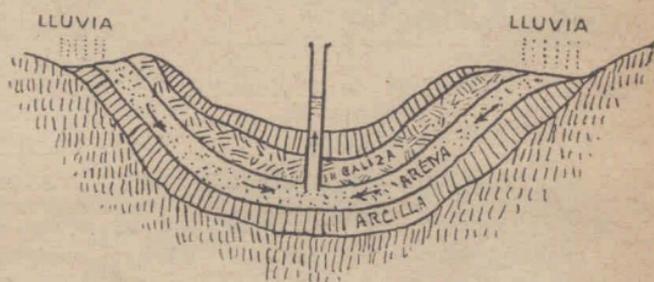


Fig. 124. — Esquema de un pozo artesiano.

a) **Fuentes resurgentes.** — Son las debidas a la reaparición de las aguas de una corriente superficial, que desaparecida por embibición en un terreno permeable o perdida en cavidades naturales de las rocas, aparece de nuevo y con gran caudal. Por regla general, estas aguas no reúnen buenas condiciones de potabilidad, por ser simplemente arroyos más o menos caudalosos que, después de correr por un territorio al descubierto, desaparecen subterráneamente, caminan un espacio mayor o menor bajo tierra y aparecen de nuevo.

b) **Fuentes vauclosianas.** — Son aquellas que brotan con extraordinario caudal, formado por la reunión de un gran número de pequeños aportes, que pueden provenir del agua desaparecida en las cimas de las montañas y de las pérdidas de arroyos y ríos al atravesar territorios calizos. Su camino por el interior del terreno suele ser sumamente laberíntico, y con frecuencia los conductos se anastomosan y, una vez que se reúnen en uno, dan

origen a manantiales muy potentes y, por regla general, al pie de una quebrada o acantilado calizo. Así, pues, los rasgos fundamentales que caracterizan estas fuentes son: 1.º El nacer con frecuencia al pie de acantilados; 2.º, el presentar variaciones acentuadas en relación con las lluvias de la región; 3.º, el sufrir cambios de temperatura notables; 4.º, el experimentar enturbiamientos frecuentes y repentinos. El nombre de *vauclusianas* dado a estas fuentes proviene de haberse tomado como tipo de las mismas la de Vaucluse, no lejos de Aviñón en Francia, que da origen al río Sorgne. Muchos de los

ríos deben su origen a alguna fuente vauclusiana, por ejemplo el Río Jordán en Palestina.

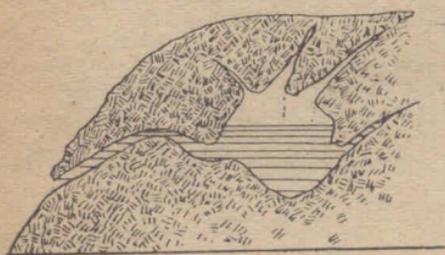


Fig. 125. — Teoría de la fuente intermitente.

c) **Fuentes intermitentes.** — Son manantiales de agua que brotan durante ciertos períodos y se interrumpen otros con cierta regularidad. Su teoría es en extremo sencilla. Consiste en una cavidad interior, con salida por un sifón angular, que empieza a vaciarse cuando el nivel del agua llega en la cavidad a la altura del punto culminante del sifón; sigue corriendo hasta que sólo queda agua por debajo del punto de arranque del sifón, y en este momento se interrumpe la salida, hasta que el líquido vuelve a alcanzar el nivel inicial (fig. 125).

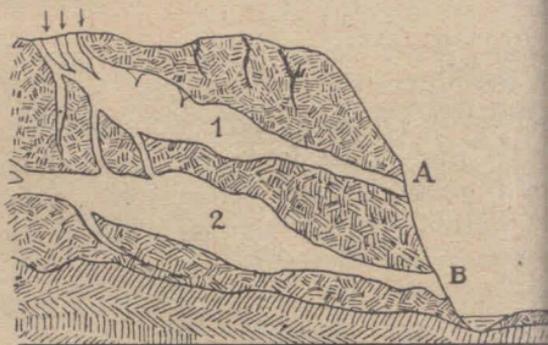


Fig. 126. — Formación de grutas.

#### 141. ACCION GEOLOGICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Las aguas subterráneas efectúan diversos trabajos de excavación, de transporte y de hundimiento, así como también ejercen acciones químicas.

a) **Grutas o cavernas.** — Son ensanchamientos de grietas y cavidades de las rocas, producidos por la acción disolvente del agua y por su acción mecánica. Esta acción del agua es, sobre todo, intensa en los terrenos calizos, es cargada el agua de anhídrido carbónico, disuelve la caliza en forma de carbonato cálcico. Con todo, la gran amplitud de ciertas partes de las grutas se debe, además, a los hundimientos de las bóvedas y de las paredes minadas por la base (fig. 126).

Estos hundimientos alcanzan a veces la superficie del terreno creando grandes abismos, alargados, redondeados o irregulares; con todo, la forma más frecuente, mirados desde el exterior, es la de embudos o simas circulares, llamados *dolinas* también *torcas*. El fondo de las grutas suele ser la entrada de algún río, y en muchos casos en su perfil transversal se repite otro embudo,

cuyo fondo se encuentra siempre un montón de bloques, testigos del hundimiento de las galerías y bóvedas de las cavernas (fig. 127).

Esta labor del agua subterránea se completa con la sedimentación de los materiales, que el agua acarrea del exterior y que arranca de las paredes de los conductos subterráneos. Estos materiales se depositan en los puntos de

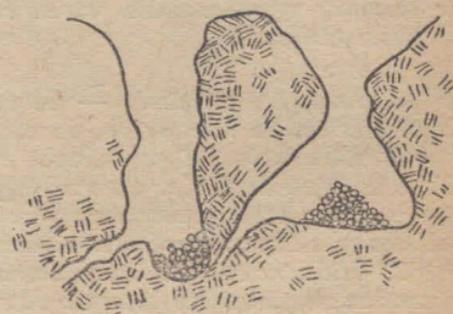


Fig. 127. — Corte vertical de una dolina o torca.



Fig. 128. — Gruta de estalactitas y estalagmitas.

menor declive, obturando los poros más angostos y relleno el fondo de las grutas. Los productos de disolución originan también depósitos importantes, en forma de estratos de bastante espesor sobre el fondo, donde se forman gruesas capas de calcita compacta alabastrina o de caliza tobácea o travertínica, y de costras que recubren el techo y las paredes, y concreciones que cuelgan del techo (*estalactitas*) o se levantan del suelo (*estalagmitas*) (fig. 128).

b) **Modificaciones en el relieve exterior.** — Con relativa frecuencia sucede que grandes masas de terreno pétreo o terroso, minado por el agua subterránea, ceden violentamente a la acción de la gravedad y caen con estrépito y velocidad extraordinaria a las regiones bajas, ocasionando graves daños. Este fenómeno es particularmente frecuente después de grandes lluvias, sobre todo en las laderas de bastante pendiente, donde hay estratos permeables que descansan sobre otros arcillosos o margosos, inclinados en el mismo sentido que la ladera, pues en

estas circunstancias se ablandan y hacen pastosos con el agua, y las capas superiores resbalan sobre ellos, como sobre un plano inclinado, liso y resbaladizo.

En ocasiones el hundimiento de las bóvedas de las grandes cavernas alcanza la superficie del terreno, dando origen a abismos alargados, redondeados e irregulares, siendo la forma más frecuente la de pozos irregulares de anchura y profundidad variables y la de embudos o simas circulares llamadas *dolinas*.

c) **Acciones químicas.** — Se refieren principalmente a los fenómenos de disolución, de hidratación, de oxidación y de caolinización.

1.º *Disolución*: El agua subterránea disuelve ciertas sustancias insolubles en agua destilada. Esto se debe a su contenido en anhídrido carbónico que disuelve a los carbonatos, y al oxígeno, que transforma ciertos óxidos sulfuros y silicatos insolubles en sales solubles.

2.º *Hidratación*: El agua de infiltración, al encontrarse con rocas minerales anhidras, los hidrata. Así el oligisto pasa a limonita, la smithsonita a hidrocincita, los silicatos anhidros a silicatos hidratados, la anhidrita a yeso, y como en esta última acción el aumento de volumen es de un 33 por ciento, de aquí que este solo fenómeno determina a veces importantes levantamientos y plegamientos de los estratos.

3.º *Oxidación*: El oxígeno de las aguas subterráneas oxida los óxidos y oxida los sulfuros y carbonatos metálicos. Así la magnetita se transforma en oligisto, la siderita en limonita, el carbonato manganoso en pirolusita, y las piritas en limonita y ácido sulfúrico, que atacando a calizas, forma yeso.

4.º *Caolinización*: El agua con el oxígeno y anhídrido carbónico lleva disueltos, actúa sobre los silicatos de las rocas, los descompone y los convierte en carbonatos solubles, óxidos térreos y silicatos hidratados estables. De estas acciones la más importante es la descomposición de feldspatos (silicatos de aluminio, potasio o sodio, con o sin calcio), virtud de la cual se forma carbonato potásico, sódico o cálcico, silicio y caolín, que es un silicato de aluminio hidratado. Este fenómeno se conoce en geología con el nombre de *caolinización* y desempeña un papel preponderante en la disgregación de las rocas eruptivas.

**142. NIEVES: REGIONES DE NIEVES PERPETUAS.** — Se llama *nieve* la precipitación del vapor acuoso congelado antes de reunirse en gotas. Si la nieve se funde poco después de su caída, sólo actúa engrosando el caudal de los arroyos y ríos. La nieve cae en todas las zonas de la tierra con la particularidad de que, en la zona tórrida, lo verifica solamente en las altas cumbres de las montañas y, en las zonas templadas y frías, hasta el nivel del mar.

Se llaman regiones de *nieves perpetuas* o *persistentes* los puntos de la tierra en los que existe siempre nieve en todas las épocas del año. El límite inferior de las nieves perpetuas se encuentra tanto más bajo cuanto mayor es la latitud del lugar. En la zona ecuatorial este límite se halla entre los 5.000 y 4.000 metros de altitud; en las zonas templadas entre 3.000 y 2.000 metros, y en las zonas polares llega al nivel del mar. Se ha establecido la siguiente ley, bajo la cual se regulan las nieves perpetuas: todos los parajes del globo el límite de las nieves perpetuas es la altitud

la cual la mitad más cálida del año tiene una temperatura media igual a del hielo fundente", o sea de cero grados.

**143. ALUDES; TRABAJO GEOLOGICO QUE REALIZAN.** — Se llaman *aludes* o *avalanchas* las masas de nieve desprendidas de las montañas, las que, al rodar por las vertientes, adicionan nuevas cantidades de nieve, con lo cual llegan a adquirir dimensiones considerables, arrastrando rocas, árboles y las casas que se presentan a su paso y ocasionando con sus daños incalculables.

La nieve de los aludés puede ser de dos clases: unas veces pulverulenta y cae en rápida caída, y entonces se precipita cuando se ha acumulado en cantidades muy considerables y la pendiente es muy rápida; otras veces la nieve se compacta por haber penetrado en ella algo de agua líquida procedente de la fusión superficial: esta agua, al mojar las rocas sobre las que se resaca la nieve, las ha vuelto resbaladizas y determinado el descenso de la nieve, si el suelo gozaba de suficiente pendiente.

El trabajo geológico de los aludes consiste principalmente en el transporte de árboles y materiales pétreos desde las altas montañas hasta el fondo de los valles.

**144. ESTUDIO SOBRE LOS GLACIARES.** — Se llaman *glaciares*, *lenguas* o *heleros* a grandes masas de nieve congelada, que descienden de las cumbres de las altas montañas, pero con extraordinaria lentitud, hasta llegar a una zona de más alta temperatura, donde se convierten en agua líquida.

a) **Constitución de los glaciares.** — La nieve de los glaciares ha perdido su estructura primitiva, por haberse convertido en una masa de hielo de una estructura particular, granujenta. Este cambio tiene lugar de la siguiente manera. La nieve de los glaciares comienza por perder gran parte del aire en sus zonas inferiores, a causa de la gran presión a que se halla sometida; al mismo tiempo se compacta de agua proveniente del deshielo de sus capas superficiales, y esta agua, al experimentar luego la solidificación, hace que toda la nieve adquiera el aspecto de una masa compacta y granujenta. Examinando la estructura de un glaciar de hielo, se observa que se halla formado de granos, desde el tamaño de granos de arena, hasta el de huevos de gallina, cementados por otros mucho más pequeños. Más aún, en un corte transversal del glaciar se observan como estratos de hielo de diverso color: unos blancos, con bastantes burbujas de aire, otros de tono azulado, casi sin aire.

Los geólogos suelen distinguir tres regiones en los glaciares: 1.<sup>a</sup> región, *zona de alimentación*, que suele ser un amplio circo, rodeado de altas montañas dispuestas de forma que permitan la acumulación de grandes masas de nieve; 2.<sup>a</sup> región, *lengua del glaciar*, que es, como si dijésemos, el verdadero cuerpo del glaciar, que desciende por entre dos montañas; 3.<sup>a</sup> región, *frente del glaciar*, o sea la terminación del mismo, por convertirse ya en agua líquida (fig. 129).

Los glaciares más definidos y mejor estudiados son los de Suiza, los Alpes, a pesar de su relativa pequeñez, suelen considerarse como típicos en el género. Los glaciares de la región polar (Escandinavia, Islandia, y Alaska) adquieren a veces extensiones enormes, no ya en forma de ríos, sino grandes montañas de hielo que recubren las desigualdades del terreno. Argentina cuenta con magníficos glaciares en la parte sur de la Patagonia.

**b) Movimiento de los glaciares; sus causas.** — Uno de los fenómenos más admirables de los glaciares es su movimiento de avance, a manera de ríos. A pesar de tratarse de una masa sumamente rígida y compacta. Este movimiento es regular y continuo en el sentido de la pendiente: al estrecharse el cauce, se estrecha también el glaciar, y éste se ensancha al dilatarse el cauce: esto es debido a que el hielo con la presión se funde y el agua resultante vuelve a solidificarse al disminuir aquélla, dándole así cierta plasticidad.

Se reconoce y determina el movimiento de los glaciares mediante estacas enclavadas en la orilla y en la superficie del glaciar, pues, al cabo de un tiempo, se puede apreciar cómo las estacas del hielo han descendido.

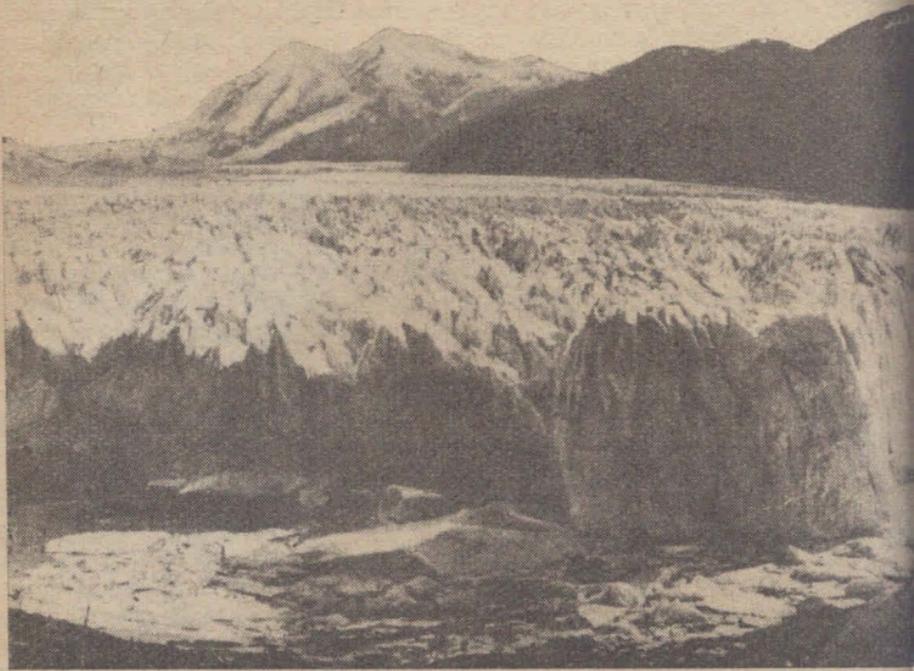


Fig. 129. — Glaciar Spegazzini del Lago Argentino (Patagonia).

La velocidad media de los glaciares es pequeña y oscila entre 10 y 20 metros por año. Las leyes que regulan esta velocidad son las mismas que rigen para las corrientes de agua, o sea que aquélla es mayor en el centro que en los bordes, y mayor también en la superficie que en el fondo.

Las causas del movimiento de los glaciares son la plasticidad de la masa debida al rehielo, la fusión de la parte superior y la formación constante de grietas transversales que llenándose de agua procedente de la superficie, producen una enorme fuerza mecánica al aumentar esta agua de volumen por la congelación.

**c) Accidentes de los glaciares: mesas, agujeros y grietas.** — La superficie de los glaciares no es plana, sino que suele presentar muchas des-

dades, siendo las principales las llamadas mesas, agujeros y grietas (fig. 130).

1. *Mesas de los glaciares* son grandes bloques de piedra, aislados y sostenidos por columnas de hielo. Se deben a las piedras caídas sobre la superficie del glaciar, que impiden el deshielo de la parte inferior que los soporta, pero que por irradiación ayudaron a fundir las porciones próximas, hasta que al cabo de algún tiempo quedaron aisladas sobre un pedestal de hielo.

2. *Agujeros de los glaciares* son ciertos orificios de 5 a 10 centímetros de diámetro por unos 50 centímetros de profundidad, sembrados sobre la superficie del glaciar. Se deben a pequeñas piedras caídas sobre el mismo, las cuales, al calentarse por el sol en toda su masa, fundieron el hielo que las sustentaba y se hundieron en el mismo, hasta hallarse protegidas de los rayos solares.

3. *Grietas de los glaciares* son hendiduras de paredes rectas y planas, que desde la superficie penetran a veces hasta muy adentro de la masa del glaciar. Las hay de cuatro clases: transversales, longitudinales, marginales y frontales (figuras 131 y 132).

Las *grietas transversales* se hallan en sentido normal del eje del glaciar y se forman en los puntos de gran desnivel del cauce, por tenerse que amoldar el hielo a la mayor curvatura que entonces se produce en su parte exterior. Estas grietas se hallan



Fig. 130. — Parte superior del glaciar Zermatt (Suiza).

siempre en el mismo sitio, por no variar la causa que las produce. *Grietas longitudinales* son las que corren a lo largo del glaciar en los puntos donde hay algún saliente de mucho relieve en el fondo. La razón de producirse estas grietas es la desigual curvatura entre ambos lados del saliente, y por tanto estas grietas no cambian tampoco de posición. *Grietas marginales* son las que se forman en los bordes de los glaciares, por efecto de la distinta velocidad con que camina el hielo en el centro y en los bordes: estas grietas no son fijas, sino que giran hacia abajo, hasta que desaparecen. Sin embargo, siempre existen grietas de éstas en los glaciares, porque se van formando otras nuevas a medida que desaparecen las antiguas. *Grietas frontales* son las que se extienden a manera de abanico desde el centro a los bordes de la terminación de los glaciares. Su origen es el mismo que el de las grietas longitudinales, pero sólo se forman en la terminación del glaciar o en los puntos donde se ensancha notablemente el cauce.

**145. ACCION EROSIVA Y DE TRANSPORTE DE LOS GLACIARES.** — Los glaciares ensanchan y ahondan lentamente su cauce, que con el tiempo llega a adquirir la forma de U. En su sentido longitudinal son también notables los cauces de los glaciares, por la presencia de con-



Fig. 131. — Un glaciar de los Andes patagónicos (Foto Bourquin).

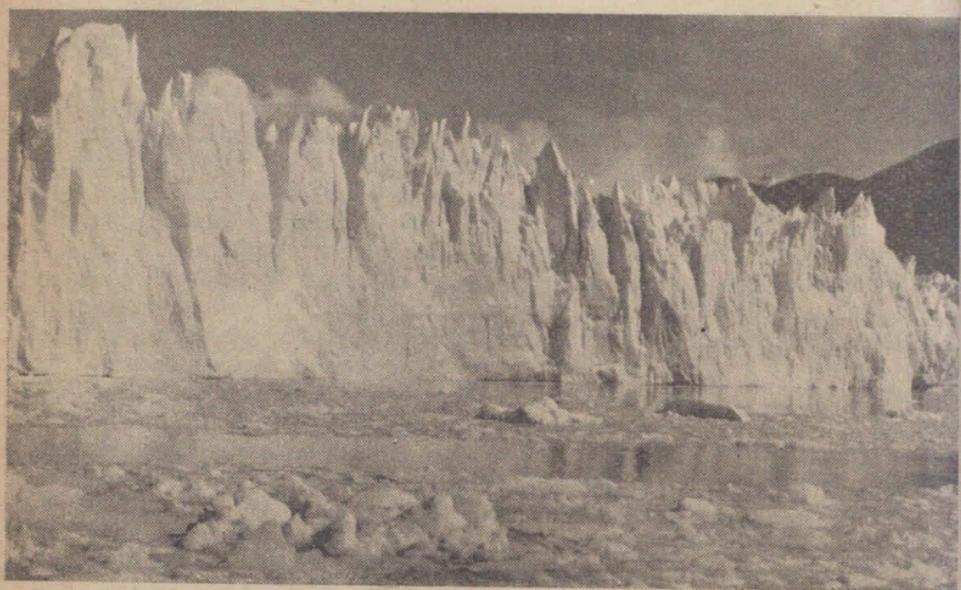


Fig. 132. — Frente del glaciar Moreno en Santa Cruz (Foto Bourquin).

pendientes redondeadas y convexas, que originan verdaderos lagos en los valles, al desaparecer el glaciar. Las rocas del cauce de los glaciares, por efecto del roce dirigido siempre en el mismo sentido, aparecen estriadas y se conocen con el nombre de *rocas aborregadas*. Lo mismo sucede a las piedras que siguen el movimiento del glaciar y frotan con el lecho (fig. 133).

Los glaciares llevan consigo gran cantidad de piedras y tierras, que reciben el nombre de *morrenas canchales*. Las hay de tres clases: superficiales, de fondo y frontales. Las *morrenas superficiales* pueden ser laterales y centrales. Las morrenas laterales son alineaciones de piedras y tierra, que han caído sobre el glaciar desde las montañas vecinas, y que descienden juntamente con el hielo. Las morrenas

centrales son también alineaciones de piedras y tierra, situadas en la parte media de los glaciares, provenientes de las morrenas laterales de dos glaciares que se han unido. Las *morrenas de fondo* se componen de los materiales llegados a la parte inferior del



Fig. 134. — Confluencia de dos glaciares.

glaciar por las grietas y de los que el mismo glaciar ha arrancado del lecho. *Morrenas frontales* o terminales son los materiales acumulados en el extremo libre del glaciar, formando de ordinario tres montículos, uno central y dos laterales. Las morrenas centrales varían de posición según el régimen del glaciar: si éste ha ido retrocediendo por etapas queda después una serie de montones de piedras en arco cuyo conjunto se conoce con el nombre de *anfiteatro morrénico* (fig. 134).

Las piedras de las morrenas se llaman *canchales*, de los que unos presentan sus cantos con profundas estrias, por haber rozado por alguna de sus caras, y por esto se llaman *cantos estriados*, diferenciándose en esto de los cantos de río; otros, en cambio, se hallan en estado anguloso sin señal alguna de roce ni estria, por haber sido arrastrados por el glaciar sin frotamiento alguno. Estos fragmentos se llaman *bloques erráticos*, los cuales son a veces

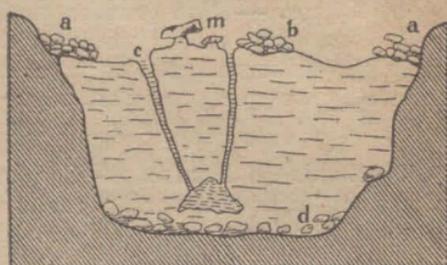


Fig. 133. — Sección transversal de un glaciar: a, morrenas laterales; b, morrena central; c, grieta; d, morrena de fondo; m, mesas.

#### 146. DEPRESIONES OCUPADAS POR ANTIGUOS GLACIARES.—

Las depresiones ocupadas por antiguos glaciares presentan en la actualidad formas muy diversas, siendo las principales los circos, furdos y lagos alpinos.

a) **Circos.** — Son grandes cavidades cónicas y a veces casi cilíndricas que se encuentran en las cercanías de las nieves persistentes, con la abertura que mira ordinariamente hacia el norte en el hemisferio boreal. Por esta forma singular que presentan, se ve que no proceden de la erosión fluvial sino que, por lo menos en parte, son debidas a la acción de antiguos heleros.

b) **Furdos o fiordos.** — Son unas profundas, estrechas y largas escotaduras de las costas, por las cuales el mar penetra muy adentro de la tierra abundan principalmente en Noruega y Groenlandia. Su origen se explica



Fig. 135. — Efectos de la erosión glacial: fiordo de la costa noruega, según Windhausen

por antiguos heleros que ocuparon sus cuencas en el periodo glacial en las que posteriormente, por haber descendido el terreno, penetró el mar por aquellos estrechos y largos desfiladeros (figuras 135 y 136).

c) **Lagos alpinos.** — Son ciertos lagos que se encuentran en Suecia y norte de Italia, muchos de los cuales presentan el mismo aspecto que

los furdos, es decir, forma de escotaduras y ramificaciones, emplazados en altas montañas de paredes verticales. Estos lagos se diferencian, pues, de los furdos, en que no se hallan en comunicación con el mar; pero si el terreno bajase y el Mediterráneo pudiese penetrar hasta ellos, se convertirían en verdaderos furdos. Su origen, por consiguiente, es el de antiguos heleros: el agua ha podido quedar retenida en estos puntos, ya por la pendiente que formó el glaciar, ya también por los depósitos de las morrenas terminales que obstruyeron en parte la circulación del agua por el valle.

147. **HIELOS MARINOS.** — En las zonas próximas al polo, el vapor de agua de la atmósfera se precipita casi exclusivamente en forma de intensas y prolongadas nevadas. De aquí que sobre estos territorios se acumulen una extraordinaria cantidad de nieves y desciendan hasta el mismo nivel del mar. Sobre los continentes polares descansa, pues, un enorme espesor de hielo que casi los recubre por completo, dando lugar a lo que se ha denominado *inlandsis*. Tal es lo que ocurre en Groenlandia y en las grandes islas de América del Norte, y en las zonas australes, como las tierras de Alejandro el Grande, las tierras que rodean el Mar de Ross y tierra de Enderby que, al parecer, forman el gran continente austral sobre el que está el polo sur.

Estas superficies heladas son enormes: la de Groenlandia mide más de dos millones de kilómetros cuadrados y mucho mayor debe ser la del continente sur, aun muy imperfectamente conocido. El espesor de los hielos es también colosal, calculándose en más de 2.000 metros en el centro de

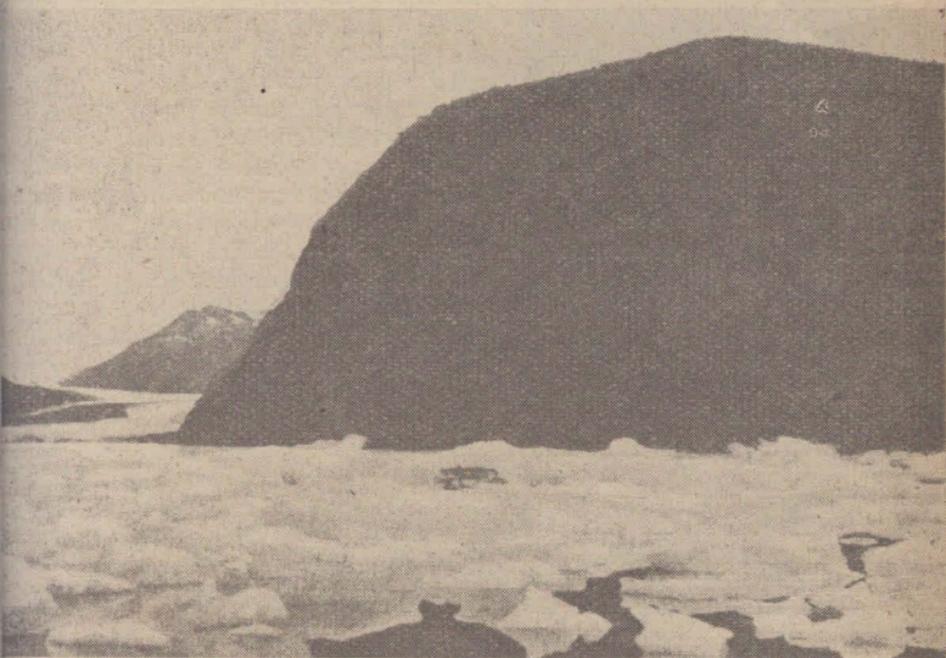


Fig. 136. — Fiordo Moyano del lago Argentino (Patagonia).

Groenlandia y semejante o mayor debe ser el espesor de las tierras que constituyen el gran continente del polo sur. Los hielos polares forman a orillas del mar altos acantilados azulados y agrietados por enormes roturas, y escarpes que pueden elevarse sobre el nivel de las aguas 100 y aun 120 metros. Debido a la acción erosiva y a la fusión de las masas de hielo por el mar, se desprenden del frente del glaciar colosales fragmentos de hielo que momentáneamente se sumergen bajo las olas del mar en medio de un estruendo pavoroso.

En el polo sur las masas de hielo que llegan al mar son aún mayores, pues aquí el gran *inlandsis* no se individualiza en distintos glaciares, sino que arriba al mar dando origen a una gran barrera que rodea al continente austral casi por todas partes, a manera de acantilado que se eleva de 100 a 150 metros sobre el nivel del mar; pero como el volumen de la parte visible es sólo una octava parte del espesor total, resulta que estas masas gigantescas en conjunto miden más de 1.000 metros de espesor (fig. 137).

La extremidad de los glaciares polares, penetrando directamente en el agua del mar, se comprende que esté sometida a una fusión muy intensa. Esto hace que las grietas del hielo terminen por originar roturas que determinan la separación de colosales masas de hielos, y que debido al oleaje

y a las corrientes marinas, emprendan una marcha lenta, que las transporta a grandes distancias, hasta que poco a poco terminan por desaparecer al fundirse (fig. 138).

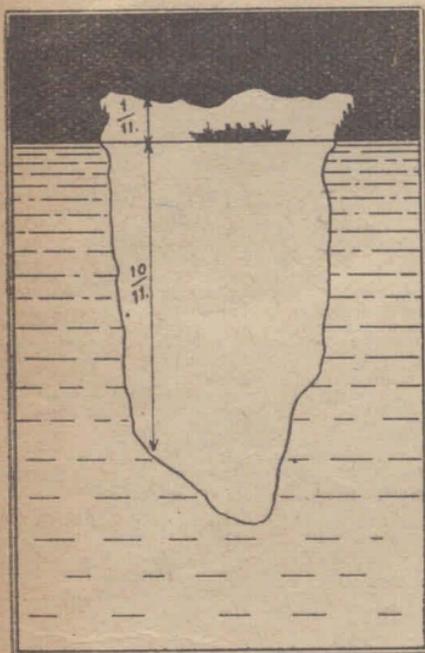


Fig. 137. — Iceberg: proporción entre la parte sumergida y la parte flotante.

superficie del mar hasta 150 metros, lo cual supone que su espesor total es de 600, 800 y hasta 1000 metros. La extensión superficial de algunos de los de tipo tubular del Océano Glacial Sur es a veces enorme, citándose uno que tenía 25 kilómetros de lado, 160 metros de altura y una superficie que debía pasar de 500 kilómetros cuadrados.

Los hielos flotantes desprendidos del frente de los glaciares polares transportan en el interior de su masa una cantidad considerable de detritus, tierra arcillosa, piedras y bloques que constituyen las morrenas internas. Al

destruirse los hielos por la acción del aire y del agua del mar, todos estos materiales terminan por caer en el fondo, donde se originan enormes amontonamientos, que pueden considerarse como un tipo especial de morrenas.

Estos bloques de hielo reciben el nombre de *icebergs*, los cuales son sumamente peligrosos para la navegación, sobre todo en las zonas del noroeste del Atlántico muy frecuentadas por los barcos que hacen la ruta de América del Norte a Europa y viceversa, y así el gran trasatlántico "Titanic" se hundió en pocos minutos en abril de 1912, por efecto de una colisión con un *iceberg* en aguas del sur de Terranova. En el Océano Austral son también frecuentes estos grandes hielos flotantes, los cuales, arrastrados por la gran corriente e impulsados por los vientos, llegan a veces frente a la desembocadura del Río de la Plata y en algunas ocasiones se los ha observado también en las cercanías del Cabo de Buena Esperanza, en Sudáfrica.

Los *icebergs* son de formas y tamaños sumamente variables: en el Atlántico norte son sumamente irregulares, semejando grandiosos edificios, con sus torres y arcadas; en los mares del sur son más homogéneos, siendo su forma más corriente la tubular, pero en ambos casos las dimensiones suelen ser colosales. Algunos se elevan sobre la

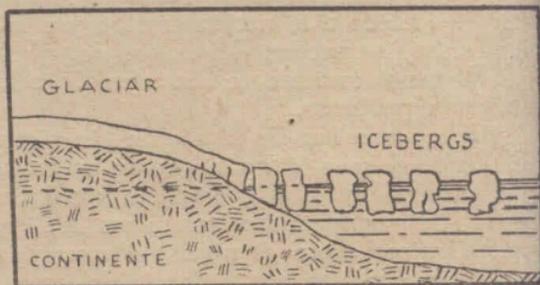


Fig. 138. — Formación de los icebergs.

Durante los inviernos muy fríos el agua de las costas poco profundas llega a helarse hasta el fondo, englobando los materiales sueltos que allí se encuentran: durante el verano se derriten en parte estos hielos, con lo cual se desprenden del suelo y son luego arrastrados por las corrientes marinas, hasta que al derretirse totalmente sueltan también los materiales que consigo llevaban.

## CAPÍTULO XI

# MOVIMIENTOS DE LA CORTEZA TERRESTRE

SUMARIO: 148. Concepto de orogénesis. — 149. Movimientos orogenéticos. — 150. Localización de los fenómenos de plegamiento. — 151. Teoría de la isostasia. — 152. La deriva de los continentes. — 153. Movimientos epirogenéticos. — 154. Transgresiones y regresiones marinas. — 155. Mareas de la corteza terrestre. — 156. Terremotos o sismos. — 157. Causas de los terremotos.

**148. CONCEPTO DE OROGENESIS.** — Se llama *orogénesis* (del griego *orós*, montaña) la parte de la geología dinámica que estudia el origen y formación de los continentes y relieves terrestres. Los movimientos que aquí se estudian son de dos clases: unos lentos, llamados *epirogenéticos*, y otros de mayor violencia, al parecer, que son los propiamente *orogenéticos*. Actualmente unos y otros se consideran como independientes de las acciones volcánicas, y, por consiguiente, de los levantamientos y hundimientos que acompañan a las erupciones.

Cuando se examina el relieve terrestre de nuestro planeta, mirándolo en su totalidad, es decir, así en su parte continental como oceánica, se siente uno impresionado, no sólo por el cuadro de los seis grandes macizos continentales, sino también por el de las grandes concavidades que se presentan con una profundidad media de 4.000 a 5.000 metros, y son las cubetas de los grandes océanos. En dirección a los bordes de los continentes, el fondo de aquellas concavidades se levanta paulatinamente y con una pendiente suave, para pasar luego hacia la superficie de lo que se llama vulgarmente *tierra firme*.

Pero los estratos de la tierra con los restos de seres orgánicos en su mayor parte marinos, que encierran, muestran que la historia de la tierra es, en gran parte, una historia de los mares, pues, en efecto, al hallar restos fósiles marinos en los continentes, podemos deducir de este hallazgo con toda seguridad que la distribución del mar y de la tierra en tiempos pasados fué diferente de la actual. Así es que los picos de las más altas montañas de la tierra han nacido en las profundidades oceánicas; es que, por efecto de grandes plegamientos de la corteza terrestre, los mares han emigrado y cambiado de extensión: es decir: han oscilado dentro de las vastas cubetas que forman el recipiente de sus aguas. La enorme masa líquida sigue los movimientos de la corteza, realizando una eterna lucha con los pliegues y

bloques y macizos de ella. Pero, analizadas detenidamente las diferentes fases de esta lucha, se observa que la corteza terrestre no reacciona en todas partes con la misma energía, pues al lado de antiguos pilares o macizos casi inmóviles se destacan otras zonas de una inestabilidad muy pronunciada, zonas en que el cambio rítmico parece una continuada herencia (figuras 139 y 140).

Analizadas comparativamente las diferentes secciones del cuadro geo-cronológico, no puede uno sustraerse a la

idea de la existencia de *movimientos cíclicos*. Pues no sólo la acumulación de sedimentos y la denudación de las montañas obedecen a una especie de *cambio rítmico*, sino también períodos de calma relativa parecen alternar con otros de una energía acentuada y de alteraciones rápidas: fases de paroxismo pronunciado, fases de una orogénesis muy vasta y vigorosa, alternan con fases en que apenas se registran los movimientos oscilatorios de una ligera epirogénesis. La formación de las montañas, el vulcanismo, las épocas glaciales y la génesis de los carbones; todo eso vuelve a presentarse con carácter periódico, si bien siempre con ciertas variaciones. Movimientos descendentes, movimientos ascendentes, transgresiones y regresiones, paroxismos y períodos de calma: he ahí las pulsaciones y respiraciones de ese gigante que llamamos tierra.

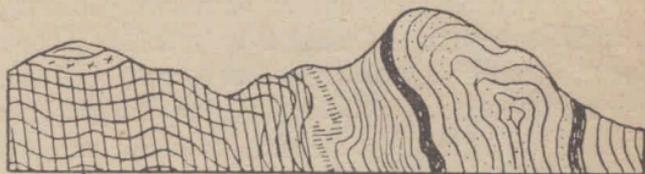


Fig. 139. — Montañas formadas por plegamientos.

**149. MOVIMIENTOS OROGENETICOS.** — Son aquellos que, por su enorme energía, dieron origen a las cadenas montañosas y a las grandes rupturas de la corteza terrestre. En la actualidad no cabe la menor duda de que los relieves terrestres no han existido siempre de la misma manera que ahora, sino que se han ido formando en el curso de las edades geológicas. Tres

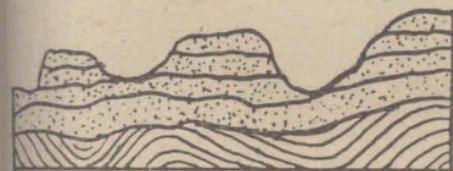


Fig. 140. — Montañas formadas por denudación.

ideas principales han dominado en la explicación de las fuerzas productoras de los relieves terrestres, a saber: la de los empujes verticales, la de los empujes tangenciales y la de la contracción (fig. 141).

a) **Teoría de los empujes verticales.** — Supone grandes cataclismos y hace intervenir el fuego central, por lo cual se

la llamó *teoría del vulcanismo*. Esta idea fué la primera que se despertó en los geólogos y dominó en la mente de Humboldt, quien atribuyó la formación de las montañas a la fuerza expansiva del núcleo incandescente, comprimido por la disminución de volumen de la tierra. Esta teoría, denominada de los *empujes verticales*, parte del supuesto que las fuerzas internas, obrando verticalmente, levantaron las masas rocosas, con los consiguientes trastornos estratigráficos de las actuales cordilleras, y con el estudio detallado de las cadenas montañosas, permitió fijar la edad de su levantamiento y, por lo que respecta a la Europa central, se creyó que podían precisarse cuatro grandes direcciones.

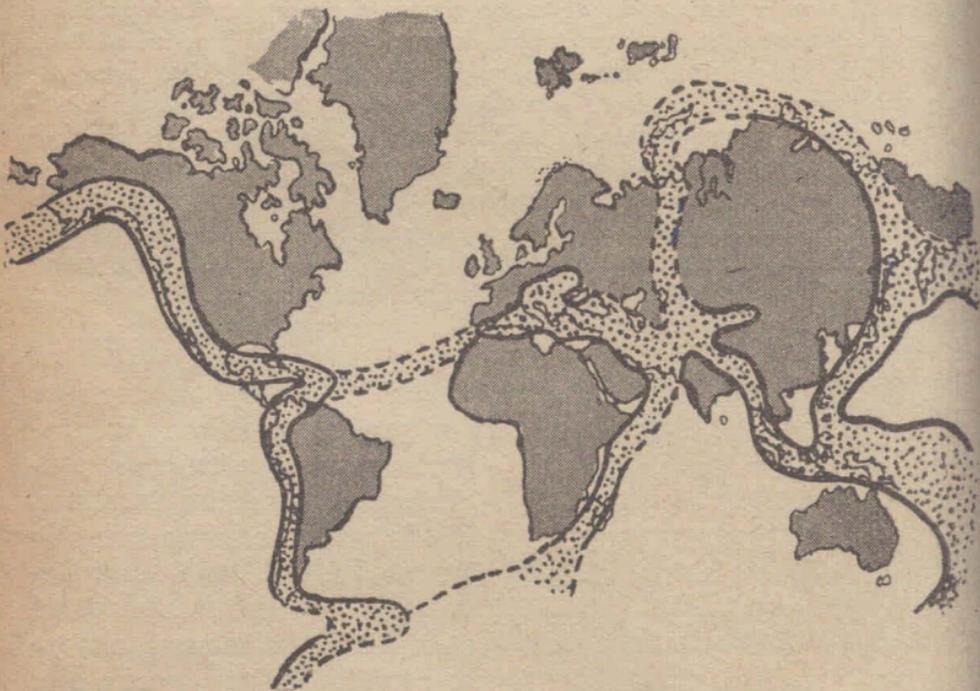


Fig. 141. — Zonas de plegamiento de la corteza terrestre.

b) **Teoría de los impulsos tangenciales.** — Se debe principalmente a Elías de Beaumont, partidario todavía del origen volcánico de los relieves terrestres. Supuso este autor que la corteza sólida del globo es de tan tenue espesor relativo, que puede considerarse como compuesta de una sustancia plástica, prescindiendo de la desigual resistencia de sus materiales. Según este autor, el antagonismo entre el núcleo central y la en-

voltura pétreo originó las arrugas y los abollamientos característicos de las actuales cordilleras, y esto en forma periódica, esto es, con repeticiones de tiempo en tiempo, que dieron lugar a grandes trastornos locales, separados por períodos de relativa calma, durante los cuales se acumulaban las fuerzas que habían de repetir la catástrofe.

Este autor dió especial importancia a las direcciones de los relieves montañosos, por entender que debía existir una íntima relación entre estos fenómenos geológicos y las direcciones de los pliegues convertidos en cordilleras. Pues bien, encontró que las alineaciones de las principales montañas siguen los círculos máximos de la tierra, pero entrecruzados con tal regularidad que, en su conjunto, pueden referirse a un dodecaedro pentagonal: de aquí que esta teoría se denomina de la *red pentagonal*. Pero, así como en la teoría de Humboldt dominaba el principio del impulso vertical, en la teoría de Elias de Beaumont domina el principio de la dirección, es decir, del impulso horizontal o tangencial.

c) **Teoría de la contracción.** — Los estudios del norteamericano Dana y del francés Lapparent hicieron modificar las ideas sobre el origen de los relieves montañosos, relegando a segundo término la teoría del vulcanismo de Humboldt y de Elias de Beaumont, o sea los cuatro postulados siguientes: 1.º, que los agentes volcánicos sean el factor principal de los accidentes orogenéticos; 2.º, que las montañas sean obra de impulsos verticales u horizontales; 3.º, que los relieves hayan cambiado incesantemente, alternando de continuo la posición de las tierras y de los mares; 4.º, que el nivel del mar haya permanecido invariable. Es que los geólogos comenzaron a dar importancia extraordinaria al principio de que, en general, los cuerpos disminuyen de volumen al enfriarse y lo aplicaron al globo terrestre, o sea que en el decurso de las edades debe haber reducido su volumen.

Aceptado este principio como base y puesta en tela de juicio la existencia del fuego central, hubo naturalmente necesidad de reformar las antiguas explicaciones sobre el origen de las cordilleras. Por de pronto, el vulcanismo apareció como meramente accidental, pues ni los pocos centenares de cráteres que se ha comprobado arrojan cenizas, ni los terremotos originados muchas veces sin relación alguna con el fuego central

podían dar la sensación de que los relieves terrestres obedecían principalmente a la energía almacenada en el interior del globo. Por esto puede decirse que, en la actualidad, ha desaparecido del lenguaje de los geólogos la palabra *cataclismo*, ideada para explicar el concepto antiguo que se tenía de las fuerzas orogénicas.

Pero esta teoría de la contracción, no pudiendo basarse sobre hechos observados, se dedujo directamente de la hipótesis de la disminución gradual del radio terrestre, como consecuencia de la teoría de Laplace, que suponía la tierra en estado de fusión, recubierta tan sólo por una capa sólida muy delgada. Sin embargo, no faltaron geólogos que trataron de precisar el valor de esta contracción por los plegamientos terrestres, distinguiéndose entre ellos Heim en 1878, quien se fijó para sus evaluaciones en las montañas del Jura (Francia) y de los Alpes (Suiza), deduciendo para las primeras un acortamiento en anchura de 22 kilómetros, y para las segundas 120 kilómetros; y extendiendo luego estos valores a las principales cadenas montañosas de la tierra, calculó en unos 57 kilómetros el acortamiento del radio terrestre en el decurso de las edades geológicas.

### 150. LOCALIZACION DE LOS FENOMENOS DE PLEGAMIENTO

— Se han ideado varios sistemas para explicar la localización de los plegamientos, algunos de ellos según líneas geométricas orientadas de suerte sobre el globo terrestre que llegarían a constituir una verdadera red. Tales son las hipótesis de la red pentagonal, de la red ortogonal y del sistema tetraédrico.

a) **Red pentagonal.** — La hipótesis de la red pentagonal fué propuesta en 1829 por Elías de Beaumont y recibida con grande aplauso y admiración del mundo científico de aquella época; sin embargo, en la actualidad se halla poco menos que relegada totalmente al olvido. Según esta teoría, los principales sistemas montañosos corresponden a grandes círculos que, cruzados regularmente, vienen a ser las aristas de un dodecaedro pentagonal inscrito.

A los 15 grandes círculos primitivos añadió un cierto número de círculos auxiliares, correspondientes igualmente a otros tantos sistemas de montañas, pues admite que las elevaciones de la misma dirección son debidas a un mismo eje y pertenecen a un mismo sistema; mientras que, por otra parte, los diversos sistemas son de edad diferente y debidos a la evolución de los principales, que precisamente corresponden a las limitaciones de los distintos períodos geológicos.

Como se ve, esta teoría daba ancho campo a la imaginación para idear sistemas; por esto no es de extrañar que en 1877 llegasen a 85 los sistemas diferentes propuestos; es que se fundaba en suposiciones que posteriormente

han resultado falsas, como, por ejemplo, el que los pliegues paralelos de la misma cordillera sean siempre de una misma edad, y este error se debió sin duda a la falta de mapas geológicos en aquella época. Otra de las objeciones principales contra esta teoría partió de Lapparent, el cual demostró la incompatibilidad entre la figura real de la corteza del globo y la de un dodecaedro pentagonal, pues siendo característica de éste la existencia de caras paralelas dos a dos, con los vértices en las extremidades de un mismo diámetro, esta misma disposición se habría de observar en la tierra, o sea que los salientes de los continentes y las depresiones oceánicas debieran repetirse por igual a una y otra parte del centro, y precisamente en el globo terráqueo sucede todo lo contrario.

b) **Red ortogonal.** — La hipótesis de la red ortogonal fué propuesta en 1892 por Bertrand, partiendo de una observación hecha anteriormente por Hebert en la cuenca de París, según la cual la corteza terrestre presenta en esta región dos plegamientos según dos direcciones que se cruzan en ángulo recto. Pero Bertrand, con esta simple observación, trató de generalizar este hecho a todo el planeta, pero con la orientación, no según los polos del eje de giro, sino según los polos magnéticos. Pero esta teoría apenas tuvo seguidores, pues la mayoría de los pliegues estratográficos no pueden considerarse perpendiculares unos a otros, como ni tampoco la posición de los polos magnéticos viene precisada por la convergencia de todas las líneas longitudinales del sistema ortogonal.

c) **Sistema tetraédrico.** — Más fortuna logró el sistema tetraédrico de la tierra, propuesto por L. Green en 1875 y defendido, entre otros, por Lallemand, Lévy y Haug, tal vez por explicar mejor que ninguno la existencia de las diversas cuencas marítimas y las prolongaciones continentales del hemisferio sur, fuera del soporte de la experiencia realizada por Lallemand con un globo de caucho, previamente hinchado, al que se le extrajo parte del aire, que al deshincharse adquirió la forma tetraédrica.

En esta teoría los cuatro vértices del tetraedro terrestre serían los macizos de los Alpes, del Himalaya, de las Montañas Roqueñas y las montañas descubiertas en el polo sur; mientras que las caras opuestas a estas pirámides serían los océanos Pacífico, Atlántico, Indico y Ártico. En esta teoría se pretende también explicar la separación de todos los continentes en dos macizos por la gran depresión mediterránea, así como también las extremidades meridionales de los continentes, a saber: América del Sur, África y Australia que se hallen algún tanto desviadas hacia el este. Es porque el gran tetraedro llamado tierra está dotado de un movimiento de rotación, y las protuberancias correspondientes a los tres vértices septentrionales se han ido retrasando, por hallarse más distantes del centro, lo cual ha determinado, por un lado, la rotura de los continentes no lejos de la zona ecuatorial y el desplazamiento de la parte meridional hacia el oriente.

151. **TEORIA DE LA ISOSTASIA.** — Esta teoría se debe al geólogo norteamericano Dutton, el cual se vió obligado a proponerla en sustitución de la teoría de los plegamientos por contracción, por considerarla cuantitativamente insuficiente y cualitativamente inexplicable. La idea dominante en el pensamiento de Dutton es que la tierra tiende continuamente a situar

sus partes constitutivas en estado de equilibrio y, por tanto, los movimientos producidos en su masa para llegar a este estado son los que deben explicarnos cumplidamente la formación de las montañas (fig. 142).

Si la tierra fuese homogénea, su figura de equilibrio sería un elipsoide de revolución, pero no siéndolo, por lo menos en su corteza, deberán necesariamente producirse abultamientos en las partes donde predominan los materiales livianos, y depresiones en los puntos donde predominan los materiales pesados, y se llama *isostasia* precisamente la condición de equilibrio de la figura que por gravitación tienden a adquirir los cuerpos no homogéneos, cuales son los planetas. Si no existiesen fuerzas contrarias, la tierra

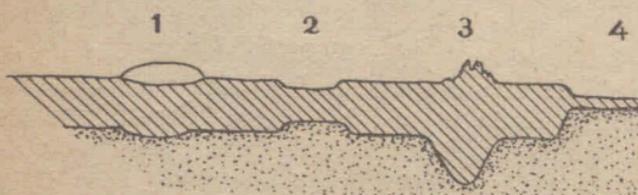


Fig. 142. — Corte ideal de la litosfera, según la teoría de la isostasia,

de las costas los materiales arrancados de las vertientes de las montañas de aquí que las plataformas continentales se encuentren aliviadas y, en cambio, se vaya produciendo un exceso de peso en los bordes oceánicos.

Ahora bien, para conservarse el equilibrio isostático, deben producirse movimientos que tiendan a llevar materia de las regiones sobrecargadas a las aliviadas de peso: este movimiento habrá de ser tangencial y dirigido del mar al continente, determinando a lo largo de las zonas litorales pliegues inclinados que formarán una cadena de montañas, perpendicular a la dirección del empuje. Las desigualdades que con esto se forman en la superficie deben compensarse en el seno de la corteza terrestre con un abultamiento en su parte inferior que se halla como flotante en los materiales más densos y dotados de cierta fluidez, llamados *sima* (figs. 143 y 144).

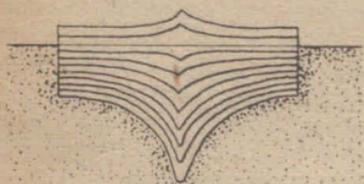


Fig. 143. — Comprensión con mantenimiento de la isostasia.

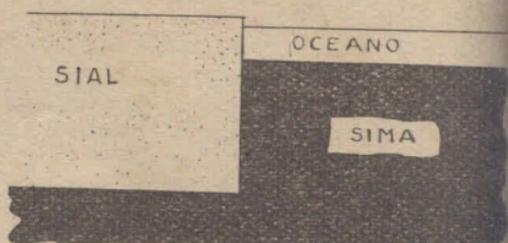


Fig. 144. — Esquema de las correlaciones entre el *sial* y el *sima*.

**152. LA DERIVA DE LOS CONTINENTES.** — La teoría de la deriva de los continentes se debe al alemán Alfredo Wegener, quien dio las primeras indicaciones de la misma en 1912, pero que no formuló de una manera completa y definitiva sino hasta el año 1920. Wegener con su teoría pretende explicar: 1.º, la forma del continente sudamericano, com-

tendría ya su figura isostática y no se producirían más movimientos orogénicos pero, de hecho, el equilibrio de la superficie se ve constantemente destruido por los cursos de las aguas que depositan en el mar a lo largo

físico francés Bouasse, quien no se explica cómo puede subsistir a 100 y más kilómetros de profundidad la diferencia entre el *sial* rígido y el *sima* viscoso; tampoco se explica, en el caso de existir semejante heterogeneidad de las masas profundas, qué agitador haya podido desplazar el bloque americano en un espacio del orden de 6000 kilómetros. Asimismo, Bouasse se muestra escéptico con respecto a la viscosidad atribuida al *sima*, diciendo que se trata de algo arbitrario y sólo sustentado para favorecer la causa que se defiende: lo más contundente —añade— sería procurarse un fragmento de *sima*, estudiar sus propiedades y compararla con las de otro fragmento de *sial*.

Otra objeción hace todavía Bouasse a esta teoría. La supuesta traslación —dice— de las masas continentales hacia poniente, debería arrastrar no sólo a América, sino también a África; y si en América se ha formado una cordillera en el borde occidental, por efecto de esta deriva, debiera existir también una cordillera parecida en el borde occidental de África, lo que no es así. Si se responde —añade— que América se ha desprendido de África quedando esta gran masa fija, puede objetarse que también se ha formado en África un desprendimiento parecido, cual es el Mar Rojo. Precisamente el bloque África, Europa y Asia, a causa de su mayor masa, debiera haber sido arrastrado más fácilmente por las fuerzas de superficie; y si a esto se contesta que no ha sucedido así por tener más firmes raíces, responde Bouasse que sólo arbitrariamente y para favorecer la causa que se defiende se puede hacer semejante suposición.

**153. MOVIMIENTOS EPIROGENÉTICOS.** — Se llaman *movimientos epirogenéticos* (del griego *epeiros*, tierra firme) y también *de báscula* ciertos movimientos de elevación, de descenso, de extraordinaria lentitud, que experimentan los continentes y se hacen perceptibles principalmente en las costas.

a) **Pruebas generales de actuales levantamientos y hundimientos.** — Muchos son los casos concretos que con mayor o menor evidencia prueban la realidad de tales movimientos, incluso durante los tiempos históricos. Así en algún punto de Suecia el movimiento de elevación de las costas se ha efectuado a razón de 1'60 metros por siglo, como lo demuestra una referencia acerca del nivel del mar grabada en 1730 en una roca de la orilla del Báltico. En Inglaterra y en la costa occidental de América del Sur son frecuentes las playas levantadas a 15 y 20 metros, con sedimentos litorales recientes o con acantilados separados de la línea actual de las costas dos o tres kilómetros. Asimismo en Santoña (España, a orillas del Mar Cantábrico) existe un acantilado con las argollas que sirvieron en la primera mitad del siglo XVI para amarrar las naves del emperador

Carlos V, cuando visitó esta población, y este acantilado se halla actualmente bastante lejos del mar. En cambio el suelo de Holanda se hunde a razón de 0,25 o 0,75 metros por siglo.

En la Argentina abundan también estos movimientos seculares de elevación y hundimiento de terrenos a veces muy extensos. Así, por ejemplo en todo el litoral ha habido un alejamiento del mar, según lo ponen de manifiesto los grandes barrancos de la provincia de Entre Ríos, llenos de caparazones de ostras, en capas que se hallan a 30 y aun a 80 metros sobre el río Paraná, lo cual prueba hasta la evidencia el levantamiento lento del terreno. En Buenos Aires (Belgrano, frente a la estación Golf) y en Puente Alsina en los alrededores de la Ensenada de La Plata, hay importantes bancos de conchillas, formados de diversos géneros de moluscos marinos, que aun se hallan vivos en las costas atlánticas del Plata, lo que indica que se trata de una elevación del terreno relativamente reciente. Al tiempo de formarse esos bancos conchíferos, las aguas del Atlántico penetraron en los cauces de los actuales ríos, como el Río Salado, de la Provincia de Buenos Aires, hasta 200 kilómetros tierra adentro. Luego la retirada del mar, por efecto de la elevación del terreno, dejó en seco los grandes bancos de conchillas marinas explotados en la actualidad.

Con todo, es necesario no confundir estos movimientos epirogenéticos con otros fenómenos, pues el mar puede depositar arena en ciertas zonas de la costa y parecer que se retira por elevarse el terreno, o por el contrario atacar la costa destruyéndola lentamente y parecer que el terreno se hunde al avanzar la línea de costa. Para distinguir esta mera erosión de los movimientos epirogenéticos, basta observar la magnitud del fenómeno, que si es de pura erosión no suele pasar de cierto límite, siempre muy pequeño.

**b) Movimientos alternativos o de báscula.** — Los movimientos epirogenéticos se llaman de báscula cuando aparecen en forma alternativa, o sea de sucesión periódica de levantamientos y hundimientos. Así se citan casos de este fenómeno en el litoral belga, de la Siria, de la China, de Australia y de Nueva Zelandia.

Pero el caso más típico de movimientos de báscula nos lo proporciona el templo de Serapis en las cercanías de Nápoles (Italia). En la actualidad está reducido a un cierto número de

columnas de mármol; pero en algunas de ellas se aprecia a unos 2 metros del suelo y en el espacio de 3 metros una zona materialmente acribillada de agujeros, que fueron hechos por moluscos litófagos, del género *Lithodomus*, cuyas caparazones se conservan aún dentro de algunos orificios. Como dichos animales no pueden vivir sino dentro de las aguas del mar, es necesario admitir que primeramente el templo fué construído sobre tierra, aunque en las cercanías del mar; que posteriormente el terreno se hundió, con lo cual el templo se sumergió en parte y sobre los fustes de sus columnas los moluscos horadaron sus viviendas. Un movimiento posterior de emersión hizo que el terreno se elevase y que el templo quedase nuevamente en seco. Por lo tanto, claramente se ve que dicho terreno en un principio se hundió lentamente, permaneció luego estable bajo el mar y posteriormente se volvió a elevar, quedando, como en la actualidad, fuera de las aguas marinas.

c) **Investigación precisa de los movimientos epirogenéticos.** — El conocimiento de los movimientos epirogenéticos obtenido con las observaciones de los hundimientos y levantamientos de las costas adolece de cierta imprecisión. La manera práctica de llegar a resultados precisos consiste en la ejecución de nivelaciones de alta precisión repetidas periódicamente, sobre una base de referencias fundamentales, establecidas en la roca firme y en condiciones excepcionales de duración y estabilidad, según propusieron los profesores Rove y Sartorius en la 2.<sup>a</sup> Conferencia General de la Asociación Geodésica Europea celebrada en 1867.

En Francia la primera nivelación general del territorio había comenzado en 1860, y en ella se encontró una diferencia de 1 metro entre los niveles del Atlántico, en Brest, y del Mediterráneo, en Marsella. Veinticinco años más tarde, entre 1884 y 1892, se practicó otra nivelación general, tres veces más precisa, y en los puntos comunes de las dos redes de nivelación se reveló una disconformidad progresiva, creciente de sur a norte, que en Lille alcanzaba ya 1 metro. De momento se creyó en la existencia de un importante movimiento de báscula del suelo, cuyo eje radicaba en los Pirineos; pero, en llegando a nivelación a Brest, se comprobó la inalterabilidad del nivel en aquel punto, con lo cual hubo de rectificarse esta opinión, suponiendo que los desacuerdos observados obedecían a errores sistemáticos de la antigua operación, pero de naturaleza desconocida.

En Suiza se descubrieron diferencias parecidas entre dos nivelaciones de un mismo itinerario, ejecutadas en el intervalo de pocos años; pero después se comprobó que obedecían a cierta variación de la longitud de las miras utilizadas en el decurso de la operación. En cambio, la repetición de otras nivelaciones puso de manifiesto la existencia de un descenso de las riberas del lago de Constanza, de unos 10 centímetros, y otro de 1 a 4 centímetros, entre 1881 y 1897, en la ribera del lago de Ginebra.

Para poder apreciar debidamente la dificultad que entraña el problema de la determinación de los movimientos verticales del suelo, bastará fijarse

en las siguientes consideraciones. Ante todo se necesita que los puntos comunes a dos operaciones de nivelación hayan permanecido rigurosamente en el mismo sitio durante todo el intervalo de tiempo, lo cual no siempre sucede o, por lo menos, no siempre es dado comprobarlo con toda certeza. En segundo lugar es menester que el nivel del mar no haya experimentado alteración, lo que tampoco se da con la generalidad que antes se creía. Al Atlántico en Brest ha descendido progresivamente de 1852 a 1870 a razón de 3 milímetros por año; pero, a partir de 1871, ha iniciado un ascenso, para volver a descender en 1886, alcanzando a 100 milímetros la amplitud de esta oscilación. También el nivel del Mediterráneo en Marsella ha experimentado oscilaciones de 1885 a 1906 en una amplitud de 90 milímetros.

En las operaciones mismas de nivelación suelen señalarse tres clases de errores: 1.º *Errores accidentales*, cuya influencia crece proporcionalmente a la raíz cuadrada de la longitud del camino, contado desde su origen; 2.º *errores sistemáticos*, que se consideran proporcionales a la longitud de las secciones homogéneas del camino; 3.º *errores de comprobación de las miras*, cuya importancia suele ser proporcional a la diferencia total del nivel, contado desde su origen. Un simple dato numérico hará ver la importancia de estos errores. Un itinerario de 600 kilómetros de longitud, dividido en secciones de 100 kilómetros cada una, con un collado de 2000 metros hacia su mitad, lleva fatalmente a una incertidumbre de 12 a 17 centímetros, aun en las condiciones más favorables de trabajo.

Otra fuente muy principal de errores reside en la atmósfera por razón de las diferencias de temperatura, de presión, de humedad, de diafanidad, etc. Por esto, para la exactitud final se requiere repetir varias veces las operaciones en condiciones atmosféricas bien diferentes. Por esto el Congreso Geológico Internacional de Niza en 1903 abogó por que se practicaran nivelaciones especialmente precisas en regiones sujetas a temblores, para comprobar si las cadenas de montañas son estables. En la cuenca del Paraná las nivelaciones de precisión efectuadas por la Dirección de Puertos y Navegación han revelado en dicha zona la existencia de pequeños hundimientos del terreno.

De todo lo expuesto fuerza es concluir que la comprobación rigurosamente científica de los movimientos epirogenéticos, en la actualidad, dista mucho de haber alcanzado el grado de perfección que la importancia del fenómeno requiere y que fuera dado esperar del progreso moderno realizado en esta clase de investigaciones.

#### 154. TRANSGRESIONES Y REGRESIONES MARINAS.

Se llama *transgresión marina* la invasión del mar en una región que se hallaba emergida, y *regresión marina* la retirada del mar de una región que estaba sumergida.

a) **Carácter del fenómeno.** — Las transgresiones marinas no se efectúan de golpe, sino paulatinamente, y los depósitos que se van formando cubren en forma gradual a los ya existentes. Por regla general, las invasiones marinas comienzan por una formación de conglomerados de elementos gruesos, llamados

conglomerados de base, y en cambio, las regresiones o retiradas del mar se caracterizan por una formación lacunar, en la que abundan depósitos salinos, capas de yeso, de sal, etc., formados al desecarse las lagunas, que por la progresiva elevación del continente quedaron aisladas del mar (fig. 146).

En las transgresiones marinas los estratos que se van formando descansan, parte en los ya formados y parte sobre la superficie recientemente invadida; según esto, en toda serie transgresiva las capas recientes son las de mayor extensión superficial. En las regresiones marinas, como el mar se retira, la parte emergida no recibe nuevos sedimentos y, por tanto, las capas que se van formando descansan sobre las ya formadas, pero sin recubrirlas en toda su extensión, por ser menor la superficie de sedimentación. Así, pues, en las series regresivas la capa más reciente es la de menor extensión superficial. Con todo, los límites de las transgresiones y regresiones de una región determinada son muchas veces difíciles de precisar, por la denudación y el transporte que sufren las capas de sedimentos, por la acción de las aguas y de los agentes atmosféricos.

#### b) Ley de las transgresiones y regresiones marinas. —

En la actualidad se da como causa de las transgresiones y regresiones marinas las oscilaciones lentas del suelo, que pueden ser positivas, si provocan una emersión, y negativas, si originan una inmersión. He aquí, en resumen, los puntos de vista de Peyloubet.

El estudio detenido de las principales transgresiones y regresiones marinas ha permitido formular una ley que dice así:



Fig. 146. — Ejemplos de transgresión (I) y de regresión (II) marinas.

"Las oscilaciones positivas de las áreas continentales son sincrónicas con las oscilaciones negativas de los geosinclinales". Esto quiere decir que, cuando se verifica una transgresión en una región, se produce al mismo tiempo una regresión en otra parte (figs. 147 y 148).

Estudiando más en particular este fenómeno, hanse podido establecer las siguientes reglas: 1.<sup>a</sup> Las transgresiones no se producen alternativamente en los dos hemisferios, sino que son

simultáneas, a uno y otro lado del ecuador; 2.<sup>a</sup>, no están localizadas según la latitud y tienen lugar simultáneamente tanto en las regiones polares como en las ecuatoriales; 3.<sup>a</sup>, no son universales, o sea que no afectan a la ve-



Fig. 147. — Formación continental regresiva y formación geosinclinal transgresiva.

a toda la corteza terrestre: esto es una consecuencia de la ley de la isostasia.

**155. MAREAS DE LA CORTEZA TERRESTRE.** — Bajo la doble influencia del sol y de la luna las aguas de los océanos experimentan con relación a la tierra firme oscilaciones periódicas, conocidas con el nombre de mareas. Bajo las mismas influencias, la parte sólida del globo experimenta también deformaciones periódicas de dos clases diferentes, las una que afectan solamente a las capas más superficiales de la corteza terrestre, y las otras que llegan a la masa misma del planeta.

a) **Mareas superficiales.** — Los movimientos periódicos de la capa más externa de la corteza terrestre se traducen en una oscilación diurna

aparente de la vertical, con relación al suelo supuesto fijo, si bien en ese caso lo que realmente permanece fijo es la vertical y lo que se mueve a su alrededor es el suelo. Esta oscilación se debe al caldeoamiento que experimenta la tierra vuelta de cara al sol, que tiene por efecto dilatarla de igualmente y no en toda su masa. Las regiones antípodas de las zonas

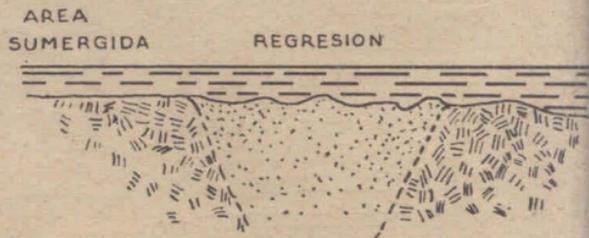


Fig. 148. — Formación continental transgresiva y formación geosinclinal regresiva.

caldeadas por el sol no lo son, a su vez, sino 12 horas más tarde. Habrá, pues, desviaciones aparentes de la vertical de periodicidad diurna.

Estos movimientos puramente superficiales se atenúan grandemente a medida que se profundiza en el suelo, de suerte que a 25 metros de profundidad, en terreno arenoso, está comprobado que la oscilación diurna aparente de la vertical sólo alcanza la séptima parte de la amplitud de la superficie.

**b) Mareas profundas.** — La segunda clase de deformaciones de la corteza terrestre se caracteriza por los *cambios reales* de dirección de la vertical, debidos a la atracción propiamente dicha del sol y de la luna sobre la masa de plomo suspendida de un hilo (plomada). Si la tierra fuera absolutamente rígida no experimentaría, por la atracción lunisolar, ninguna deformación, y en este caso las desviaciones de la vertical alcanzarían un máximo susceptible de ser registrado y determinado por el cálculo.

En efecto, la masa móvil de la plomada, sometida constantemente a la atracción lunisolar y accionada por los movimientos del sol y de la luna, describiría, de suyo, una cierta curva que podría registrarse sobre una hoja de papel colocada debajo de ella. Sin embargo, este movimiento de la plomada sería extraordinariamente pequeño, a pesar de que a primera vista pudiera parecer bastante considerable, y la razón de ello es la siguiente.

La masa del sol es 325.000 veces mayor que la de la tierra y el astro se encuentra a la distancia de 23.000 radios terrestres. Calculando la atracción, según la ley de Newton, se encuentra para la fuerza perturbadora el valor de 13 centésimas (0'13) con respecto a la pesantez. Pero todo cuerpo pesado y suspendido en la superficie de la tierra se mueve ya junto con ésta bajo la influencia de la atracción solar. Por consiguiente no quedará más como fuerza perturbadora de la vertical que la diferencia entre la atracción ejercida en la superficie y la atracción que se ejercería en el centro de la tierra. La cifra obtenida de esta suerte es 20.000 veces más débil que la precedente; por tanto, la fuerza real perturbadora de la vertical sólo alcanza la 26 diezmillonésima avá parte de la pesantez (0'000 002 6).

La luna, por su parte, posee una masa mucho más débil que el sol, pues sólo llega a la 80 avá parte de la masa de la tierra; pero esta pequeñez de masa está largamente compensada por su mayor proximidad a la tierra, de suerte que, hechos los cálculos, la disminución de la pesantez debida a la acción perturbadora de nuestro satélite es de unas 12 millonésimas (0'000 012). La amplitud de las oscilaciones del péndulo resultante de esta desviación es sólo de algunas centésimas de segundo de arco. Ahora bien, para un péndulo de 1 metro de longitud, la desviación de una centésima de segundo corresponde a un desplazamiento de cinco cienmilésimas de milímetro (0'000 05), o sea 5 centésimas de micrón, y esto en el caso más favorable de una rigidez perfecta de la tierra.

**c) Determinación de las desviaciones de la vertical.** — Para la determinación de las desviaciones de la vertical teóricamente se ofrecen dos procedimientos, uno directo mediante el péndulo y otro indirecto por las oscilaciones del nivel. Ambos métodos han sido llevados a la práctica, si bien al principio con escaso éxito. Pues en todos los primeros ensayos no se eliminaron suficientemente diversas acciones perturbadoras, particularmente la de la irradiación solar, cuyo efecto en la superficie equivale a unas 50

veces al de la atracción lunisolar. Se comprobó ciertamente una oscilación diurna de la vertical, pero nunca pudo sacarse en claro la parte correspondiente a la atracción de la luna y mucho menos a la del sol. Descorazonado H. Darwin por estos malos resultados, llegó a declarar en 1882 insoluble el problema. Sin embargo, en estos últimos años, diversos experimentadores han logrado dar al registro de las desviaciones de la vertical una solución satisfactoria, sirviéndose unas veces del péndulo y otras de un nivel especial. De todas las experiencias hasta ahora practicadas se deduce que la luna, por el fenómeno de la marea, hace levantar y bajar alternativamente la corteza terrestre unos 15 centímetros.

**156. TERREMOTOS O SISMOS.** — Son las conmociones de la corteza del globo, que ocasionan a menudo terribles catástrofes. Los terremotos se llaman *macrosismos* cuando pueden percibirse sin aparatos especiales en

algún punto de la tierra, y *microsismos* los que sólo son perceptibles con el auxilio de aparatos especiales.

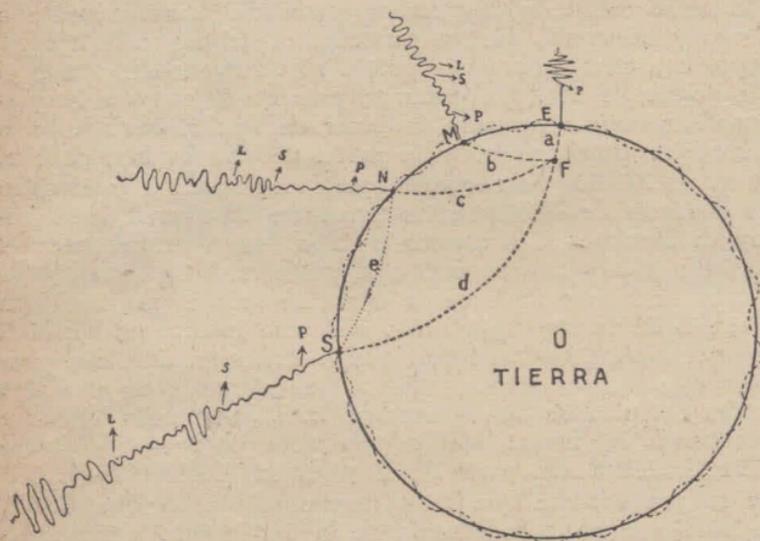


Fig. 149. — Esquema de la propagación de las ondas sísmicas por la tierra, con los sismogramas a que dan origen, según la distancia del foco: **F**, foco o hipocentro; **E**, zona epicentral; **M**, temblor cercano; **N**, temblor lejano; **S**, temblor muy lejano; **a**, **b**, **c**, y **d**, rayos sísmicos; **e**, ondas reflejadas.

a) Caracteres de los terremotos. —

En todo terremoto existe un foco o punto de partida que se llama *centro de conmoción* o *hipocentro*, a partir del cual el terremoto se propaga en todas direcciones.

nes formando ondas que reciben el nombre de *ondas sísmicas*, las cuales son comparables a las formadas en las aguas de un estanque cuando se arroja una piedra sobre él. La naturaleza del suelo influye grandemente en la facilidad de propagación de las ondas sísmicas y, por consiguiente, en la extensión de los terremotos. Las ondas sísmicas pueden ser longitudinales y transversales: las primeras se propagan a razón de 11.000 metros por segundo, y las segundas a razón de 6.000 metros también por segundo (fig. 149).

El sitio de la superficie del suelo que se encuentra sobre el centro de la conmoción se llama *epicentro* del terremoto, y de él parten, a manera de ondulaciones sobre el agua, ondas llamadas superficiales cuya velocidad es

de unos 3.500 metros por segundo. Por la diferencia de tiempo entre la llegada de unas y otras ondas a un determinado sitio de la tierra se calcula con grande aproximación la distancia de este sitio al epicentro (fig. 150).

b) **Registro de terremotos.** — Los aparatos destinados al registro de los terremotos se llaman *sismógrafos*. En principio este registro estriba en la obtención de un punto relativamente fijo, el cual, mientras se mueve la tierra, conserva, por decirlo así, la misma posición en el espacio sin seguir en sus movimientos a cuanto le rodea. Ahora bien, el aparato será tanto más perfecto, cuanto esta condición se consiga con mayor exactitud, para lo cual se necesita una masa considerable y que esta masa esté unida a tierra con el minimum de roce posible (figura 151).

La realización práctica de este principio difiere según sean los elementos del terremoto que se pretendan registrar. Para las *componentes horizontales*, o sea los movimientos en sentido horizontal, el punto relativamente fijo se consigue con péndulos suspendidos de un hilo y dotados de una gran masa pendular, la cual, en virtud de su considerable inercia, no puede seguir instantáneamente los movimientos del suelo. Para registrar la *componente cenital*, o sea los movimientos en sentido vertical, no se ha



Fig. 150. — Propagación de las ondas sísmicas, según Mallet.

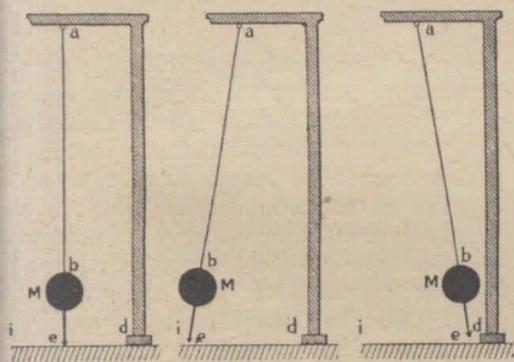


Fig. 151. — Diversas posiciones de un péndulo, según el movimiento de la tierra.

encontrado otro medio que el de resortes, sean planos o espirales. El modelo de resorte plano está formado simplemente por una lámina elástica, fija sólidamente en posición horizontal a un pilar o una pared en un extremo y sosteniendo en el otro una pesada masa metálica. La forma más simple de resorte espiral consiste solamente en un resorte colgado del techo del edificio, que mantiene por la parte inferior en el espacio una masa metálica (figs. 152, 153, 154 y 155).

En todos estos sistemas las masas pendulares se hallan en relación con algún juego de palancas que amplifican los movimientos y los dejan inscritos en una banda de papel blanco, pero ahumado, que pasa constantemente por delante de la aguja inscriptora y rozando con ella; después el humo del papel se fija con un barniz adecuado. Todavía existen otros modelos de inscripción más complicados, en los que el registro queda señalado sobre papel fotográfico. En la actualidad llega a 300 el número de tipos o modelos más o menos diferentes de sismógrafos. En los registros

de terremotos, llamados *sismogramas*, primero se registran las ondas directas *longitudinales*, luego las ondas directas *transversales* y por fin las ondas de superficie, llamadas *grandes ondas*.

c) **Efectos de los terremotos.** — A los terremotos suelen acompañar ruidos subterráneos, a veces de gran intensidad, debidos a las vibraciones que se propagan a través de los estratos. Es frecuente también en los terremotos el que se produzcan agitaciones violentísimas del mar, en forma de olas gigantescas, que se lanzan a la tierra ocasionando graves destrozos.

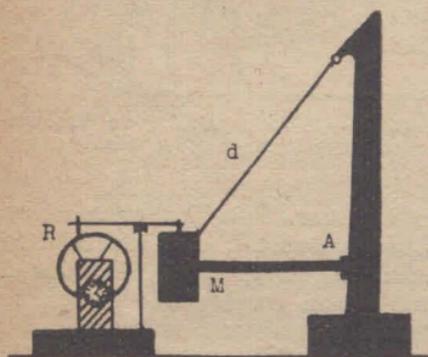


Fig. 152. — Sismógrafo horizontal Mainka.

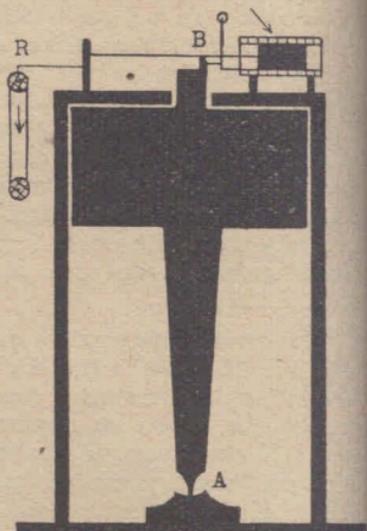


Fig. 153. — Péndulo astático de Wiechert.

Los terremotos suelen ser de efectos sumamente perniciosos para las construcciones, que se agrietan y derrumban, con muerte de sus moradores. En los terrenos se producen grietas, que a veces se cierran inmediatamente, pero que, en ocasiones, subsisten durante mucho tiempo. Además, no es raro encontrarse después de los terremotos con cambios de nivel entre las mismas capas de terreno, con la aparición o desaparición de fuentes, con ríos que han modificado su curso, etc. (figura 156).

Los desniveles creados a veces por los terremotos forman verdaderas fallas, como sucedió a fines del siglo pasado en el Japón (1891) y en San Francisco de California (Estados Unidos) en 1906, donde se abrió una gran grieta longitudinal y de un lado se hundió el terreno, produciendo un desnivel de 6 metros.

154. — Sismógrafo vertical Wiechert.

Cuando el centro del terremoto se halla en el mar, los terremotos se designan con el nombre de *maremotos*, los cuales van acompañados de grandes ondas sísmicas, llamadas en el Japón

tsunamis y olas de marea en Chile y Perú. Si estas olas se forman cerca de la costa pueden dar lugar a que el mar penetre en el interior de la tierra, arrastrando a veces consigo los barcos, los cuales pueden quedar en tierra al retirarse el mar. Olas de esta índole barrieron en 1908 los muelles del puerto de Messina y la costa de Calabria (Italia), la ciudad de Callao (Perú) en 1746, la de Concepción (Chile) en 1835, la de Yokohama (Japón) en 1923 y varias de Nueva Zelandia en 1931.

d) **Frecuencia de los terremotos.** — Los terremotos son más frecuentes de lo que cree el vulgo. Para dar una idea de la intensidad y número de los terremotos se los clasifica en 5 grupos, de acuerdo a las distancias desde las cuales son registrados por los delicadísimos aparatos llamados sismógrafos: 1.º entre 18.000 y 20.000 kilómetros a las distancias desde cualquier punto

de la tierra en 1927 se registraron 73; 2.º, entre 10.000 y 18.000 kilómetros en 1927 se registraron 237; 3.º, entre 6.000 y 10.000 kilómetros en 1927 se registraron 140; 4.º, entre 2.000 y 6.000 kilómetros en 1927 se registraron 102; 5.º, a menos de 2.000 kilómetros en 1927 se registraron 5.800 terremotos.



Fig. 156. — Grietas producidas en Calabria por el terremoto de 1783.

El total de las categorías 1.ª a 4.ª inclusive, o sea de terremotos registrados a más de 2.000 kilómetros de distancia, da 552 terremotos al año, lo que corresponde a 15 terremotos por día. Por tanto cualquier profeta de terremoto puede sin equivocarse pronosticar un terremoto. En donde se equivocará mucho más será al señalar la fecha de un terremoto para una localidad determinada.

e) **Distribución geográfica de los terremotos.** — Los terremotos se hallan distribuidos sobre la tierra en dos grandes círculos que se cortan en ángulo de 67° y tienen dos puntos comunes: uno en las Antillas y el otro en las islas Molucas. Uno de estos círculos se llama *alpino-himalayo* o también medite-

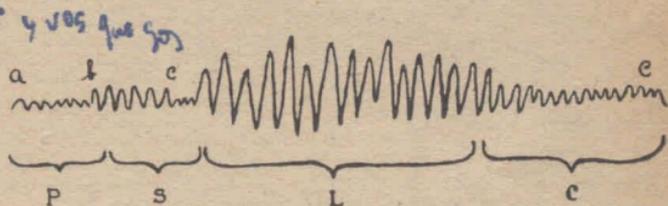


Fig. 155. — Sismograma típico con cuatro componentes principales: P, primeros precursores; S, segundos precursores; L, ondas principales; C, fase final.

rráneo, y va desde las Antillas, islas Azores, Lisboa, Mediterráneo, Asia Menor, Persia, India, Islas Molucas, norte de Australia y América Central. El otro círculo, llamado *circum-pacífico*, recorre las costas occidentales de América, islas Kuriles, Japón, Filipinas, Molucas y Nueva Zelandia.

### 157. CAUSAS DE LOS TERREMOTOS.

— Las causas de los terremotos parecen ser diversas, según la naturaleza de éstos. Los *microsismos* se cree que son debidos a las variaciones de presión y temperatura de las diferentes partes del globo, al choque de los vientos contra las montañas y los árboles, al embate de las olas, etc. Los *macrosismos* son debidos también a diversas causas, unas fundadas en teorías verdaderamente fantásticas y anticuadas



Fig. 157. — Hipótesis del agua de Tales de Mileto.

y otras en teorías recientes, más conformes con los adelantos de las ciencias

a) **Teorías antiguas.** — Siquiera a título de curiosidad y para formarse alguna idea de la mentalidad de otras edades, propondremos las teorías de dos autores muy antiguos, como que vivieron centenares de años antes de Jesucristo, a saber Tales de Mileto y Aristóteles.

1. La teoría de Mileto atribuye los sismos al agua. La tierra —dice— es un disco que flota sobre un mar infinito; las tempestades de este mar obligan al agua a penetrar por las grietas, al mismo tiempo que hacen balancear al disco del mundo. El agua inyectada, por efecto de presiones laterales, da lugar en la superficie la aparición de las fuentes que se observan en los sismos (fig. 157).

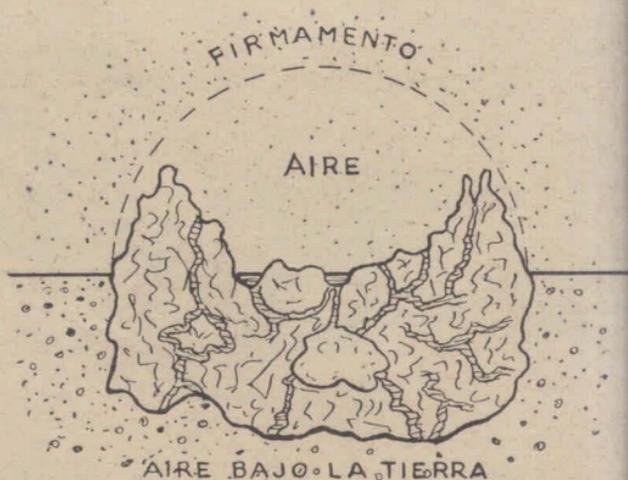


Fig. 158. — Hipótesis del aire de Aristóteles.

2. La teoría de Aristóteles atribuye los sismos al aire. La evaporación del agua en la superficie y en los núcleos internos de combustión da lugar a una activa circulación de aire a través de las resquebrajaduras de la tierra. Ahora bien, las irregularidades de esta circulación se manifiestan al exterior en forma de sismos (fig. 158).

b) **Teorías modernas.** — Actualmente los macrosismos se dividen en tres grupos, a saber: de hundimiento, volcánicos y tectónicos.

1. Los *terremotos de hundimiento* son debidos al derrumbamiento de cavernas interiores y suelen ser muy locales. Tal es el origen de algunos terremotos suizos, en los huecos dejados por las aguas subterráneas que con su poder disolvente toman grandes cantidades de yeso.

2. *Terremotos volcánicos* son los que preceden o acompañan a las erupciones volcánicas, y son producidos por las explosiones del interior del cráter y por el esfuerzo de la lava que pugna por salir. Estos terremotos, aunque locales, suelen ser de terribles consecuencias.

3. *Terremotos tectónicos* son los que conmueven con más o menos intensidad toda la corteza terrestre y se creen relacionados con los fenómenos orogénéticos, pues la corteza, por el enfriamiento interior, está sometida al esfuerzo de tensión y de compresión, que origina de tiempo en tiempo alteraciones de equilibrio, como plegamientos, roturas de capas y deslizamiento de sus paredes, con las consiguientes

sacudidas, capaces de propagarse a gran distancia. Los movimientos de esta índole son, sobre todo, tangenciales, o formadores de los pliegues de montañas, producidos por presiones laterales. Con todo, según parece, no pocos movimientos sísmicos tienen por causa la caída o desplazamiento de enormes bloques en la pirofera, o el reajuste de algunas bandas inmensas de terreno, al ceder las inferiores en virtud del enfriamiento y de la consiguiente disminución del radio terrestre; por eso estos movimientos se llaman verticales, a diferencia de los anteriores, que son más bien tangenciales (fig. 159).

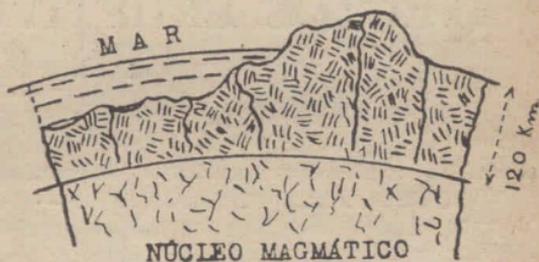


Fig. 159. — Teoría isostática de Pratt.

## CAPÍTULO XII

# EFECTOS ERUPTIVOS DEL CALOR CENTRAL

SUMARIO: 158. Formas bajo las cuales actúa el calor central. — 159. Volcanes y sus características. — 160. Las erupciones volcánicas. — 161. Diversos tipos de erupciones. — 162. Erupciones submarinas. — 163. Materias arrojadas por los volcanes. — 164. Emanaciones eminentemente gaseosas. — 165. Fuentes hipógenas. — 166. Distribución geográfica de los volcanes. — 167. Hipótesis para explicar el vulcanismo. — 168. Filones y sus clases.

**158. FORMAS BAJO LAS CUALES ACTUA EL CALOR CENTRAL.** — De tres maneras actúa el calor central sobre la corteza terrestre: 1.º Por *efectos eruptivos*, consistentes en la aparición al exterior de materiales en estado pastoso-igneo y de gases y agua a elevada temperatura. 2.º, por los *efectos metamórficos*, o sea por los cambios que las corrientes eruptivas o hidrotermales imprimen en las rocas que encuentran a su paso. 3.º, por los *efectos de movimiento*, representados por las oscilaciones bruscas y pasajeras, denominadas terremotos, o por movimientos lentos, llamados orogénicos y epirogenéticos. En este lugar estudiaremos principalmente los primeros efectos, o sea los eruptivos.

**159. VOLCANES Y SUS CARACTERISTICAS.** — Se llaman *volcanes* ciertas montañas, generalmente de forma cónica, que de tiempo en tiempo lanzan al exterior materias en ignición por una abertura de su cima.

En todo volcán cabe considerar: 1.º El *foco* o región profunda de la litosfera, donde se originan las materias fundidas. 2.º, la *chimenea* o conducto por donde se verifica la ascensión.

o, el *cráter* o parte terminal de la chimenea, en forma de embudo, con la parte ancha hacia fuera; 4.º, *cono volcánico* o *montaña volcánica*, que está formada por lavas o materias fundidas arrojadas por la chimenea, las cuales afectan en conjunto forma cónica con el cráter en el vértice (fig. 160).

Hay mucha variedad en la anchura de los cráteres y magnitud de los conos volcánicos. Así el cráter del Pichincha, en el Ecuador, mide 1600 metros; el antiguo de la Somme, en el Vesubio. (Italia) 4 kilómetros, algunos de las islas de la Sonda 6 kilómetros y el antiguo de las Cañadas; en Teide (Canarias), 12 kilómetros. Algunas de las montañas volcánicas son muy elevadas, como la del Cotopaxi, en México, que se alza 2000 metros sobre el valle y alcanza 5690 metros de altitud sobre el nivel del mar.

Pero además de la chimenea central o principal suele haber en los volcanes otras laterales, denominadas secundarias, adventicias o parásitas, que a veces son muy numerosas. Así en el Vesubio hay unas 10 y en el Etna (Sicilia) unas 700.

Las capas de lava que constituyen las montañas volcánicas están inclinadas en todas direcciones a partir de la chimenea y casi siempre formando un ángulo con las capas sedimentarias en que se apoyan.

Los volcanes pueden ser activos o apagados: 1.º *Volcanes activos* son los que poseen ordinariamente períodos de actividad, conocidos con el nombre de *erupciones*, que alternan con períodos de calma o reposo más o menos absoluto. - 2.º *Volcanes apagados* o *extinguidos* son los que no han presentado ninguna erupción en períodos históricos, según los hay, por ejemplo, en Auvernia (centro de Francia) y en la Mancha (centro de España). La duración de los períodos de actividad y de reposo en los volcanes activos es muy variable: algunas veces los pe-

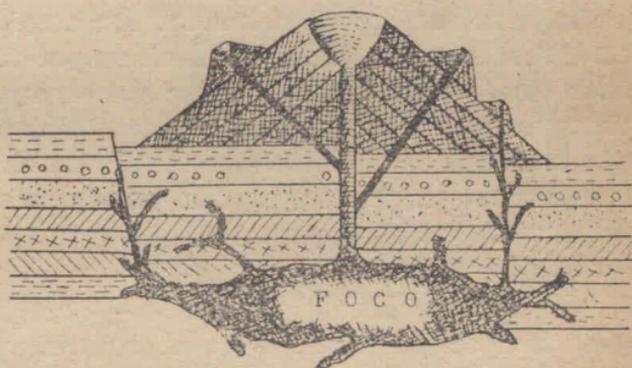


Fig. 160. — Esquema del interior de un volcán.

ríodos de reposo son tan prolongados, que pueden dar lugar a que se consideren los volcanes como extinguidos, como sucedió con el Vesubio, que antiguamente era considerado como volcán extinguido, hasta que el año 79 de nuestra era tuvo la erupción que se hizo tristemente célebre en la historia, por cuanto enterró a las poblaciones de Herculano y Pompeya, con muerte de todos sus habitantes.

**160. LAS ERUPCIONES VOLCANICAS.** — Se llama *erupción volcánica* el acto de los volcanes de arrojar materiales al exterior. La erupción de un volcán es uno de los fenómenos más imponentes y terribles de la naturaleza.

a) **Fenómenos precursores.** — Antes de principiar las erupciones suelen percibirse ruidos subterráneos y salida de vapores, que forman una densa columna. En ocasiones estos ruidos subterráneos semejan a los producidos por truenos lejanos, ruidos a los que en Centroamérica se da el nombre de *retumbos*, los cuales pueden ir acompañados de terremotos locales, a veces de grande intensidad. Se ha observado también que los manantiales próximos al volcán se agotan unas veces y otras aumenta la temperatura de sus aguas.

b) **Descripción del fenómeno.** — En la parte alta y paredes del cráter se producen derrumbamientos y finalmente se lanza hacia el cielo y de una manera brusca y con gran violencia una columna de humo negro, que se eleva a grandes alturas en la atmósfera, conservando su verticalidad durante tres o cuatro mil metros, a pesar de soplar en ocasiones vientos relativamente fuertes. Luego, perdida su fuerza de ascensión, la columna se ensancha a manera de pino parasol en volutas redondeadas y de aspecto macizo, que lentamente son impulsadas en la dirección del viento y se deshacen al caer sobre la superficie del suelo los materiales sólidos constitutivos de la nube.

Estas masas están formadas por cenizas y polvo, procedentes de la trituración de las rocas que formaban las paredes de la chimenea y parte de las del cráter, por escorias y lavas pulverizadas, materiales que no tardan en caer los más gruesos sobre el mismo cráter y cono volcánico y los más finos a distancias cada vez mayores, en relación con la finura de los materiales y la fuerza del viento; y así se da el caso de llegar cenizas volcá-

nicas a 1000 y 2000 kilómetros de distancia, como sucedió en la Argentina hace pocos años con algunos volcanes andinos (fig. 161).

c) **Mecanismo de las erupciones.** — El mecanismo de las erupciones volcánicas se explica en la actualidad mediante el desarrollo de gran cantidad de agua y otros diversos gases y vapores en las zonas profundas de la corteza terrestre. Es que todas las rocas volcánicas (granitos, dioritas, basaltos, etc.) contienen gran proporción de agua en su masa, y así un kilogramo de granito desecado a  $200^{\circ}$ , previa trituración, desprende por término medio unos 10 gramos de agua, o sea unos 10 litros por tonelada, que ocupa algo menos de un metro cúbico. Por aquí se comprende fácilmente el origen de las enormes nubes de vapor de agua que se desprenden de los volcanes, dado que un kilómetro cúbico de granito daría 26 millones de metros cúbicos de agua, cantidad de líquido que, reducida a vapor, bastaría para dar origen a una erupción cuatro veces más importante que la del Vesubio de 1865.

Cuando las grandes masas gaseosas encerradas bajo enormes presiones en el interior de la tierra pueden escapar por grietas originadas en el seno de la tierra por los movimientos orogénicos o por los terremotos, la expansión de los gases hace que éstos tiendan a salir violentamente por las roturas, arrastrando tras sí al mismo tiempo a la masa pastosa o magma y originando las terribles explosiones características de la generalidad de las erupciones. El proceso, pues, es semejante al que se produce cuando se destapa una botella de líquido gaseoso, que no sólo lanza el tapón a distancia, sino que, al desprenderse el gas violentamente, impulsa al líquido fuera de la vasija.



Fig. 161. — Sección de un volcán en actividad.

**161. DIVERSOS TIPOS DE ERUPCIONES.** — Las erupciones volcánicas no son todas iguales, sino que difieren bastante unas de otras, debido sobre todo al estado físico de las lavas, o sea a la mayor o menor fluidez o viscosidad de las mismas en el momento de la erupción. Con todo, pueden reducirse a cuatro tipos principales bien caracterizados, que son: el hawaiano, el estromboliense, el vulcaniense y el pelense, que pueden presentarse sucesivamente en un mismo volcán.

a) **Tipo hawaiano.** — Se llama así por presentarse en los volcanes Mauna-Loa y Kilauea, de las islas Hawaii o Sandwich, en el Pacífico. La lava de estos volcanes es muy fluida, y en los periodos de actividad del volcán sale sin violencia ni explosiones ni proyección de cenizas, que llenan completamente el cráter y que, al desbordarse, originan en las vertientes corrientes como la del agua, y que, como ésta, produce verdaderas cascadas hasta que enfriándose lentamente se solidifica. Estas lavas llegan a sitios muy distantes del volcán, y el vapor de agua y los gases que salen de la lava encerrada en el cráter lo hacen asemejar a una inmensa caldera en ebullición.

b) **Tipo estromboliense.** — Es característico del volcán Estrómboli, de archipiélago de Lípari, en Italia. La lava es menos fluida que en el tipo hawaiano, pero también avanza con rapidez y cubre grandes extensiones de terreno. En las erupciones, la salida de los gases y vapores se verifica con gran violencia, determinando abundantes proyecciones sólidas, conocidas con los nombres de bombas, bloques, escorias y cenizas, según el tamaño. Las lavas salen del cráter con gran facilidad, y al escapar de ellas los gases y vapores dejan oquedades, que dan a la superficie el aspecto de una escoria

c) **Tipo vulcaniense.** — Lo presentó el Vulcano, de la isla del mismo nombre, en Lípari, los años 1888 y 1889. La lava de los volcanes de este tipo es muy viscosa, por lo cual al salir tiende a taponar el cráter. Por esta circunstancia, la salida de los gases y vapores no se verifica con la facilidad que en los tipos anteriores, sino que tiene que hacerlo bruscamente originando explosiones violentas que determinan la pulverización de la lava y la formación de abundantes cenizas.

De estos productos sólidos los más pesados caen en las vertientes del volcán y lugares próximos, mientras que los más livianos, mezclados con el vapor de agua y gases, determinan la formación de grandes y densas nubes, las cuales, en llegando a las regiones frías de la atmósfera, condensan el vapor de agua, que puede caer en forma de lluvia, en las vertientes del volcán y arrastrando las cenizas allí existentes determinan corrientes de barro, que avanzan a grandes velocidades. De este tipo fueron las cenizas y el barro de la erupción del Vesubio del año 79.

d) **Tipo pelense.** — Su nombre viene de la Montaña Pelada, en la isla de Martinica (Antillas), que hizo una terrible explosión el año 1902. Se parece al tipo vulcaniense, pero con las lavas más viscosas aún y con nubes descendentes en vez de ascendentes. La temperatura de estas nubes es elevadísima, de donde el nombre de nubes ardientes con que se las conoce, fueron las que en 1902 destruyeron la ciudad de San Pedro, con muerte de casi todos sus habitantes.

**162. ERUPCIONES SUBMARINAS.** — Son un caso particular de erupciones volcánicas, que de suyo son iguales a las que se observan en la superficie terrestre. Al iniciarse la erupción se nota un levantamiento de las aguas, las que producen olas de traslación de 100 a 200 metros de altura, que recorriendo el océano van a estrellarse sobre las costas. Como se comprende fácilmente, en estas erupciones las corrientes de lava no pueden adquirir gran desarrollo, y las cenizas y pómez repartidas por las corrientes marinas a grandes distancias se mezclan con los sedimentos ordinarios, y los aparatos éxternos del volcán, si llegan a constituirse, son prontamente destruídos por la acción del oleaje.

Muchos son los ejemplos de erupciones volcánicas submarinas que han hecho aparecer en la superficie del mar islas de existencia efímera. El ejemplo mejor nos lo proporciona la isla Julia, aparecida en 1831 entre las islas de Sicilia y Pantellería, que alcanzó 70 metros sobre el nivel del mar y desapareció al cabo de cuatro o cinco meses. En las islas Azores apareció también en 1678 una isla, que luego desapareció, reapareció en 1750, se sumergió de nuevo en 1811 y reapareció dos veces en 1867. Esto no significa que todas las islas volcánicas hayan tenido vida tan efímera. Y así están en la actualidad las Islas Kuriles (en la parte septentrional del Pacífico), las Islas Canarias y las Islas Azores, todas ellas de origen volcánico y de gran antigüedad.

**163. MATERIAS ARROJADAS POR LOS VOLCANES.** — Las materias arrojadas por los volcanes son de tres clases, a saber: gases y vapores, productos fundidos y materiales sólidos.

a) **Gases y vapores.** — Los *gases y vapores* de los volcanes se presentan unas veces en forma de nubes densas, denominadas *nubes ardientes*, y otras veces casi transparentes, con productos inflamables que, al arder, sobre todo de noche, dan al panorama un aspecto aterrador.

b) **Productos fundidos.** — Los *productos fundidos* que desde el cráter se desbordan por la montaña se comprenden con el nombre de *lavas*. Su composición varía muchísimo en los diferentes volcanes, predominando sobre todo la sílice y la alúmina. Las grandes masas de lava solidificada constituyen las llamadas *corrientes volcánicas*, que a veces ocupan extensiones enormes de terreno; su constitución difiere, según sea en la superficie, en la parte media o en la base, lo cual depende de la rapidez del enfriamiento. La parte superficial suele ser de apariencia escoriácea; la porción inmediata a la superficie presenta la forma de losas, y la parte interna se halla en forma de columnas prismáticas (basaltos).

c) **Productos sólidos.** — Los *productos sólidos* que arrojan los volcanes son de dos clases: unos son piedras arrancadas de la chimenea del volcán por la fuerza de la erupción; otros, en cambio, son materiales que primariamente estuvieron fundidos, pero que se solidificaron en el aire, por lo cual suelen presentar formas más o menos redondeadas. Estos materiales reciben nombres diversos, según su tamaño; las masas fusiformes con un núcleo pétreo no volcánico se llaman *bombas volcánicas*; las que se ofrecen como grava gruesa escoriácea se llaman *lapilli*; las que se presentan como arena se llaman *puzzolana*, y las que se extienden como polvo fino se designan con el nombre de *cenizas volcánicas*.

**164. EMANACIONES EMINENTEMENTE GASEOSAS.** — Las emanaciones volcánicas eminentemente gaseosas son de cuatro tipos: las fumarolas, las fuentes ardientes, las mofetas y las macalubas.

a) **Fumarolas.** — Se llaman *fumarolas* (del latín *fumus*, humo) ciertas emanaciones de vapor de agua, que ordinariamente lleva consigo ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso o también ácido bórico, formando grandes humaredas, el agua, al condensarse luego en la atmósfera, se precipita y forma en los alrededores ciertas lagunas que ofrecen el aspecto de un hervidero. Las fumarolas ricas en ácido sulfhídrico y que dejan en torno suyo depósitos de azufre, reciben el nombre de *sulfataras* o *azufrales*; este azufre proviene de la oxidación que experimenta el ácido sulfhídrico caliente en contacto del aire. Las fumarolas se hallan junto a los volcanes que por algún tiempo producen emanaciones de sólo gases y vapores después de la erupción.

b) **Fuentes ardientes.** — Son emanaciones de carburos de hidrógeno, que salen de ciertas grietas de la tierra y se inflaman con facilidad, especialmente si se les aplica alguna substancia en ignición. Son frecuentes en terrenos petrolíferos, como en la región petrolífera de Bakú (Mar Caspio), donde el gas que se desprende es recogido y utilizado para la calefacción y alumbrado de los pueblos de la región. Emanaciones de esta clase existen en Caldones (Asturias, España), donde se ha tratado de aprovechar sus gases combustibles, consistentes principalmente en metano.

c) **Mofetas.** — Se llaman *mofetas* (del holandés *muf*, que huele a moho) las emanaciones de gases a la temperatura del ambiente; estos gases suelen componerse de anhídrido carbónico, el cual, por ser más denso que el aire, se queda sobre el suelo en las cercanías de la emanación. Existen mofetas en los campos de Calatrava (Ciudad Real, España), en donde hay manantiales de los que se desprende gran cantidad de anhídrido carbónico, que origina un ruido semejante al del agua en ebullición; de aquí el nombre de *hervideros* con que se designan en la región a estos manantiales, y también el de *aguas agrias*, por el sabor picante que les presta el gas carbónico.

Otra mofeta interesante se halla en la Gruta del Perro, a poca distancia

del lago Agnano, en la campiña napolitana (Italia). Esta gruta tiene una hendidura, por donde se desprende gas carbónico, que siendo más denso que el aire forma una capa de unos 50 centímetros, y que por ser inepto para la respiración, ocasiona la muerte o el atontamiento de todo animal de escasa talla, mientras que las personas no respirando en la zona por él ocupada no experimentan molestia alguna. Típica es también la mofeta existente en la región Gnevo-Upas, de la Isla de Java, en un valle denominado "El valle de la Muerte", porque todo ser viviente que se aventura a entrar en él muere, pues su fondo está ocupado por una capa de gas carbónico de 175 metros de espesor, que se desprende de un orificio de unos 30 centímetros de diámetro y proporciona cantidad suficiente de gas para reemplazar al que constantemente se lleva el viento. Los cadáveres de dicha región tardan mucho en descomponerse, protegidos por el gas carbónico, y atraen a otros animales, que no tardan en caer desfallecidos y morir, lo cual explica que todo el valle esté sembrado de carroñas y osamentas.

d) **Macalubas.** — Las *macalubas* (de una palabra árabe que quiere decir desorden o destrozo) son unos *volcancitos de fango*, que emiten diversos carburos de hidrógeno, acompañados a veces de anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico, en terrenos arcillosos. Estos desprendimientos dan lugar a la formación de pequeños conos de barro que semejan volcanes. Algunas macalubas están relacionadas con los volcanes y en la proximidad de éstos; otras son independientes de ellos. Se encuentran en Sicilia, Colombia y Centro América.

Es famosa la macaluba de Girgenti (Italia), que consiste en una colina arcillosa de unos 50 metros de elevación, en cuya cumbre existe un centenar de pequeños conos, cada cual con su cráter, sumamente perfecto. Estos están rellenos de un barro arcilloso, salobre, que parece que hierve por el desprendimiento constante de burbujas gaseosas.

165. **FUENTES HIPOGENAS.** — Se llaman *fuentes hipógenas* (del griego *hipó*, debajo, y *genós*, engendrado) las emanaciones de agua a temperatura superior a la ordinaria y que se las supone relacionadas con los fenómenos volcánicos. Las principales son los *soffioni*, los *géyseres*, las fuentes termales y las salzas.

a) **Soffioni.** — Los *soffioni* son ciertos surtidores de vapor de agua a temperatura superior a 100°, que llevan mezclados ciertos cuerpos, particularmente anhídrido carbónico y ácido bórico; el agua, al condensarse, se precipita y forma en los alrededores ciertas lagunas que ofrecen el aspecto de hervideros. Los hay en Toscana (Italia) y en los Estados Unidos.

b) **Géyseres.** — Son fuentes intermitentes de agua caliente, que la arrojan en forma de surtidores a grande altura. Suelen acompañar a la expulsión fuertes detonaciones y estremecimientos del suelo. A menudo la temperatura del agua de los géyseres es superior a 100° por las sustancias que lleva en disolución, entre las cuales es frecuente la sílice gelatinosa, que al depositarse produce el ópalo geyserrita. Estas fuentes se llaman géyseres, del islandés *geysa*, que significa fluir con violencia. Los más antiguos conocidos son los de Islandia, donde existen más de un centenar, y uno de ellos, denominado

Gran Géyser, al sudeste de la isla, eleva su gran penacho de ardiente agua y vapor en medio de una llanura rodeada de glaciares.

Los géysers presentan externamente unos pequeños conos aplastados, formados de sílice gelatinosa, que en el Gran Géyser mide 10 metros de elevación por 70 de diámetro; en lo alto de dicho cono silíceo se abre un pequeño cráter circular de unos 20 centímetros de diámetro, en el cual desemboca la chimenea del géyser, que presenta sus paredes enteramente pulidas.

Cuando el géyser está tranquilo, el cráter se presenta lleno de agua a la temperatura de unos 80°, pero que en su profundidad llega a 127°. De tiempo en tiempo, en forma irregular, de 24 a 30 horas, se percibe un ruido semejante a un trueno subterráneo, el suelo trepida alrededor del pequeño cráter y el agua de la chimenea asciende hasta el mismo borde, dejando romper grandes burbujas de vapor, que revientan en la superficie; hasta que, al fin, el agua es lanzada con extraordinaria violencia fuera del cráter en forma de columna vertical de unos 3 metros de diámetro, a la altura de unos 50 metros. Nubes de vapor rodean al gigantesco chorro en gran cantidad, y unas 6 horas más tarde el géyser vuelve a su calma (fig. 162).

En algunos géysers pueden provocarse erupciones arrojando piedras al interior del cráter, como sucede con el Viejo Fiel, del Parque Yellowstone, en los Estados Unidos, el cual, si no se provocan las erupciones, es sumamente regular, pues deja escapar una columna de vapor y de agua cada 65 minutos; de aquí el nombre con que se le conoce. Otro géyser importante, situado en el mismo Parque Yellowstone, es el denominado Géyser Gigante, cuya columna de agua alcanza a veces una altura de 60 metros.

Las erupciones de los géysers parecen producirse cuando determinada zona de la columna de agua que llena la chimenea, adquiere la temperatura necesaria para la ebullición, la cual ciertamente es bastante superior a 100°, por razón de las muchas sustancias que lleva en disolución.

c) **Fuentes termales.** — Se llaman *fuentes termales* o *caldas* los manantiales cuya temperatura es superior a la del ambiente e inferior a 100°. Suelen contener diversas sustancias en disolución y no siempre están en relación con los fenómenos volcánicos, sino que a veces deben su temperatura simplemente al hecho de provenir de capas muy profundas.

Las fuentes termales han contribuido mucho en ocasiones a los fenómenos de metamorfismo, y los materiales disueltos que suelen contener, ferruginosos, bicarbonatados, nitrogenados, etc., los toman de los terrenos que atraviesan o de emanaciones procedentes del interior del globo. Las corrientes hidrotermales profundas se cargan con frecuencia de emanaciones metálicas, con las cuales rellenan las hendiduras de los terrenos, formando filones metálicos.

d) **Salzas.** — Las *salzas* o *volcanes de lodo* son emisiones de agua salada, muchas veces mezclada con hidrocarburos, junto con gran cantidad de barro y lodo. Son notables las del Cáucaso, algunas de las cuales miden 400 metros de diámetro. Las *salzas* se originan muchas veces por la formación de hidrocarburos en sitios de fondo pantanoso, donde hay enterradas muchas sustancias orgánicas. Una vez que adquieren cierta importancia, esos gases y líquidos hidrocarburos salen por pequeñas aberturas, semejantes a los volcanes, arrastrando consigo gran cantidad de agua y lodo.

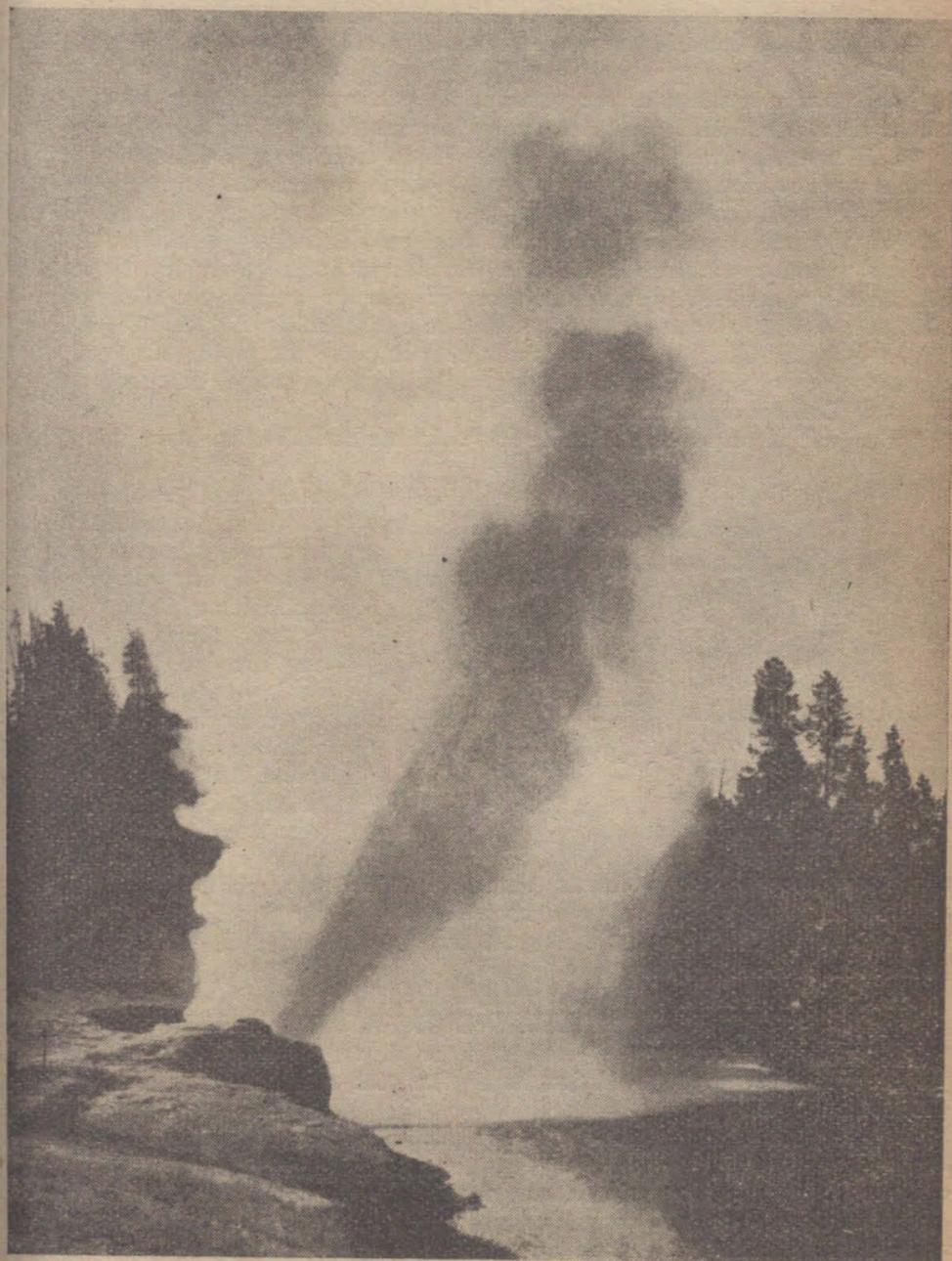


Fig. 162. — El géyser **Riverside**, en Yellowstone (Estados Unidos), que entra en acción cada 8 horas.

**166. DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS VOLCANES.** — Es muy importante para conocer las causas del vulcanismo. En general los volcanes rara vez se encuentran en el interior de los continentes, son bastante frecuentes en los bordes de los mismos y muy numerosos en las islas y penínsulas.

Se pueden distinguir tres grandes alineaciones volcánicas: 1.<sup>a</sup> La gran cresta americana de los Andes, con innumerables volcanes, desde Alaska hasta Tierra del Fuego; 2.<sup>a</sup>, la de las islas Aleutinas, Kuriles, del Japón, Sonda y Nueva Zelandia, hasta el volcán Erebo, cerca del polo sur; 3.<sup>a</sup>, desde Juan Mayén, en el norte de Islandia, a los volcanes extinguidos de Auvernia (Francia), que luego se subdivide en dos líneas: una que se dirige por los volcanes activos de Italia e islas adyacentes (Vesubio, Estrómboli, Etna, etc.) y continúa por los volcanes activos de la gran cordillera oriental africana; la otra línea pasa por los volcanes apagados del nordeste (Gerona) y centro (Ciudad Real) de la Península Ibérica, y se dirige por las islas de la costa occidental de Africa, Cabo Verde, Canarias, Azores, Ascensión, Santa Elena y Tristán de Acuña.

En general se puede decir que los volcanes se hallan en las zonas débiles de la corteza terrestre, ya en las cumbres de elevadas cordilleras, en la línea de fractura, mirando a la región de mayor desnivel, como sucede con los volcanes andinos, que casi todos ellos se hallan al lado de la pendiente brusca hacia el Pacífico; ya en la región de las grandes fosas o hundimientos, como sucede con los volcanes italianos, que se encuentran en la gran fosa tirrena o en



Fig. 163. — Teoría plutónica.

sus bordes, y en los volcanes de las Antillas, que rodean la gran fosa antillana; lo propio sucede en la fosa del Mar de la Sonda, de las Islas Kuriles y del Japón. Es notable el gran círculo que rodea al Pacífico, llamado por eso *círculo de fuego*.

**167. HIPOTESIS PARA EXPLICAR EL VULCANISMO.** — Muchas son las hipótesis propuestas para explicar el vulcanismo, siendo cuatro las principales, a saber: la plutónica, la neptúnica o química, la geocósmica y la geodinámica.

a) **Hipótesis plutónica.** — Supone que en las oquedades de la tierra existen grandes hogueras, que por consumo de materiales hacen adelgazar el espesor de las capas superiores, que se traducen en temblores en la superficie, en derrumbes de capas corroídas y formación de grietas en la corteza terrestre. Esta teoría es del todo anticuada, pues responde a concepciones erróneas sobre la constitución interna de nuestro planeta, generalmente desechadas en la actualidad (fig. 163).

b) **Hipótesis neptúnica o química.** — Admite que el vulcanismo es debido a las aguas marinas, que por infiltración llegan hasta el seno de la

corteza terrestre, y calentadas allí por el fuego central producen reacciones químicas con tendencia a escaparse por efecto de la tensión altísima que allí se produce. Esta hipótesis se funda: 1.º En que casi todos los volcanes son marinos o costeros; 2.º, en que los gases arrojados por los volcanes son los mismos que pueden resultar de la evaporación y descomposición del agua del mar (fig. 164).

Pero esta hipótesis ofrece gravísimos inconvenientes, cuales son: 1.º El que no todos los volcanes son marinos o costeros, y así en Asia los hay a miles de kilómetros tierra adentro; 2.º, el que el agua del mar llegaría a las profundidades de la tierra en estado gaseoso y, por tanto, sin las substancias que tenía antes en disolución; 3.º, el que si la presión del vapor fuese la que hacía salir la lava, no se explicaría cómo el máximo desprendimiento de vapores tenga lugar precisamente antes de la salida de la lava.

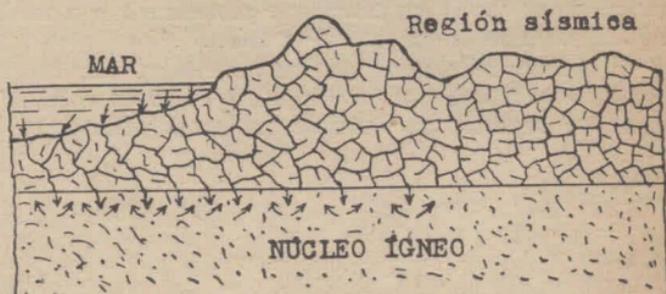


Fig. 164. — Teoría neptuniana.

c) **Hipótesis geocósmica.** — Supone que la atracción lunar produce en el mar de fuego interior verdaderas mareas y tempestades, análogas a las mareas y tempestades marinas; todo lo cual, según la intensidad de la marea, daría por resultado ya temblores, ya levantamientos del terreno, ya erupciones volcánicas.

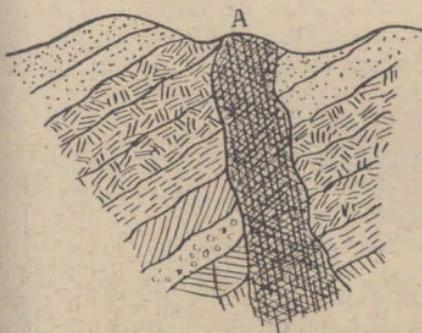


Fig. 165. — Corte esquemático de un dique-filón.

gases y materiales fundidos serían precisamente los que subirían por las grietas formadas. La emisión tranquila de las fumarolas y fuentes hipógenas vendría a ser el producto de una especie de destilación de las rocas cercanas a la zona de fusión.

d) **Hipótesis geodinámica.** — Es la tenida actualmente como la más probable, y admite que los fenómenos del vulcanismo se deben a dislocaciones de la corteza terrestre. Porque, en efecto, contrayéndose el núcleo central por la pérdida de calor, llega un tiempo en que la corteza se hunde, siendo fácil en esta ocasión el que se formen grietas por donde puedan subir los gases y la lava del interior. En estos descensos del terreno, muchas rocas antes sólidas debieron pasar al estado de fusión, al mismo tiempo que se produciría gran cantidad de gases, y estos

168. **FILONES Y SUS CLASES.** — Se llaman *filones* las masas de substancia mineral que han rellenado, generalmente por erupción, grietas o hendiduras de otros terrenos más antiguos.

a) **Particularidades de los filones.** — La materia de los filones puede ser de naturaleza pétreo, que entonces se llama *ganga*, o de aspecto metálico, particularmente de sulfuros. Cuando los filones contienen metales pesados se llaman *metalíferos*; si sólo ganga, *estériles*, si constituyen rocas de poco espesor, gran profundidad y alargados se llaman *diques*, y si se presentan en masas extensas que se ensanchan a medida que se profundiza, se llaman *batolitos* (figs. 165 y 166).

El hueco rellenado por los materiales constitutivos del filón se llama *caja*, y la roca que contiene al filón se llama roca *encajante*; las dos superficies que separan un filón de las rocas vecinas se llaman *salbandas*. Los

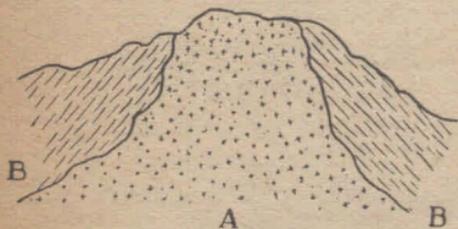


Fig. 166. — Batolito: gran masa granítica (A), entre terrenos sedimentarios (B).

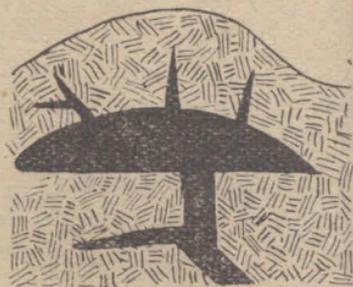


Fig. 167. — Corte esquemático de un lacolito.

filones pueden atravesar rocas eruptivas o bien rocas sedimentarias metamórficas; en estos últimos casos, si los filones se disponen paralelamente a las capas de pizarras o estratos, las rocas sedimentarias se llaman *filones-capas*, y los que atraviesan oblicuamente los planos de esquistosidad se denominan *filones transversales*. Dase el nombre de *lacolitos* a las rocas eruptivas encerradas en un espacio envuelto por rocas sedimentarias (fig. 167).

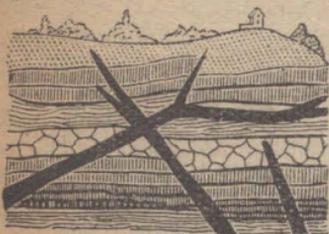


Fig. 168. — Filones atravesando capas de terreno.

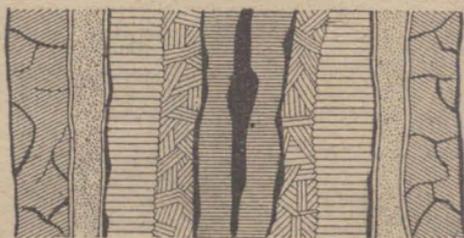


Fig. 169. — Corte longitudinal de un filón concreccionado.

b) **Diversas clases de filones.** — Los filones, atendiendo a su origen, se dividen en filones por emanación directa, filones por sublimación y filones por circulación de aguas minerales: 1.º *Filones por emanación o inyección*

*directa* son los que se han formado por el relleno de substancias metalíferas provenientes del interior de la tierra en estado de fusión. Estos filones son muy raros. 2.º *Filones por sublimación* son los que proceden de vapores minerales, dentro de un medio acuoso, que se condensaron dentro de las paredes de la grieta. Son los más frecuentes. 3.º *Filones por circulación de aguas minerales* son los que se han formado por precipitación de los materiales disueltos, que las aguas tomaron; bien de las rocas cercanas, y entonces se llaman filones de *secreción*; bien de productos procedentes del interior de la tierra, y en este caso los filones se llaman *de emanación* (fig. 168).

Como caso particular de filones pueden señalarse los *filones concrecionados*, que son los que rellenan cavidades bien definidas, donde las substancias minerales se disponen en capas concéntricas en las dos paredes de la grieta (fig. 169).

## CAPÍTULO XIII

# GEOLOGIA HISTORICA: ERAS PRIMITIVA Y PRIMARIA

SUMARIO: 169. Noción y límites de la geología histórica. — 170. Evolución general de la tierra. — 171. Divisiones de la fase geológica. — 172. Era primitiva o grupo agnotozoico. — 173. Sistema o período arcaico. — 174. Sistema o período algonkiense. — 175. Era primaria o grupo paleozoico. — 176. Sistema o período cámbrico. — 177. Sistema o período silúrico. — 178. Sistema o período devónico. — 179. Sistema o período antracólfico. — 180. Fenómeno paleotermal.

### 169. NOCION Y LIMITES DE LA GEOLOGIA HISTORICA. —

Se llama *geología histórica* la parte de la geología que estudia la serie de cambios que ha experimentado nuestro planeta hasta llegar a su constitución actual. Con todo, esta rama de la ciencia no trata de la historia íntegra de la tierra, sino sólo de la llamada *fase geológica*.

Para conocer el alcance de la fase geológica hay que tener presente que la tierra ha pasado sucesivamente por tres fases, a saber: 1.º *Fase cosmogónica*, que abraza el estado de nebulosa y astro luminoso; 2.º *Fase plutónica*, que comprende el tiempo en que vino a constituirse en astro apagado por la solidificación de su capa externa, seguida de la precipitación de las aguas, que en aquel entonces recubrieron toda la tierra; 3.º *Fase geológica*, que se extiende desde la emersión de los continentes y aparición de la vida sobre el planeta hasta nuestros días.

**170. EVOLUCION GENERAL DE LA TIERRA.** — Interesante, por demás, es conocer las vicisitudes por las que probablemente ha pasado el planeta que habitamos. Consideraremos el tránsito de la fase estelar a la planetaria y la evolución de la tierra en su fase planetaria o de astro apagado.

a) **Tránsito de la fase estelar a la planetaria.** — La tierra, al hallarse en las proximidades de su extinción como estrella, se hallaba formada de

un magma líquido incandescente, rodeado de una densa envoltura de vapores, que gravitaban sobre el magma a la presión de unas 300 atmósferas. En la superficie del magma se encontraban los materiales más livianos, a saber: la sílice y los óxidos de potasio, sodio, calcio y aluminio, los cuales, por combinación, engendraron los silicatos dobles respectivos, o sea los feldspatos, y el exceso de sílice quedó libre. Como estos minerales son de los más refractarios, fueron también los primeros en cristalizar; al principio, a manera de escoria flotante, a la que se les añadieron los óxidos de magnesio y hierro durante las conmociones que entonces tuvieron lugar; estos óxidos, uniéndose a los minerales precedentes, determinaron la aparición de las micas, de los piroxenos y anfíboles.

Según esta hipótesis, hoy día corriente, la primitiva corteza terrestre, que aun perdura en la parte interna, se halla formada de rocas muy parecidas al granito, en las que abundan, sobre todo, el cuarzo, los feldspatos y las micas.

*b) Evolución de la tierra en su fase planetaria.* — A la primera solidificación debieron suceder enormes erupciones, determinadas por las grandes mareas que tendrían lugar en el magma interno; las cristalizaciones de estos magmas eruptivos serían de granito.

Pero llegó un momento en que, por el sucesivo enfriamiento de la atmósfera cargada de anhídrido carbónico y de vapor de agua, pudo ya condensarse este vapor y dar lugar a grandes lluvias, cuyas aguas muy pronto volverían a evaporarse. Continuando el enfriamiento pudo el agua permanecer líquida sobre la tierra, primero recubriéndola toda; mas después comenzaron a emerger algunas tierras por el hundimiento de grandes extensiones de la corteza sólida, donde la resistencia sería menor por efecto del incesante acortamiento del radio terrestre. Estos océanos primitivos, con su elevada temperatura y gran presión, determinarían la formación de los gneis y de las pizarras cristalinas, mientras todavía continuaban las erupciones graníticas.

Al llegar la corteza sólida a cierto espesor considerable, dejó de influir el calor central en la temperatura de la superficie del globo; la vida se hizo ya posible, y entonces aparecieron las plantas que fijando el carbono del anhídrido carbónico dispusieron la atmósfera para la vida animal.

Entretanto los movimientos orogenéticos, con sus levantamientos y hundimientos de los terrenos, trasladaron en diversas ocasiones, como sucede aún hoy día, la posición de las costas: con esto muchos terrenos sedimentarios salieron fuera de las aguas para sumergirse tal vez de nuevo más adelante en posteriores trastornos.

**171. DIVISIONES DE LA FASE GEOLOGICA.** — Por la composición de los terrenos (caracteres mineralógicos), disposición de los estratos (caracteres estratigráficos) y fósiles encontrados en los mismos (caracteres paleontológicos), ha sido posible establecer, hasta cierto punto, la historia de la fase geológica de nuestro planeta con sus correspondientes divisiones estratigráficas y cronológicas.

a) **Divisiones estratigráficas y cronológicas.** — La unidad fundamental estratigráfica es el *piso*, a la que corresponde en el orden cronológico la *edad*; estas unidades vienen a ser, como si dijésemos, la especie en Botánica y Zoología. Lo mismo el piso que la edad forman parte de divisiones de orden superior, así como estas unidades se subdividen en unidades inferiores.

La nomenclatura geológica carece de reglas, y así los nombres que designan las unidades estratigráficas y cronológicas se han tomado de conceptos muy diversos; por ejemplo, de la localidad donde se encuentran mejor representadas (laurentino, del Río San Lorenzo), o de la naturaleza de las rocas en ellos existentes (*cretácico*, de la creta), o de los fósiles de aquel tiempo (*nummulítico*, de los nummulites), de la antigüedad relativa del terreno (*secundario*), etc.

ESQUEMA DE LA HISTORIA FÍSICO-BIOLÓGICA DE LA TIERRA.

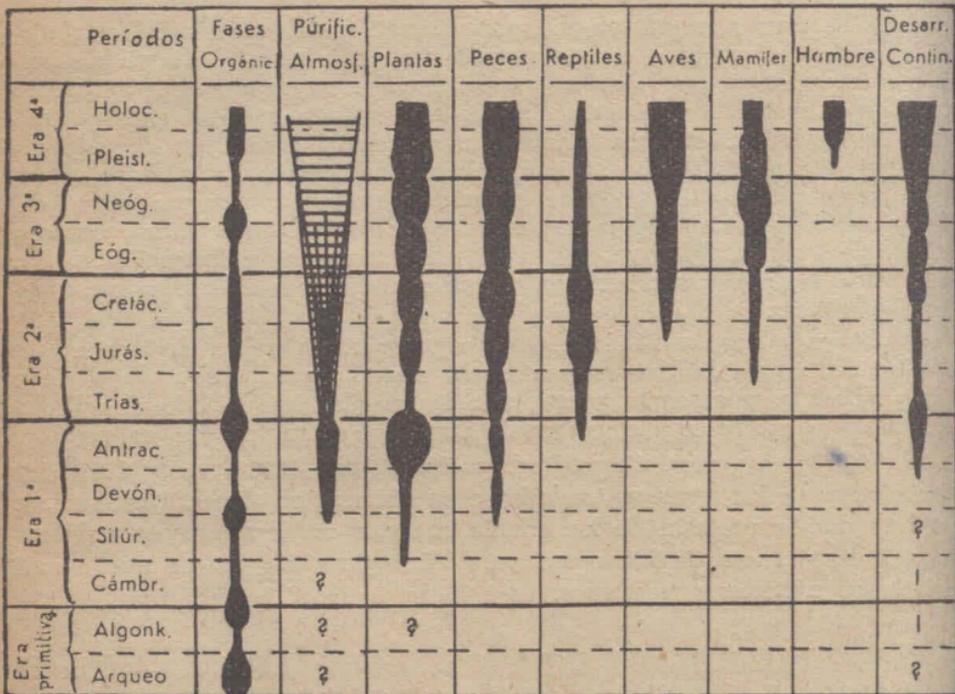


Fig. 170. — Sucesiva aparición de los seres vivos en el curso de las edades geológicas.

La división estratigráfica superior es el *grupo*, a la que corresponde cronológicamente la *era*. Los grupos se dividen en *sistemas* y las eras en *períodos*; los sistemas se subdividen en

series y los períodos en épocas; las series se dividen a su vez en pisos y las épocas en edades.

Los pisos se hallan integrados de *hiladas* y éstas de *capas*. A veces, cuando son muchas las hiladas de un piso, éste se subdivide inmediatamente en *subpisos*. Como resumen de todas estas divisiones ofrecemos el siguiente estado:

DIVISIONES ESTRATIGRAFICAS	DIVISIONES CRONOLOGICAS
Grupo .....	Era
Sistema .....	Periodo
Serie .....	Epoca
Subpiso .....	Edad
Hilada	
Capa	

b) Resumen de las divisiones geológicas adoptadas. —

En la descripción de los terrenos se suele adoptar la siguiente división de los mismos, según su antigüedad (fig. 170):

GRUPOS O ERAS	SISTEMAS O PERIODOS
Primitivo o agnotozoico .....	Arcaico
	Algonkiense
Primario o paleozoico .....	Cámbrico
	Silúrico
	Devónico
Secundario o mesozoico .....	Antracolíptico .....
	Carbónico
	Pérmico
	Triásico
Terciario o cenozoico .....	Jurásico .....
	Oolítico
	Cretácico
Cuaternario o psicozoico .....	Eógeno .....
	Eoceno
	Mioceno
	Neógeno .....
	Oligoceno
	Plioceno
	Pleistoceno
	Actual

c) Duración absoluta de las eras geológicas. — Muchos autores han tratado de determinar el valor absoluto, o sea el número de años, correspondiente a cada era geológica, así en su fase abiótica como biótica, e incluso la duración de la fase ígnea. Los métodos propuestos para esta evaluación en años de las distintas eras geológicas son de cuatro clases: geológicos, físicos, astronómicos y paleontológicos. Los más antiguos y, al parecer mejor fundados, son los geológicos.

Los valores más inciertos son los referentes a la duración de la fase ígnea de la tierra, o sea desde el origen de la nebulosa hasta la primera costra sólida, por cuanto la misma concepción cosmogónica no pasa de la categoría de una hipótesis más o menos plausible, y por tener que recurrir a fórmulas basadas en el enfriamiento de las tierras mientras fué recorriendo las distintas etapas de la evolución estelar. Por esto no es de maravilla que haya diferencias tan enormes entre los distintos autores: el que mayor duración señala es H. E. Russel (8.000 millones de años) y el de menor duración es W. J. Sollas (33 millones de años).

En cuanto a la duración de la era agnotozoica, el Dr. T. Arldt la supone 40 veces más larga que la era terciaria, partiendo de que el espesor de los estratos terciarios es de 1.000 metros y el de los estratos agnotozoicos 40.000. Ahora bien, como la duración de la era terciaria se cree ser de unos dos millones y medio de años, resulta que la era agnotozoica se habría prolongado por espacio de unos 100 millones de años.

Pero vengamos ya a la evaluación absoluta de las eras geológicas en su fase biótica. Para ello se han tenido en cuenta los más variados fenómenos de la geología dinámica, como son: la denudación de los macizos montañosos, la erosión de las costas y de los ríos, la disolución química o alteración meteórica de las rocas, la sedimentación marina y fluvial de los valles, deltas y lagos, la acumulación de la turba, la formación de las estalactitas y estalagmitas en las grutas, el avance o retroceso de los glaciares, el crecimiento de las islas de coral, la acumulación de los yacimientos salinos, el hundimiento o elevación de las costas, etc.

Como se deja ver a primera vista, por su sola enumeración, muchos de los mencionados fenómenos únicamente pueden proporcionar datos locales o referentes tan sólo a una determinada antigüedad. No obstante, del conjunto de todos ellos, comparándolos entre sí, han deducido los geólogos datos preciosos, que luego los han aplicado a toda la tierra. Clásicas son las cifras que presentaron J. D. Dana en 1875 y A. de Lapparent en 1907. a la *era primaria* atribuye Dana la duración de 36 millones de años y Lapparent 60 millones; a la *era secundaria* atribuye Dana 9 millones de años y Lapparent 15 millones; a la *era terciaria* Dana le asigna 3 millones de años y Lapparent 5 millones. Por esta estadística se ve que Lapparent encontró valores mucho más altos, o sea 80 millones de años para el conjunto de las tres eras, mientras que Dana encontró sólo 48 millones.

Actualmente, fundándose en el espesor de los sedimentos y del ritmo de sedimentación comprobado por la aportación de materiales al mar por los ríos, se suelen adoptar las cifras siguientes (fig. 171):

ERAS	Espesor de los sedimentos	Duración relativa .	Duración absoluta
<i>Primaria</i> ....	38.000 metros	12	30.000.000 años
<i>Secundaria</i> ..	16.000 metros	3	7.500.000 "
<i>Terciaria</i> ....	4.000 metros	1	2.500.000 "
<i>Cuaternaria</i> ..	200 metros	0,075	325.000 "
Total ....	58.200 metros		40.325.000 años

## 172. ERA PRIMITIVA O GRUPO AGNOTOZOICO. —

Los terrenos que forman el agnotozoico se denominan también

*primitivos*, por creerse que sus materiales constituyeron la primera consolidación de la corteza terrestre. Sin embargo, muchos geólogos niegan hoy día tal suposición, pues opinan que la primera costra de consolidación no aflora en ningún punto de la superficie del globo. Se llama agnotozoico este grupo, porque los restos de animales que en sus capas se encuentran no han podido determinarse con certeza si pertenecían a este tiempo: agnotozoico significa de animales dudosos.

Abundan en esta era las rocas graníticas y las pizarras cristalinas. Los terrenos del agnotozoico se presentan muy plegados en todas partes por donde asoman, de suerte que siempre se encuentran en discordancia con todos los terrenos sedimentarios formados posteriormente. De donde se concluye que, después del agnotozoico, existió un gran movimiento, llamado *huroniano*, por tener su principal representación en la cordillera huroniana de la región del lago Hurón, en el Canadá. Parece que al final de esta era hizo su aparición la vida sobre la tierra. El espesor total del agnotozoico se eleva a 40.000 metros y su duración se hace ascender a 100 millones de años.

El agnotozoico comprende dos sistemas: el *arcaico* y el *algonkiense*.

ERAS	ESPESOR DE TERRENOS	DURACION EN AÑOS	REINADOS
CUATERNARIA	200 m	325 000	del hombre
TERCIARIA	4.000 metros	2.500 000	de los mamíferos
SECUNDARIA	16 000 metros	7.500 000	DE LOS REPTILES
PRIMARIA	38.000 metros	30 000 000	DE LOS PECES
PRIMITIVA	?	?	?

Fig. 171. — Esquema del espesor y duración absoluta de las diversas eras geológicas.

**173. SISTEMA O PERIODO ARCAICO.** — Se llama así el conjunto de terrenos cristalinos anteriores al algonkiense. Su límite inferior es desconocido y el superior resulta algo impreciso por falta de fósiles, y sólo se ha podido fijar por la discordancia entre los dos sistemas.

Las rocas de este período consisten principalmente en granitos, gneis y micacitas, si bien en determinadas regiones aparecen asimismo cuarcitas, conglomerados y calizas cristalinas. Existen en este terreno rocas eruptivas formando corrientes y diques. El espesor total del arcaico se eleva a unos 30.000 metros.

No existen en este sistema restos orgánicos indubitables, pues el llamado *oozon* se cree más bien ser nódulos formados por capas alternantes de serpentina y caliza con multitud de canales que simulan la estructura coralina.

Este terreno se halla muy extendido en el Canadá, por lo cual se ha llamado también *laurentino*, del río San Lorenzo; además existe en Groenlandia, Irlanda e India. En el continente sudamericano se presentan rocas del arcaico desparramadas por las más diferentes partes, cubriendo una área enorme en el llamado *Escudo del Brasil* (región del Amazonas) y en las Guayanas. Asimismo aparecen trozos de rocas arcaicas, incluidos en los sedimentos de la edad paleozoica, en el sistema de las *Sierras Pampeanas*, o sea en las Sierras de Córdoba y San Luis, de la Argentina.

**174. SISTEMA O PERIODO ALGONKIENSE.** — Así se llama del país de los *algonquinos*, en los Estados Unidos. Este sistema, comprendido entre el arcaico y el cámbrico, se llama también *precámbrico*, y es fácil de limitar en su nivel superior, cuando es discordante con el cámbrico; pero si éste no es fosilífero y es concordante, resulta entonces imposible fijar sus límites.

Se halla compuesto de pizarras, cuarcitas y conglomerados; las rocas eruptivas se hallan en este terreno formando diques, corrientes y tobas volcánicas. En este período se formó la gran cadena llamada *hurónica*. El clima parece haber sido frío, según lo testifican algunos conglomerados con estrías que se creen de origen glacial, y confirma esta misma idea de un clima glacial la escasez de formaciones calcáreas.

Se da como cierta la existencia de restos vivientes en este sistema, si bien indeterminables, por razón del fuerte metamorfismo de sus rocas, habiéndose descrito algunas formas como pertenecientes a gusanos, crustáceos y moluscos. Los mismos lechos de antracita intercalados entre sus esquistos se cree tienen origen vegetal.

Este sistema se encuentra representado principalmente en América del Norte, en la región de los grandes lagos, en Inglaterra, Escandinavia y Finlandia; también existe en Alemania y China. En la Argentina existe en la Puna de Atacama, en las Sierras Pampeanas (de Córdoba y San Luis) y en las Sierras Bonaerenses (de Tandil y de la Ventana). El subsuelo de la Provincia de Buenos Aires, aunque a gran profundidad, está constituido de esquistos algonkienses, según lo dan a entender las varias perforaciones practicadas; así en la Capital Federal, una perforación en el Jardín Zoológico encontró este terreno a 400 metros; en la ciudad de La Plata a 486 y entre el Río de la Plata y Sierra de Tandil a unos 1.000 metros; en Gualeguay (Entre Ríos) a 500 metros, debajo de un manto de meláfiro, que forma parte de la serie triásica.

**175. ERA PRIMARIA O GRUPO PALEOZOICO.** — Se llama *paleozoico* este grupo (de *animal antiguo*), porque a

formarse este nombre no se conocían fósiles más antiguos; posteriormente se descubrieron en el algonkiense.

a) **Caracteres generales.** — En los terrenos más antiguos de este grupo predominan las pizarras; en los más recientes las calizas. Son fósiles característicos de la era primaria los *trilobites* (fig. 172). En este tiempo adquirieron exuberancia extraordinaria los vegetales, particularmente los helechos, que aparecieron en formas arbóreas gigantescas y fueron los que en el transcurso de los tiempos han originado la hulla y la antracita. El espesor de sus sedimentos se calcula en unos 38.000 metros y su duración en unos 30 millones de años.

El grupo paleozoico comprende los sistemas *cámbrico*, *silúrico*, *devónico* y *antracólico*.

b) **Fenómenos orogenéticos y eruptivos.** —

En esta era se señalan dos movimientos orogenéticos importantes, el *caledoniano*, que originó las montañas del norte de Europa (Suecia, Noruega y Escocia), y el *herciniano*, que levantó las montañas que van desde el Estrecho de Gibraltar hasta el Océano Glacial Artico.

La actividad eruptiva se manifestó con bastante intensidad. Los productos de las erupciones unas veces se consolidaron en la profundidad, en forma de rocas graníticas, que luego quedaron descubiertas por la erosión; otras veces se expansionaron al aire libre, tomando forma de lavas y tobas. Pero, debido a los efectos de la erosión, se han conservado pocos de estos productos efusivos. En general, dominan las rocas ácidas, y tanto más cuanto más antiguas son.

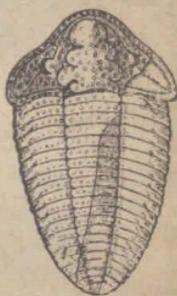


Fig. 172  
Trilobites.

**176. SISTEMA O PERIODO CAMBRICO.** — El nombre *cámbrico* está tomado de la antigua Cambria o actual País de Gales (Inglaterra), donde primariamente se estudió este terreno. Este período comienza después del levantamiento de la cadena hurónica con una activa fase de sedimentación mecánica, generalmente discordante con el algonkiense; de aquí que las principales rocas de este sistema sean cuarcitas, pizarras, areniscas y pudingas. Los estratos de este sistema se encuentran muy dislocados, y con los sedimentos alternan muchas veces rocas eruptivas, como diabasas y pórfidos. El espesor de los estratos cámbricos alcanza en algunos puntos a 10.000 metros (fig. 173).

El sistema cámbrico no es muy rico en fósiles. Entre las plantas las más notables son las fucoides, parecidas a las actuales algas marinas; pero faltan por completo las plantas terrestres. Entre los animales se encuentran bien desarrollados todos los tipos, excepto los vertebrados, comprendiendo



Fig. 173. — Continentes y mares en el cámbrico superior.

unas 800 especies, entre las que abundan los trilobites, los ecardines y testacardines, pertenecientes a los braquiópodos, así como también los espongiarios, medusas y los hidrozooos del grupo de los grafitolites. Además, los cefalópodos están representados por las ortoceras, y entre los gusanos existen impresiones llamadas *nereites*, consideradas como huellas de anélidos (fig. 174).



Fig. 174  
Trilobites (Dal-  
matites).

No se registra en este período movimiento alguno de importancia. En cuanto al clima parece que en ciertos sitios fué glacial, pues en el cámbrico de China y Australia hay rocas estriadas con señales de glaciario; esta suposición viene confirmada por la escasez de organismos de secreción calcárea, lo que podría indicar la baja temperatura de aquellos mares (figs. 175 y 176).

El cámbrico se halla muy desarrollado en el hemisferio norte, particularmente en Norte América, Inglaterra, Escandinavia, Rusia y China. En el hemisferio sur ostenta cierto desarrollo en las altas mesetas de Bolivia y en la vertiente argentina de los Andes, en forma de areniscas, cuarcitas y pizarras, con escaso porcentaje de rocas calcáreas. Estas cuarcitas y areniscas del cámbrico se presentan en gran extensión en el eje de la alta cordillera que separa el sistema de drenaje del Río Bermejo del sistema del Río San Juan; esta cordillera sigue

desde Tarija hasta Yaví un rumbo sudeste-noroeste; pero en territorio argentino toma un rumbo meridional en dirección hacia la región de Iruya: es la Cordillera de Santa Victoria, que continúa en las cadenas al este de Abrapampa y que luego se prolonga en la Cordillera de Chañí.

**177. SISTEMA O PERIODO SILURICO.** — El nombre de *silúrico* le viene de haberse descubierto este sistema en el antiguo país de los siluros (oeste de Inglaterra). Las rocas de este sistema son parecidas a las del cámbrico; pero, además, en el silúrico abundan las calizas, dolomitas, margas y arcillas. Entre las rocas eruptivas se destacan las diabasas, a menudo dispuestas en estratos, los pórfidos cuaríferos y sieníticos, el granito y la sienita. La potencia máxima del sistema silúrico se calcula en unos 10.000 metros.

En la flora se destacan algunas algas marinas, pues las plantas terrestres de este periodo forman excepción, como el *lepidodendron* y la *sigillaria*. Los animales son también casi todos marinos, contándose más de 10.000 especies, entre los que sobresalen los radiolarios en las calizas y jaspes negros y los grafitolites en las pizarras negras, hallándose además en abundancia los braquiópodos, como la *rynchonella* y la *lígula*. Pero los animales más típicos del periodo silúrico son los *trilobites*, que sirven admirablemente para la determinación del terreno; después

de los trilobites siguen en importancia los nautilidos. Al fin de este periodo hacen su primera aparición los vertebrados, que son peces de esqueleto cartilaginoso, denominados *placodermos*, por tener la piel cubierta de placas o escudetes óseos (figs. 177, 178 y 179).

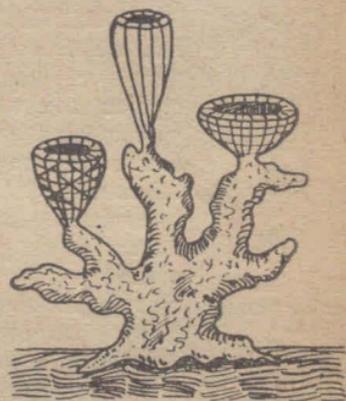


Fig. 175. — Armazón de Protopharettra, con cálices de Archaeocyathidae, que son hidrozooos intermedios entre los corales y las esponjas (cámbrico).

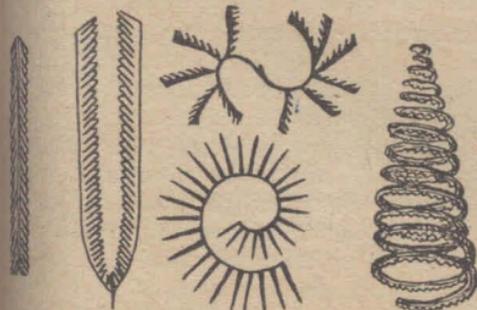


Fig. 176. — Algunos tipos de Graphitolites.

quedando entre estas masas continentales un ancho mar, correspondiente al actual Atlántico septentrional.

El silúrico se halla muy desarrollado en casi todos los países, señaladamente en América del Norte, Inglaterra, Siberia, Australia, Brasil (al

Al fin del periodo silúrico se inician los pliegues *caledónicos* (de la Caledonia, en Escocia), representados por una serie de montañas que se extienden al sur de la cordillera hurónica. En este periodo existían dos continentes en el hemisferio norte: el nordatlántico y el siberiano, y un continente mucho mayor en la zona ecuatorial, llamado *Gondwana*, que pasaba por el Brasil, Africa meridional y Australia,

norte del Amazonas), Perú y Bolivia. En esta última nación el silúrico forma una gran parte del altiplano de la Cordillera de Bolivia, que por el

norte alcanza hasta la parte septentrional del Perú, y por el sur se extiende hacia la Precordillera de San Juan y Mendoza (Argentina), para reaparecer en las Sierras Bonaerenses, en la Patagonia y en la región antártica; el espesor total de la serie silúrica en la Sierra Baya es de unos 140 metros.



Fig. 177.  
Orthoceras  
del  
silúrico.

**178. SISTEMA O PERIODO DEVONICO.** — El nombre devónico está tomado del condado inglés Devonshire, donde se halla muy desarrollado este sistema. Las rocas principales son areniscas rojas, cuarcitas, conglomerados, calizas y esquistos arcillosos con algunos filones aislados de hulla. Las rocas eruptivas de este tiempo son pórfidos, diabasas y tobas muy descompuestas. Entre los minerales explotables están la fosforita, las piritas de hierro y de cobre, la blenda, galena, minerales de plata y de níquel, el cinabrio de Almadén (España) y los petróleos de Pensilvania (Estados Unidos). Se calcula en siete u ocho mil metros el espesor de los terrenos devónicos (fig. 180).

En cuanto a la flora, aparecen en este período las criptógamas vasculares con multitud de especies de helechos. Por lo que respecta a la fauna, adquieren gran desarrollo los equinodermos crinoides; en cambio, decaen los trilobites. Los peces se desarrollan mucho en este período, aunque conservándose en la categoría de cartilaginosos; abundan y terminan los placodermos; abundan asimismo los selacios y aparecen los ganóideos. De este período datan los primeros insectos (neurópteros y hemípteros) (fig. 181).

Hacia la mitad del devónico tuvo lugar una gran transgresión marina, que invadió no pocas tierras antes emergidas. Subsisten los dos continentes septentrionales y el gran continente ecuatorial (Gondwana) del período anterior. En este período continuaron los movimientos orogénéticos, que acabaron con el levantamiento de la cadena caledoniana. El clima parece haber sido tropical en unas regiones y glacial en otras.

El devónico se halla muy extendido en Norteamérica, norte de Europa y de Asia. En Sudamérica abunda en el altiplano boliviano y en el Brasil meridional, sobre todo en la cuenca del Río Paraná. En la Argentina se halla en las Sierras Subandinas de las provincias de Salta y Jujuy y en la

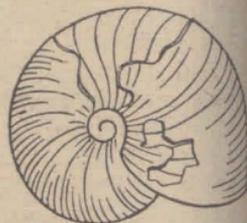


Fig. 178. — Nautilus

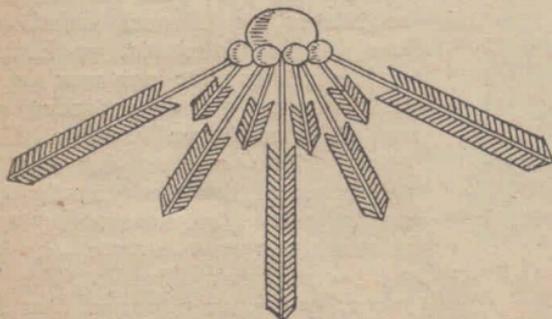


Fig. 179. — Grapholites restaurado (primario).

precordillera de San Juan y Mendoza, donde los sedimentos son areniscas y esquistos margosos de unos 800 metros de espesor. También se ha reconocido este terreno en el cordón austral de las Sierras Bonaerenses, señaladamente en las sierras de Pillahuincó, de la Ventana y de las Tunas.

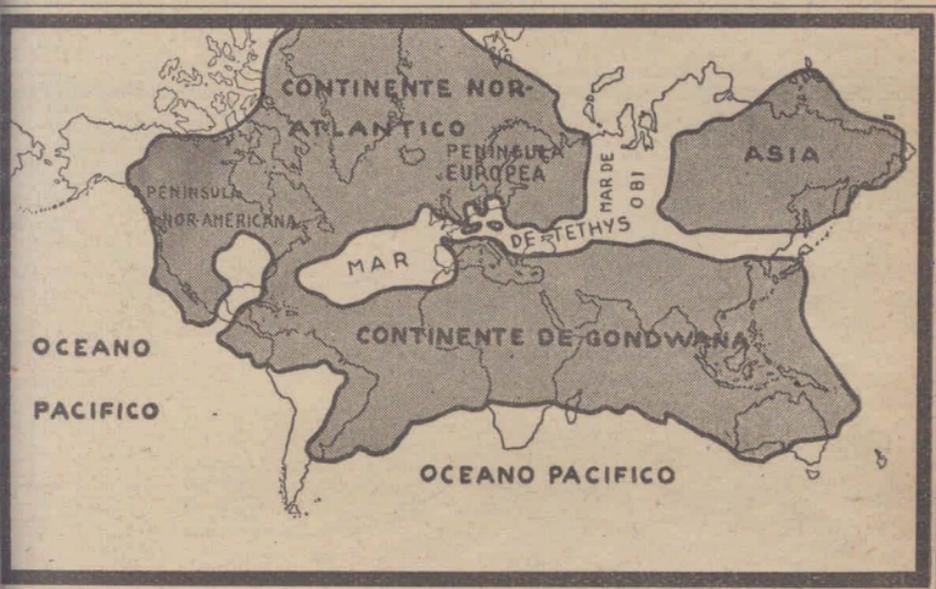


Fig. 180. — Continentes y mares en el devónico inferior.

**179. SISTEMA O PERIODO ANTRACOLITICO.** — El nombre de *antracolítico* proviene de las palabras griegas *anthrax* (carbón) y *lithós* (piedra). Se llama también permocarbónico, por ser la reunión de dos periodos: el carbónico y el pérmico (de Pern, en Rusia). Existen dos clases de formaciones de este periodo: unas continentales, con pizarras, arcillas, areniscas y conglomerados, y otras marinas, casi todas calcáreas. El espesor de los sedimentos pasa de 10.000 metros (fig. 182).

La flora de este periodo adquiere un desarrollo extraordinario, como en ningún otro periodo de la historia del globo, sobre todo por lo que se refiere a las criptógamas vasculares (*calamites*, *lepidodendron* y *sigillaria*), algunas de las cuales alcanzaron hasta 30 metros de altura. Entre las fanerógamas sólo están representadas las gimnospermas, como cicádeas y coníferas. Merced a la exuberante vegetación de este periodo pudieron formarse los yacimientos de hulla o carbón de piedra, típicos del antracolítico. La fauna tuvo también gran desarrollo; abundaron los corales, espongiarios, braquió-

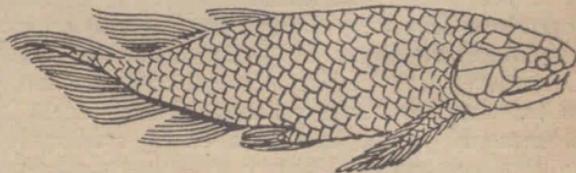


Fig. 181. — Reconstrucción del *Holoptychius Flemingi*, pez devónico encontrado en Escocia.

podos y moluscos. En este periodo desaparecen los crinóideos y los trilobites; en cambio, aparecen nuevas especies de peces selacios y ganóideos. Entre los animales terrestres abundaron los arácnidos, miriápodos e insectos; hacia el fin de este periodo hicieron su aparición los reptiles, como el pelicosaurio; pero entre los animales terrestres los más típicos son los anfibios, como el laberintodonte (figs. 183 y 184).

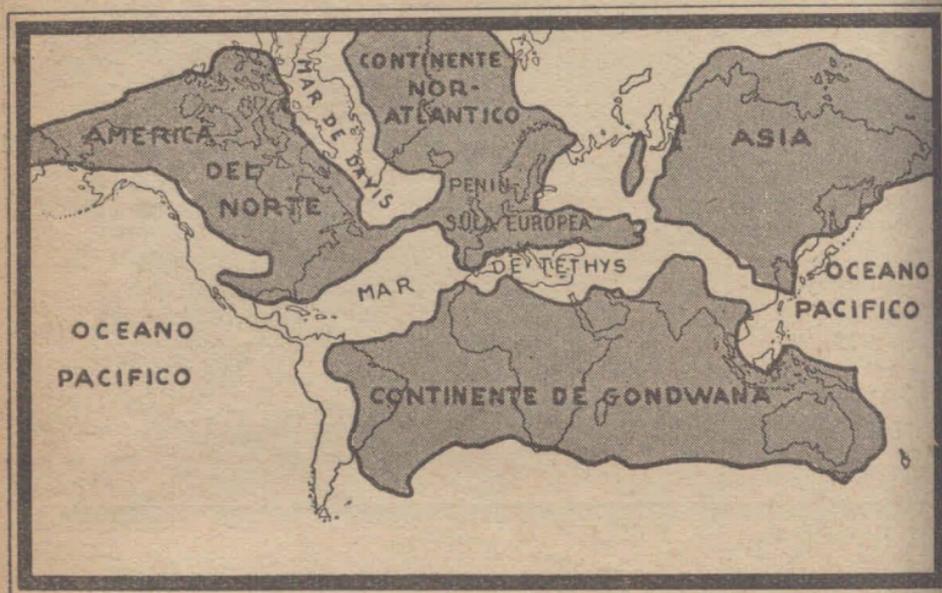


Fig. 182. — Continentes y mares del antracolíptico superior.

Hacia la mitad del antracolíptico tuvo lugar el levantamiento de otra serie de montañas, llamadas *hercinianas* (de Hercinia, nombre antiguo de Alemania), que van desde Irlanda a Silesia (Alemania); este movimiento herciniano levantó asimismo las cadenas de montañas que, desde el Estrecho de Gibraltar, llegan al Océano Glacial Ártico, entre las que figuran los Cárpatos y los Urales. En general el clima fué húmedo y cálido, incluso en las actuales zonas polares del hemisferio boreal; en cambio los glaciares alcanzaron grande extensión en el continente de Gondwana, en dos direcciones, una hacia el sur y otra hacia el norte. El centro de glaciación en dirección sur, es decir, hacia la región antártica, debe buscarse en Australia con otros dos centros en Sudamérica, uno de los cuales comprendía las partes centrales y occidentales de la Argentina y el sur del Brasil, y otras las Islas Malvinas, que son el resto de una provincia geológica, indudablemente más grande, que se extendía hacia la región antártica. El otro gran centro de glaciación radicaba en la India, donde las masas de hielo se dirigían hacia el norte, al gran mar Mediterráneo del Asia y de Europa, llamado *Thetys*, y en Sudáfrica, donde el gran espesor de los depósitos glaciares indica un centro muy importante de glaciación. Hubo en este periodo erupciones de extraordinaria importancia.

El antracolítico se halla representado en Norteamérica, Inglaterra, Alemania, Siberia y China. La formación carbonífera se encuentra en la Argentina, en la provincia de San Juan, donde los afloramientos se extienden al pie de la cadena silúrica de la sierra de Zonda, así como también en la precordillera, por grauvacas y areniscas con interposición de esquistos carbonosos, particularmente en la Quebrada de Uspallata. También se señala la presencia del antracolítico en las Sierras Bonaerenses (Sierra de la Ventana) y en las Islas Malvinas.

### 180. FENOMENO PALEOTERMAL.

— Con el nombre de fenómeno paleotermal se pretende significar el hecho de una temperatura uniforme en todas las

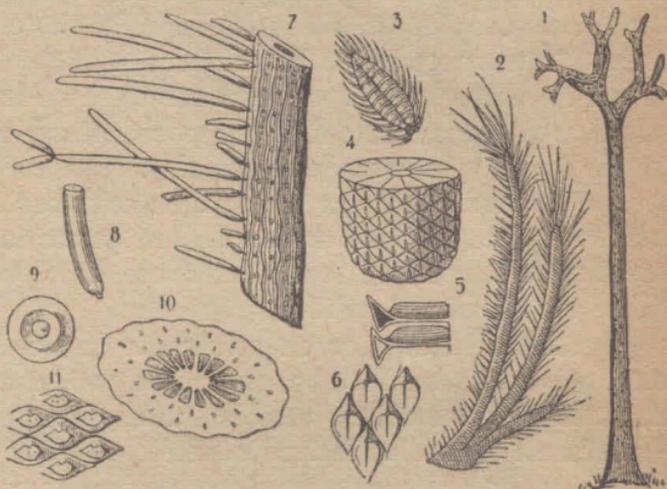


Fig. 183. — Vegetales del antracolítico: 1-6, tronco, hojas y fructificación del *Lepidodendron*; 7-10, *Stigmaria ficoides*; 11, corteza y cicatrices de la *Sigillaria*.

latitudes durante una gran parte de la era primaria. En efecto, según los datos recogidos en esa era el clima de toda la tierra era cálido, como el actual de los trópicos, y bastante húmedo; el cielo estaba cubierto de espesas nubes, que impedían llegar a la tierra los rayos directos del sol, por lo cual la luz era difusa a través de espesos nubarrones y el calor se difundía con uniformidad por toda la tierra.

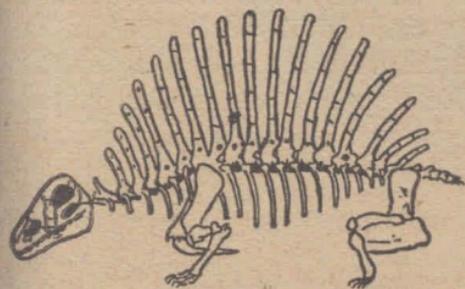


Fig. 184. — Pelicosauro, reptil del antracolítico.

La existencia de las excepcionales condiciones climatológicas en la era primaria, diferentes de las actuales, se deduce del estudio de la naturaleza y distribución de los seres vivos durante dicha era, y para entender mejor los documentos

paleontológicos, conviene recordar la distribución geográfica actual de los seres vivos y las causas de su repartición.

Sabemos que hay animales y plantas que viven en climas tropicales, otros en climas templados y otros, en fin, en climas fríos. Asimismo se observa en las plantas actuales que unas prefieren aire y suelo seco y cielo despejado; otras, por el contrario, son propias de sitios húmedos y sombríos y de cielo nublado. A juzgar por los seres vivos que en la era primaria poblaban el globo, la temperatura reinante en toda la tierra, desde los polos al ecuador, debía ser poco más o menos como la que existe hoy en la zona ecuatorial, según lo comprueban, entre otros ejemplos, la fauna de corales constructores, cuyas formaciones se encuentran durante la era primaria en todas las latitudes, y sabemos que los corales constructores actuales sólo se hallan en los mares cálidos tropicales.

La fauna litoral, y en particular la de los *trilobites*, en el período silúrico se hallaba extendida uniformemente en toda la tierra, lo que demuestra también una gran uniformidad de temperatura en todas las latitudes. En el período antracólico, además de los corales constructores, tenemos la exuberante flora de criptógamas vasculares, en especial los helechos gigantes, repartidos uniformemente por toda la tierra, cuyos similares vivientes están hoy confinados en la zona de los trópicos.

Pero, además de cálido, el clima del período antracólico debía ser húmedo, pues sin esas condiciones no se explica el rápido crecimiento de los helechos carboníferos. Casi todas las plantas de la era primaria, a excepción de un pequeño número de fanerógamas, pertenecen a criptógamas vasculares; plantas que viven de preferencia en sitios húmedos y sombríos. No se encuentra ninguna planta de hoja caduca ni de flores con cubiertas; vale decir, plantas que requieren para su propagación y desarrollo la acción directa de los rayos solares. Los mismos insectos hallados en terrenos primarios pertenecen a familias que viven en sitios sombríos y oscuros.

## CAPÍTULO XIV

# ERAS SECUNDARIA, TERCIARIA Y CUATERNARIA

SUMARIO: 181. Era secundaria o grupo mesozoico. — 182. Sistema o período triásico. — 183. Sistema o período jurásico. — 184. Sistema o período cretácico. — 185. Era terciaria o grupo cenozoico. — 186. Sistema o período eógeno. — 187. Sistema o período neógeno. — 188. Era cuaternaria o psicozoica. — 189. Aparición del hombre. — 190. División prehistórica de los tiempos cuaternarios. — 191. Principales ciclos de movimientos orogénicos.

**181. ERA SECUNDARIA O GRUPO MESOZOICO.** — El nombre de *secundaria* dado a esta era quiere decir que sus rocas son los segundos materiales sedimentarios, y el de *mesozoico*, que los animales son de organización intermedia (del griego *mesos*, medio) entre los primarios y terciarios. Se extiende desde la purificación de la atmósfera terrestre, hacia el fin del período antracolíptico y la primera gran expansión de animales terrestres, hasta el gran desarrollo de los mamíferos.

a) **Caracteres generales.** — Durante la era secundaria reinó bastante calma geológica, de suerte que ni las erupciones se manifestaron con tanta intensidad como en las eras primaria y terciaria, si bien nunca dejaron de existir totalmente. Durante esta era abundaron las formaciones calizas, de suerte que vienen a constituir la mayor parte de su espesor. Durante la era primaria las rocas fueron más bien detríticas de tonos grises y monótonos; en cambio, en las formaciones

secundarias se observa gran variedad de coloraciones, provenientes de masas calizas más o menos ferruginosas, con capas de arenas, arcillas y conglomerados asimismo ferruginosos. El espesor de sus sedimentos se calcula en 16.000 metros y su duración en unos 7.500.000 años.

Los fósiles típicos de esta era son los *ammonites*, *belemnites*, *rynchonellas* y *terebrátulas*, así como enormes y extraños

reptiles, algunos de los cuales alcanzaron longitudes de 30 metros. En cambio, la vegetación perdió el extraordinario desarrollo del período antracolítico (figs. 185, 186, 187 y 188).

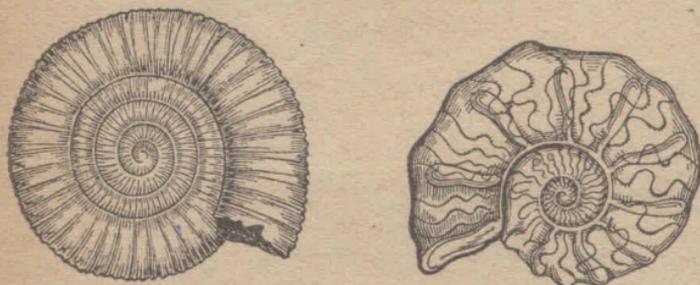


Fig. 185. — Dos especies distintas de ammonites.

El grupo mesozoico se divide en *triásico*, *jurásico* (liásico y oolítico) y *cretácico*.

b) **Diferenciación de los climas.** — En el triásico se ven claros indicios de un clima bastante seco, pues pudo dar lugar a la evaporación intensa, necesaria para la precipitación de las sales disueltas en las aguas salobres de las lagunas marítimas; de aquí los abundantes depósitos de sal y yeso de esta era.

En el período jurásico se observan ya indicios de diferenciación de climas, pues los corales constructores abandonan los polos y se van replegando a las latitudes más bajas, hasta el punto de que al fin de este período ya no se los encuentra al norte del paralelo 50°.

Asimismo se notan comienzos de estaciones, pues las araucarias, que en el período antracolítico no presentan señales algunas de capas concéntricas de crecimiento, al llegar al período jurásico ofrecen esta particularidad en las regiones polares, lo cual indica algún cambio anual o periódico de temperatura; lo mismo se observa en las abietíneas halladas a los 78° de latitud



Fig. 186  
Dos belemnites.

norte. Ahora bien, sabemos que las coníferas actuales de la zona tropical no presentan capas visibles de crecimiento anual, por no haber allí sucesión de estaciones, y en las zonas templadas y frías, donde hay sucesión de estaciones, es en donde naturalmente se encuentran esas capas de crecimiento.

Pero en el período cretácico se acentúa mucho más la diferenciación de climas y estaciones; pues, en efecto, las formaciones de corales constructores, los moluscos de textura calcárea gruesa, en particular los rudistas y las orbitulinas (foraminíferos de gran talla), se van alejando más y más de la zona boreal y retirándose hacia la ecuatorial, prueba clara de que la zona del polo norte se va enfriando poco a poco, dando lugar a la diversidad de climas. Asimismo las capas de crecimiento de las coníferas polares se acentúan cada vez más, lo cual prueba la existencia de estaciones muy marcadas.

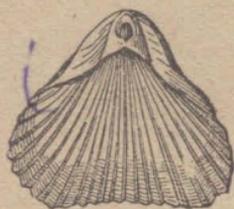


Fig. 187. — Dos rynchonellas.



Fig. 188  
Terebrátula.

Con todo, el hecho más notable, que indica un gran cambio de clima en la tierra durante el período cretácico, es la aparición de plantas angiospermas de hoja caduca, y en la flora del cretácico superior están representadas por numerosas especies y géneros. Ahora bien, las plantas de hoja caduca son propias de climas con estaciones, pues, en general, las plantas fanerógamas y, sobre todo, las de hoja caduca, no pueden vivir ni multiplicarse sin la acción directa del sol; por consiguiente, éste debió aparecer por vez primera a través de los espesos nubarrones y beneficiar de manera bastante permanente con sus rayos directos la flora cretácica, dando origen a los diferentes climas y estaciones, con la mayor o menor oblicuidad de sus rayos.

**182. SISTEMA O PERIODO TRIASICO.** — Su nombre alude a los tres pisos diferentes con que se presenta, a saber: arenisca abigarrada, caliza conchífera y arcillas irisadas. Las formaciones continentales de este sistema se hallan constituidas de conglomerados, areniscas y esquistos; al paso que

las formaciones lacustres constan de margas irisadas alternando con bancos de calizas dolomíticas y formaciones salinas (yeso, anhidrita y sal gema). El espesor de los estratos triásicos se calcula entre cinco y seis mil metros (fig. 189).

Desmerece mucho la flora por lo que respecta a las criptógamas vasculares; en cambio aparecen muchos géneros y especies de gimnospermas. En-



Fig. 189. — Continentes y mares en el triásico superior.

tre los animales terrestres alcanzaron gran desarrollo y extensión los anfibios (laberintodontes) y los reptiles (ictiopterigios, cocodrilos, dinosaurios y quelonios). Entre los animales marinos aparecen los primeros peces teleosteos, disminuyen los ganóidos y se desarrollan notablemente los ammonites y belemnites, pero desaparecen los braquiópodos del género *productus* (fig. 190).



Fig. 190. — Huellas de pantadáctilo y grietas de retracción por desecación en arenisca triásica.

En este período se acentúan los movimientos de inmersión iniciados en el período anterior, hasta quedar Europa dividida en islas y lagos intermedios unidos al mar, donde se depositaron los yacimientos de sal y de yeso; estos depósitos indican, por lo tanto, un clima relativamente cálido y seco. Durante este período no se produjeron movimientos orogénicos, pero sí erupciones de bastante intensidad, consistentes en diabasas, ofitas y tobas. El continente austral de Gondwana no experimentó en el triásico notables transformaciones.

zonas climatéricas hacia la zona ecuatorial está señalada por el repliegue hacia el ecuador de los corales constructores y de otros animales de testa calcárea muy desarrollada, como ser los *nummulites* y varios otros foraminíferos.

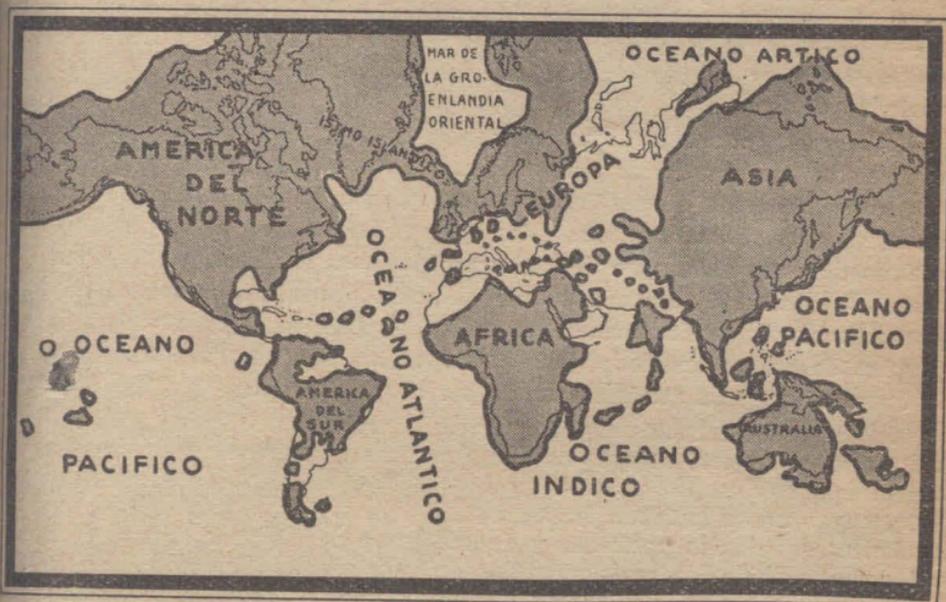


Fig. 196. — Continentes y mares en el eógeno.

La flora terciaria, compuesta de plantas ya casi en todo iguales a las actuales, indica asimismo que el clima iba adquiriendo paulatinamente las condiciones que hoy día se observan en la tierra. Las plantas tropicales, que al principio se encontraban a más elevadas latitudes, al terminar los tiempos neozoicos, se van confinando hacia el ecuador; y al final de la era terciaria, la repartición geográfica de las plantas indica un régimen de zonas climatéricas y de estaciones en todo semejantes al actual.

**186. SISTEMA O PERIODO EOGENO.** — Las rocas de este sistema son arenas, pudingas y gredas de formación litoral, potentes bancos de calizas con foraminíferos formados en aguas marinas profundas, formaciones continentales de travertino, calizas y margas lacustres con gravas, arenas y lodos fluviales. Los materiales eruptivos de este periodo son escasos. Este sistema comprende dos series: la inferior, llamada también *oceno* o *nummulítico*, y la superior, conocida con el nombre de *oligoceno* (fig. 196).

La flora del eógeno constituye una vegetación rica y variada con plantas muy parecidas a las actuales; así, por ejemplo, prosperaron la dracena, la acacia, el laurel, el cinamomo, la secuoya y las palmeras. En cuanto a la fauna, aparecieron por vez primera los cetáceos y sirenios y desaparecieron los dinosaurios, que fueron sustituidos por serpientes, lagartos, cocodrilos y caimanes; desaparecieron asimismo los ammonites, y en su lugar alcanzaron enorme desarrollo los foraminíferos, señaladamente los nummulites, si bien desaparecieron en la serie oligocena. Los moluscos, equinodermos y celentéreos son casi los mismos que los actuales con gran variedad de formas.

En este período tuvo lugar una gran regresión marina, que dejó al descubierto muchas tierras antes ocupadas por el mar; pero después, en el oligoceno, se produjo una invasión marina, que se dejó sentir de una manera especial en las regiones frías y templadas. Los movimientos orogénicos de este período se denominan *pirinaicos*, por haber creado los Pirineos. El clima fué más cálido que el actual, pues en la cuenca de París prosperaron plantas tropicales y en las regiones polares vivieron árboles propios de países templados; con todo, en el oligoceno descendió bastante la temperatura y la atmósfera debió ser muy húmeda.

El eógeno se halla muy irregularmente repartido en todas las regiones del globo, y en este tiempo las dos Américas estuvieron separadas por una ancha faja marina. Por este tiempo, existió en España (Cataluña) un gran lago, cuyas aguas bañaban las faldas del Pirineo, en el que se formaron los yacimientos de sales potásicas y de sal gema de Cardona, Suria y Sallent, así como también los conglomerados de Montserrat (fig. 197). En la Argentina se encuentra ampliamente representado el eógeno, particularmente en la Patagonia, donde forma una larga cinta de 30 a 40 kilómetros de ancho, en el sur del Neuquén, desde Junín de los Andes hasta Bariloche; en esta zona hay sedimentos de carácter costanero, de gran espesor, en cuya parte inferior se intercalan mantos de rocas efusivas, andesitas y basaltos. En la Tierra del Fuego existe también el eógeno, en dos series, una inferior, margosa, de unos 500 metros de espesor, y otra superior, arenosa, de 250 a 300 metros de espesor. Es notable en el neógeno de la región magallánica la presencia de mantos de lignitos, en parte explotables y explotados, que en ocasiones alcanzan el espesor de 1'55 metros.

**187. SISTEMA O PERIODO NEOGENO.** — En este período sobresalen las formaciones de facies continental, ya lacustres con calizas, margas salíferas y yesíferas, ya pantanosas con depósitos de turba, ya finalmente fluviales con arenas y gravas. Las rocas de sedimentación marina son escasas, reduciéndose casi exclusivamente a calizas con briozoarios y moluscos. Las rocas eruptivas son abundantes y variadas, consistiendo en traquitas, basaltos, fonolitas, dacitas, andesitas, riolitas y vidrios volcánicos. Este sistema se subdivide en dos series: la inferior, llamada *mioceno*, y la superior, *plioceno*.

La flora de este período fué muy exuberante y rica en especies, cada vez más parecidas a las actuales. En cuanto a la fauna, se caracteriza este período por el gran predominio de los mamíferos, sobre todo de los proboscídeos (mastodontes, dinoterios y elefantes), arctidáctilos y rumiantes.

Tampoco faltan muchas aves, casi todas ellas pertenecientes a los géneros actuales. Es notable, además, la abundancia de dientes de peces de escualos.

En este periodo, época miocena, tuvieron lugar movimientos orogénicos importantísimos, que determinaron el levantamiento de los Alpes, razón por la cual se llaman *alpinos*; asimismo se levantaron los Cárpatos, el Cáucaso, el Himalaya y la cordillera de los Andes. La actividad volcánica fué extraordinaria. El clima, aunque todavía templado, fué mucho menos cálido que durante el período anterior, como lo demuestra el retroceso de los corales hacia el Sur en las regiones septentrionales. El clima medio de Europa se considera análogo al de las regiones mediterráneas. Durante este tiempo emergieron las Antillas y el istmo de Panamá.

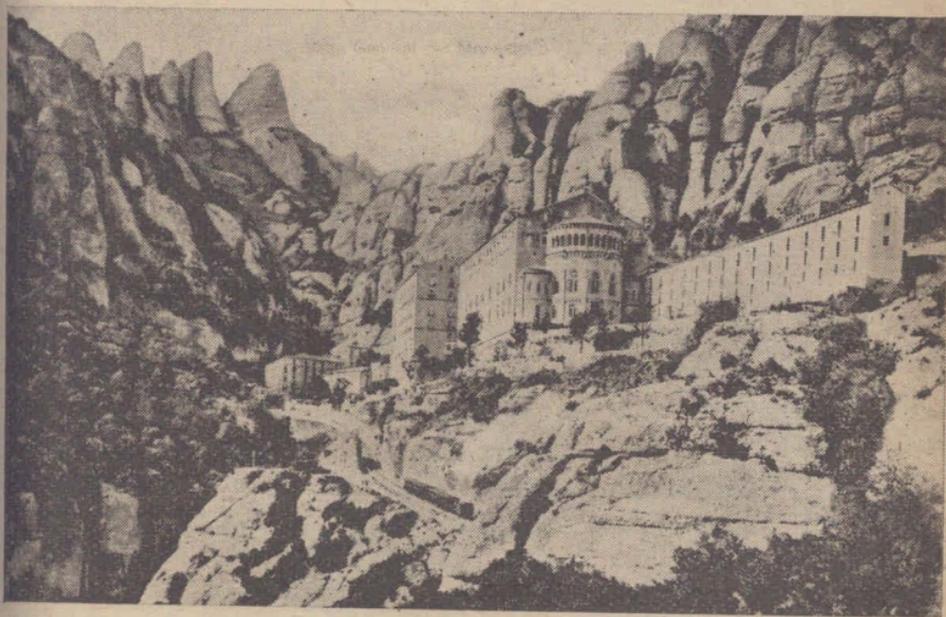


Fig. 137. — Sierra de Montserrat (España), fuertemente denudada.

Este terreno forma en España la mayor parte de la meseta central y de la depresión del valle del Ebro, pues en aquellos tiempos existían tres grandes lagos: el de Castilla la Nueva, Castilla la Vieja y valle del Ebro, en comunicación entre sí, sobre todo los dos últimos. Forma asimismo algunos manchones en Venezuela, Colombia y Ecuador. En la cuenca del Amazonas existe una inmensa mancha, que sigue las riberas del gran valle hasta su límite con el mar, mancha cubierta posteriormente por sedimentos cuaternarios y modernos. En la Argentina se encuentra el neógeno repartido por distintas regiones del país, tan ampliamente y con caracteres tan típicos, que ha podido dar lugar a la creación de las series *entrerriana* y *araucana*. La primera se halla especialmente en la cuenca del Río Paraná y aflora de preferencia en la provincia de Entre Ríos, según es dado contemplarlo en las barrancas de la ciudad de Paraná, donde los sedimentos

contienen restos de mamíferos y de reptiles terrestres y marinos; pero esta formación entrerriana se halla también en otros parajes del territorio argentino, como en las provincias de Córdoba y Catamarca, y aun en la Patagonia, en la región del Golfo Nuevo. El araucano, creado por Doering en 1882, tiene su representación en el valle Calchaquí de Catamarca y, sobre todo, en la Patagonia, con areniscas que afloran en torno de la boca del Río Negro y del Golfo Nuevo, para continuar con un espesor considerable al sur del Río Chubut.

**188. ERA CUATERNARIA O PSICOZOICA.** — La era cuaternaria comienza al verificarse la primera manifestación del glaciario en Europa y se continúa hasta nuestros días.

a) **Caracteres generales.** — Es muy difícil delimitar el grupo cuaternario en su base y distinguirlo del plioceno superior; y la razón de ello es porque las rocas son parecidas y los fósiles idénticos. Lo que ha inducido principalmente a establecer este grupo es la presencia de grandes extensiones de glaciares en regiones donde antes no los hubo ni posteriormente los ha habido, lo que revela un cambio de régimen en el clima de la tierra. El espesor de sus sedimentos se calcula en unos 200 metros y su duración en unos 325.000 años.

La flora de la era cuaternaria es la misma de hoy; únicamente su distribución geográfica fué algo diferente durante las fases de glaciario. Así, en Europa central, por ejemplo, se encuentra en una misma región flora polar y flora meridional en capas alternas, y en los períodos interglaciares había en el centro de Europa nenúfares, lilas, hiedra, etc., que hoy se encuentran en las regiones meridionales. La fauna de mamíferos está compuesta de muchos géneros terciarios, como el elefante y el mastodonte. Los géneros exclusivos de la era cuaternaria son muy pocos; por ejemplo, el rinocérido *Elasnotherium* y el desdentado de la pampa argentina *Glyptodon*. Muchos géneros y especies se extinguieron durante la era cuaternaria, como el *Mastodon*, el *Elephas primigenius*, el *Megatherium* y el *Ursus spelaeus*; y aun algunas especies son de extinción muy reciente, como el *Neomylodon*, desdentado de la Patagonia, los grandes lemúridos y el ave *Epiornis* de Madagascar. Otras especies han emigrado a regiones frías, como el reno (figs. 198 y 199).

La era cuaternaria se divide geológicamente en dos épocas: pleistoceno y holoceno o actual. La primera época comprende

desde el principio de la era hasta la retirada definitiva de los glaciares al límite actual, y la segunda, desde esa retirada hasta nuestros días.

b) **Invasión glacial.** — Un considerable enfriamiento, junto con mayor abundancia de precipitaciones acuosas, hizo que la Europa del norte y aun la central, que antes había gozado de un clima benigno, quedase cubierta en gran parte de nieves perpetuas, formando extensos glaciares. Prueba

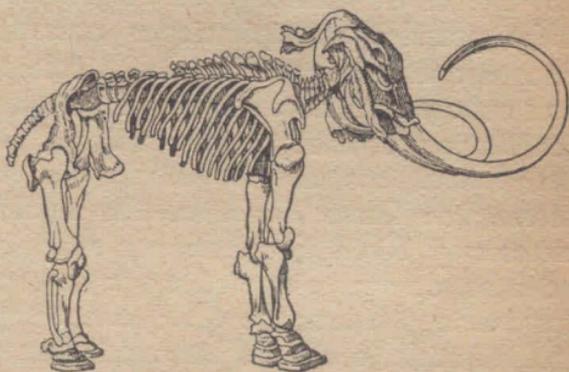


Fig. 198. — *Elephas primigenius* o Mammut.

de esta extensión glacial son las formaciones de cantos erráticos, de lodo glacial característico, de morrenas laterales y terminales, de cantos y rocas estriadas, que se conservan en las regiones bajas de Suecia, en Inglaterra, España y en las bajas laderas de los Alpes hasta cerca de Lyon (Francia). Fuera de Europa, en las montañas de Asia, África y Norteamérica, se encuentran asimismo señales de extensos glaciares cuaternarios.

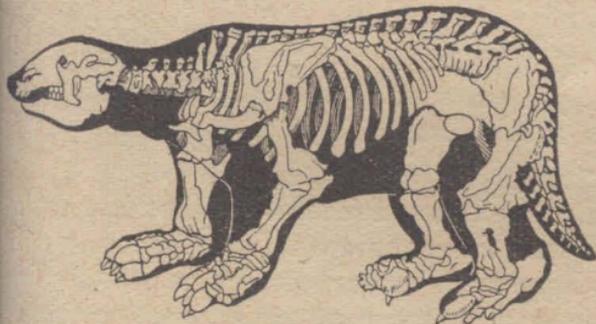


Fig. 199. — *Megatherium Cuvieri*.

La invasión glacial no fué única, sino que en Europa se

registran cuatro etapas de máxima actividad glacial, que alternan con épocas interglaciales más cálidas que la actual; estos periodos interglaciales reciben, por orden de antigüedad, los nombres siguientes: *gunciense*, *mindeliense*, *rissiense* y *wuemiense*. En la América meridional parece que sólo existieron dos periodos glaciares.

c) **Formaciones cuaternarias.** — Las rocas sedimentarias del cuaternario son todas incoherentes, como arenas, gravas, arcillas, etc.; además se registran bastantes rocas eruptivas. Una de las formaciones más notables del cuaternario es el *loes*, muy abundante en China y en Argentina. Durante el cuaternario hubo grandes precipitaciones atmosféricas, que en los países fríos o donde temporalmente bajó la temperatura se manifestaron en copiosas nevadas y en las restantes regiones en abundantes lluvias, dando por resultado el depósito de muchos materiales detríticos en los valles y laderas de las montañas; este terreno se llama *diluvium*. En muchas partes este terreno es extenso y fértil, formado por sedimentos debidos a aguas corrientes, de suerte que rara vez se encuentran en ellos sedimentos marinos o lacustres. De este tiempo data el hundimiento de la Atlántida, o sea de un continente que emergía en medio del Atlántico, entre Europa y América.

**189. APARICION DEL HOMBRE.** — El acontecimiento más importante de la era cuaternaria es sin duda la aparición del hombre.

Se ignora a punto fijo el momento geológico de la aparición. Algunos han creído que ya en la era terciaria existió el hombre, fundados en ciertas rayas, de industria humana al parecer, existentes en algunos huesos del terciario. Sin embargo, esta opinión se refuta ordinariamente hoy día: 1.º, porque aquellos restos no es del todo cierto que pertenezcan al terciario; 2.º, porque no se ha encontrado ningún resto humano que seguramente pertenezca a aquel tiempo.

Esto supuesto, cabe preguntar: ¿Presenció el hombre todas las fases glaciares? ¿En qué fase aparecen los primeros vestigios de la existencia del hombre? Para responder acertadamente a estas preguntas conviene ante todo advertir, que principalmente se trata de la aparición del hombre en Europa, donde más particularmente se ha estudiado la cuestión; lo cual no prejuzga el que antes de ir a Europa hubiese vivido largo tiempo en otras regiones. Es más: hay indicios prehistóricos para creer que el hombre fué a Europa desde Asia, tal vez por Africa.

Algunos afirman la existencia del hombre en Europa durante la primera fase glacial; otros, como Obermaier, creen que sólo hizo su aparición durante la segunda fase. Pero los descu-

brimientos hechos hasta el presente no obligan a establecer la existencia del hombre antes de la última fase interglaciar, así como prueban con bastante evidencia que los primeros hombres de Europa coexistían con una fauna de clima templado (elefante meridional, rinoceronte, hipopótamo, etc.), y que luego se vió acompañado de otros animales de clima frío, como el reno, mamut, oso de las cavernas y otros, propios de la última fase glacial.

**190. DIVISION PREHISTORICA DE LOS TIEMPOS CUATERNARIOS.** — Se llama *Prehistoria* la ciencia que trata de investigar los períodos de la historia humana que no podemos conocer por fuentes escritas. Para este conocimiento de los primitivos tiempos de la historia humana es preciso utilizar toda clase de restos dejados por el hombre, figurando como principales: armas, utensilios domésticos, objetos de adorno, habitaciones, sepulturas e incluso sus mismos huesos.

La división prehistórica de los tiempos cuaternarios se funda en los restos del hombre y de su industria. El cuaternario, pues, atendiendo a la industria humana, se divide en *paleolítico y neolítico*, a los que siguen la *edad de bronce* y la *edad de hierro*, aunque estas dos edades suelen descartarse de la geología propiamente dicha, para ser estudiadas en la arqueología.

a) **Período paleolítico.** — El *periodo paleolítico* se llama también de la *pedra tallada*, pues el hombre no sólo desconocía los metales, sino incluso la manera de pulimentar las piedras, por lo cual sus armas e instrumentos de pedernal los construía a golpes. Entre las muchas piedras existentes ofrecía al hombre notables ventajas el pedernal, por la propiedad que tiene de poderse tallar fácilmente, pues golpeando un canto con otro se consigue con alguna habilidad darle forma determinada y obtener bordes cortantes. Para los usos domésticos el hombre fabricaba también sus enseres con los huesos y las cornamentas de los ciervos y de los renos que cazaba para su alimentación. El hombre vivió durante este tiempo principalmente en cavernas, en las que todavía se conservan algunas pinturas y relieves (figura 200).



Fig. 200  
Hacha del paleolítico.

El paleolítico comprende seis etapas de la industria humana, que reciben los siguientes nombres: *Chellense*, de la estación de Chelles en el Marne, junto a París; *Achelense*, de Saint-Acheul, en Amiens (Francia); *Auriñaciense*, de la estación de Aurignac, en los Pirineos franceses; *Solutrense*, de Solutré, cerca de Maçon, en Borgoña (Francia), y el *Magdalenense*, de la estación de Magdeleine, en el Périgord (Francia).

b) **Transición del paleolítico al neolítico.** — Las seis etapas del paleolítico constituyen precisamente la época de la piedra tallada; porque, luego,

en la época siguiente, se señaló un gran progreso en la fabricación de objetos, consistente en bruñir y pulimentar las superficies por medio del frote. Esta distinción, al parecer pueril, tiene gran importancia, porque separa dos estados muy diferentes de la cultura humana, que se presentan con iguales caracteres en todas las regiones del globo hasta ahora exploradas.

Entre las dos épocas, paleolítica y neolítica, se señalan tres edades o etapas de transición, denominadas: *Aziliense*, de la cueva de Mas d'Azil, en Ariège (Francia); *Capciense* y *Asturiense*, nombre este último dado por el Conde de la Vega del Sella, o *Cuerquense*, nombre propuesto por Carballo.

c) **Período neolítico.** — El *periodo neolítico* se llama así porque en él conoció el hombre la manera de pulir la piedra. En este tiempo las armas continuaron siendo de piedra, por no conocerse todavía el uso de los metales; pero las piedras ya no están simple y rudamente talladas a golpes, sino que presentan caras y superficies pulimentadas por frotamiento y los cortes afilados por el mismo proceso. Tampoco es el pedernal la única materia



Fig. 201  
Hacha del neolítico.



I



II



III

Fig. 202. — Armas neolíticas: I y II, puntas de flechas; III, hacha pulimentada con mango.

empleada para fabricar las armas, puesto que se emplean hermosos ejemplares de las mismas en serpentina, diorita, nefrita, etc. Entre estas armas de ataque y defensa, aparecen multitud de objetos de piedras finas que, atendida su forma, debieron ser amuletos o adornos para llevar colgados del cuello (figs. 201 y 202).

Las moradas del hombre durante el neolítico eran sencillas cabañas construidas de barro, maderos y ramaje, abandonando para siempre las cavernas donde había vivido durante la época anterior. Sólo en el sur de la Península Ibérica se encuentran ya poblaciones fortificadas con muros de piedra seca. A veces, para defenderse de los animales y de las tribus vecinas, estas viviendas eran construidas sobre agua, formando lo que se ha dado en llamar *palafitos*.

d) **Monumentos megalíticos.** — Son las construcciones de la época neolítica, fabricadas con enormes piedras de poco o ningún pulimento. Los principales son: los dólmenes, menhires y crómlecs (fig. 203).

1. Los dólmenes eran abrigos destinados a los muertos; pero, andando el tiempo, al desaparecer la tierra que los recubría por efecto de los agentes atmosféricos, fueron quedando unos grandes bloques de piedra en posición horizontal, sostenidos, a manera de basamento, por otras grandes piedras también, que es la forma con que suelen presentarse hoy día.

2. Los *menhires* son monolitos a manera de obeliscos toscos y groseramente cilíndricos, que acompañan frecuentemente a los dólmenes; unas veces estos monolitos se encuentran aislados y otras veces dispuestos en filas.

3. Los *crómlecs* son los menhires de forma circular; ese nombre es una palabra bretona, que significa *lugar circular*. Es frecuente hallarse un dólmen en el centro de los menhires.

e) **Idea de las razas prehistóricas.** — Las principales razas prehistóricas son dos, que se conocen con los nombres de raza de Neanderthal y raza de Cro-Magnon.

1. La *raza de Neanderthal*, que es la más antigua, se refiere a los restos humanos encontrados el año 1856 en unas cavernas situadas en los alrededores de la ciudad de Elberfeld (Alemania), que era el paseo favorito del paleontólogo alemán Neander, y de aquí el nombre de Neanderthal, que significa

*valle de Neander*. A la misma raza pertenece la mandíbula inferior hallada en 1907 cerca del pueblo de Mauer, inmediato a Heidelberg, en Alemania, hoy día considerada como el resto humano más antiguo. Esqueletos humanos se han encontrado en Bélgica, Croacia, Francia y España. Todos estos restos forman el interesante tipo de Neanderthal, de pequeña talla (1'60 metros) y de masa cerebral humana en absoluto.

2. La *raza de Cro-Magnon* se llama así de la caverna de este nombre en Dordoña (Francia). Su descubrimiento data del año 1868. Pertenecen al mismo tipo otros varios esqueletos descubiertos en Francia mismo, en Inglaterra, Alemania y Checoslovaquia. De la misma raza son 16 esqueletos encontrados en las grutas de Grimaldi (Italia). Los individuos de esta raza eran de elevada estatura y de gran fuerza muscular, atendida la configuración de sus huesos: el cráneo era largo y estrecho (*dolicocéfalo*), la frente muy desarrollada y la barbilla saliente.



Fig. 203. — Disposición típica de las piedras de un dolmen.

**191. PRINCIPALES CICLOS DE MOVIMIENTOS OROGENÉTICOS.** — En la historia de la tierra se comprueba la existencia de períodos con marcada actividad orogénica (como si dijéramos revolucionarios), que alternan con otros de calma más o menos grandes (como si dijéramos de evoluciones); entre los períodos de calma se señala de una manera especial el triásico. Seis grandes plegamientos es dado comprobar, a saber: el de la formación de los núcleos continentales en el arcaico, el plegamiento hurónico en el precámbrico, el caledónico en el silúrico, el hercínico o hercyniano a fines del antracolitico y el alpino y el terciario.

a) **Formación de los núcleos continentales.** — Tuvo lugar en el arcaico, con la formación de grandes extensiones de tierras emergidas, agrupadas principalmente alrededor del polo norte en lo que hoy es Canadá, Groenlandia, Escandinavia, Finlandia y Siberia. Con todo en esas remotas edades emergieron también otros grandes núcleos de tierras en Africa (continente etiópico-arábico), Brasil (brasilia), Austrasia y Antártida. Las rocas afectadas por esos levantamientos consisten principalmente en gneis, que se hallan muy plegados, como si sus materiales fuesen a la sazón flexibles y movedizos. Sin duda por estas propiedades las montañas fueron muy afectadas por la erosión.

b) **Plegamiento hurónico.** — Tuvo lugar en el periodo algonquiense o precámbrico y dió lugar a la cadena de montañas más antiguas de que se tiene conocimiento, y es la llamada *cadena hurónica*, porque sus restos pueden observarse bien en la región del lago Hurón (Canadá), si bien sus pliegues se hallan en extremo denudados. Se observan también plegamientos hurónicos en Escocia, Finlandia, norte de China y Argentina (Puna de Atacama).

c) **Plegamiento caledónico.** — Tuvo lugar hacia el fin del silúrico y continuó y terminó durante la primera mitad del devónico. Este plegamiento dió por resultado la formación de una cadena de montañas, próximamente paralela a la hurónica y cerca de ella. Esta *cadena* se denomina *caledoniana*, de Caledonia, antiguo nombre de la Escocia actual y cuyos restos son principalmente las montañas de Allenghay (Estados Unidos), Grampians (Escocia) y Montes Escandinavos.

Con la cadena cadenónica ganó mucho el continente Nord-Atlántico, formado al final del silúrico por la banda paleártica, cadena hurónica y caledónica. Parece cierto que existía otro continente ecuatorial, que comprendía el Brasil, Africa, India y Australia, pues el terreno devónico reposa en varias de esas regiones sobre el arcaico. Estos dos continentes estaban separados por una gran depresión, la cual se extendía desde las Antillas al Mediterráneo, India y Australia, y estaba ocupada por un extenso mar, llamado *mediterráneo central*.

En la Argentina parecen encontrarse señales de plegamientos caledonianos en la Quebrada del Toro, en su mitad oriental, así como en las Sierras Pampeanas.

d) **Plegamiento herciniano.** — Es el gran movimiento orogenético que, a fines del carbonífero y comienzos del pérmico, dió por resultado la formación de una tercera cadena de montañas llamada herciniana, de Hercinia (Herz), nombre antiguo de Germania. Se halla al sur de la caledónica y va de Irlanda a Silesia.

Se hallan restos de ella en las montañas Altai de Asia central y en los Apalaches (Estados Unidos). En la Argentina los plegamientos hercinianos crearon la precordillera de Mendoza, San Juan y la Rioja (Gondwánides), que bordean la meseta continental llamada Brasilia. Con esta cadena el continente Nord-Atlántico ganó considerable terreno, a costa del mediterráneo central, que se redujo mucho en extensión.

e) **Plegamiento alpino.** — Es el gran movimiento orogenético que, a fines del eoceno y principalmente durante el mioceno, dió por resultado la

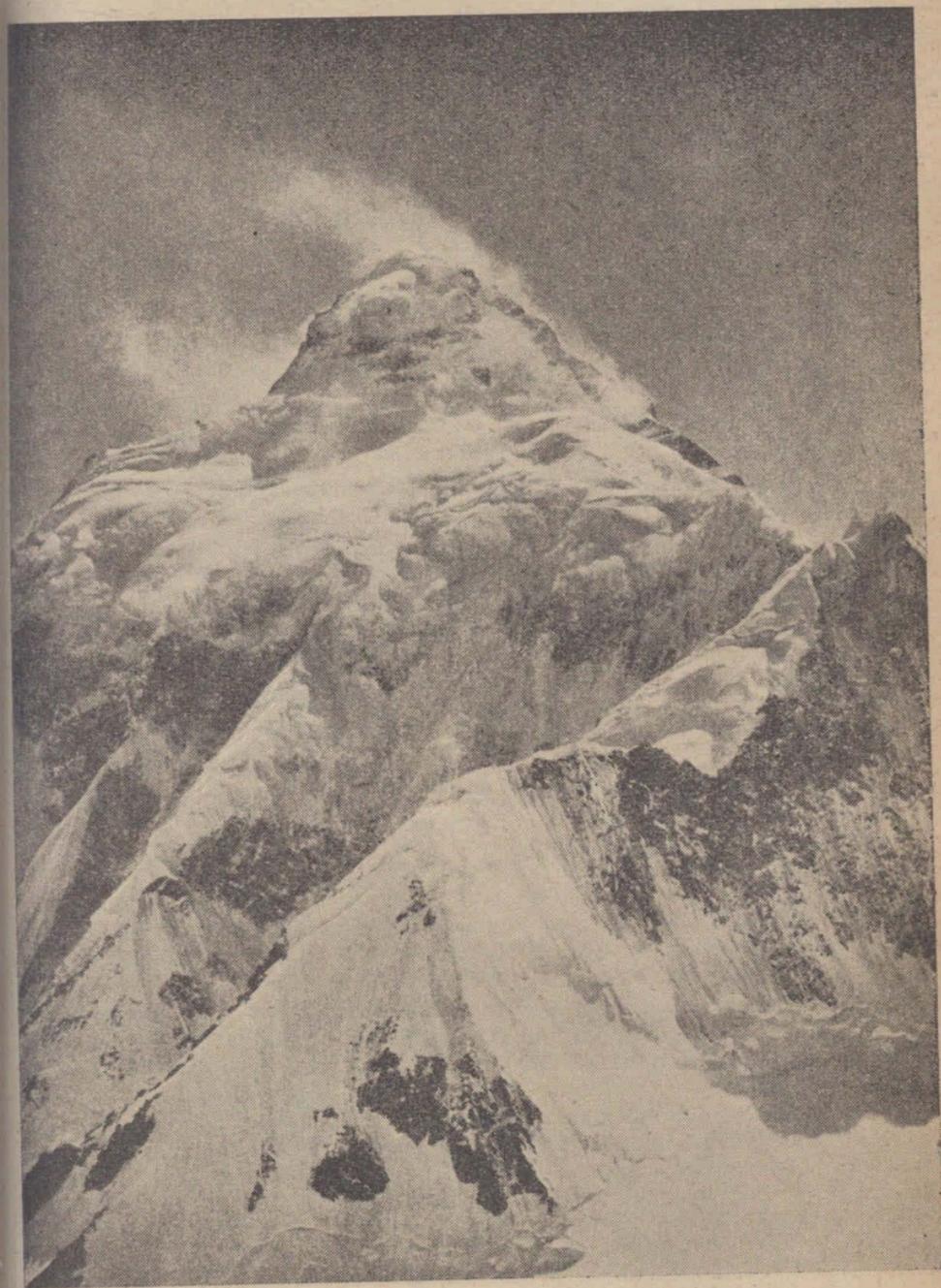


Fig. 204. — La cumbre K2 del Himalaya vista en su vertiente oriental, desde 6700 metros.

formación del sistema alpino, en el cual están incluidos no sólo los Alpes, sino también los Pirineos, el Cáucaso, Himalaya y los Andes, vale decir las montañas más altas de la tierra (fig. 204).

## CAPÍTULO XV

# GEOLOGIA ARGENTINA (1)

SUMARIO: 192. El actual relieve argentino. — 193. Carácter general de la geología argentina. — 194. Formaciones agnotozoicas. — 195. Formaciones paleozoicas. — 196. Formaciones mesozoicas. — 197. Formaciones cenozoicas. — 198. Formaciones cuaternarias. — 199. Origen de la Cordillera de los Andes. — 200. Manifestaciones volcánicas.

**192. EL ACTUAL RELIEVE ARGENTINO.** — La Argentina se halla al Sur del macizo sudamericano, llamado *Brasilía*, y del cordón cordillerano a partir del Sur del trópico de Cáncer. De la extremidad austral del altiplano, llamado Puna de Atacama, se desprende en el Norte de la Argentina un sistema de serranías, que se dispersan con rumbos algo variables por el centro del país. Luego se destacan al Sur del Río de la Plata otros dos cordones de serranías de carácter y rumbos diferentes; de aquí que, hacia el Sur, tienda a acentuarse el adelgazamiento del continente por toda la Patagonia, mientras crece considerablemente la anchura de la plataforma submarina.

a) **Plataforma submarina.** — Son de notar las grandes diferencias observadas en su desarrollo. Por la parte del Pacífico puede decirse que no existe este elemento morfológico submarino, por cuanto la caída escarpada de la Cordillera se prolonga en la misma forma hasta cerca de la costa del océano. En cambio, se observa una considerable anchura de la plataforma submarina en el lado del Atlántico, en dos diferentes partes: en el Norte, frente al estrecho que se extiende entre la boca del río Orinoco y el cabo San Roque, y en el Sur, desde Bahía (Brasil) hasta las Malvinas. En la porción austral, que se extiende al Sur de Bahía, la plataforma puede dividirse en tres partes: una alcanza hasta la latitud del Río de la Plata, otra se halla frente al arco sobresaliente de la provincia de Buenos Aires, y la tercera abarca la zona patagónica, incluso el zócalo de las islas Malvinas.

b) **El suelo emergido.** — Examinemos ahora los relieves existentes frente a las tres zonas de la plataforma austral submarina. En la primera

---

(1) La redacción de este capítulo y de los tres siguientes, que tocan temas relacionados con la geología del territorio nacional, se ha inspirado en los trabajos y escritos de los especialistas en geología argentina, señaladamente en los de A. Windhausen, P. Groeber y E. Hermitte.

En las costas del Brasil en el Atlántico ostentan restos de una cadena montañosa llamada *Brasilides*, muy denudada, en forma concordante, es decir que el alineamiento de la costa corresponde al rumbo principal de esa cadena. Frente a la segunda zona existen dos cadenas de sierras, que se levantan en medio de la pampa bonaerense en forma discordante, es decir en rumbo casi perpendicular a la dirección de la costa. La forma abrupta en que terminan estas sierras sugiere la suposición de que tienen una continuación submarina en la ancha plataforma continental. En la tercera zona presenta la plataforma submarina como parte integrante de la pendiente continental, con numerosos tramos que entreazan la Patagonia con la región antártica occidental. Por lo cual es dado reconocer en las islas Malvinas, en su ancha plataforma submarina y sus rasgos geológicos de tipo patagónico, el remanente de un antiguo macizo patagónico antártico.

En resumen, la porción septentrional de la Argentina está vinculada a los elementos estructurales de la extensa masa del continente sudamericano, llamada *Brasilia*, y en su porción austral, llamada *Patagonia*, deja ver sus correlaciones del pasado con elementos que hoy día forman parte de la región antártica. Windhausen presenta síntesis maravillosas que extractamos en la descripción de las distintas formaciones.

### 193. CARACTER GENERAL DE LA GEOLOGIA ARGENTINA. —

El geólogo D'Orbigny dijo del continente sudamericano que era de *extrema simplicidad*, y Darwin aseguró que en Sudamérica todo se había realizado en grande escala. Pero estas expresiones podían parecer verdaderas hace 50 años, cuando era desconocido en detalle el continente sudamericano y, en particular, el territorio argentino. Ya en 1885 el geólogo Stelzner, citando una frase de Marcou, pudo decir que tal simplicidad era más aparente que real; pues, en efecto, a medida que se ha intensificado la exploración geológica de este continente, ha ido desapareciendo el presunto carácter de sencillez.

La geología sudamericana y particularmente la argentina forma parte del cuadro general de la historia de la tierra y desde este punto de vista se ha de considerar. Por de pronto, se ha comprobado que sus vinculaciones con la geología de otros continentes no son puramente de orden biológico, como las que unen Sudamérica con Australia y Nueva Zelandia, sino que existen otras vinculaciones, manifestadas, por ejemplo, en el paralelismo, desarrollo y sedimentación de varias formaciones geológicas a ambos lados del Atlántico, lo cual apoya la idea sobre antiguas conexiones entre los continentes sudamericano y africano.

Asimismo se mantiene la idea de conexiones antiguas y duraderas entre todas las partes dispersas del hemisferio austral, idea que encontró una fórmula concreta en el concepto del gran continente Gondwana, de la era paleozoica y gran parte de la mesozoica. Con todo, en estos últimos años, este concepto, que estaba a punto de imponerse con carácter de ley fundamental, ha sido combatido con buenos argumentos. No obstante, debe mantenerse por ahora el concepto del continente Gondwana, mientras no se vislumbren definitivamente las líneas de un nuevo concepto sobre la génesis de los continentes y océanos, pues efectivamente sirve para relacionar las sierras antiguas a través de los mares.

### 194. FORMACIONES AGNOTOZOICAS. —

Se encuentran representadas en diversas zonas del país, especialmente en su

parte más septentrional. En efecto, al Norte de la latitud de Tucumán las formaciones agnotozoicas (algonkienses) componen un bloque alto y macizo, que al Este de la Puna de Atacama se halla dividido por dos o tres valles longitudinales con cuencas montañosas, que son las cordilleras orientales, en discordancia bien manifiesta con el arcaico. Las observaciones en esta región permiten deducir la existencia de un *plegamiento hurónico*, que separa las formaciones agnotozoicas de las arcaicas.

El mismo macizo agnotozoico, desde la latitud de Tucumán hacia el Sur y Sudeste, se disuelve en cierto número de cordones individuales, que o se desprenden de él o se levantan como elevaciones sueltas encima de las llanuras. La entidad más grande de este grupo y la situada más al Este es la Sierra de Córdoba; precisamente a todo este conjunto de alturas se ha dado en llamar, siguiendo el ejemplo de Stelzner, *Sierras Pampeanas*. En ellas se encuentra un basamento arcaico, sobre el cual descansan en discordancia los estratos del paleozoico inferior. Las Sierras Pampeanas representan una porción destrazada, fracturada, arrasada y hundida del *Escudo Brasileño*, que en tiempos terciarios y cuaternarios fué levantada a su altura actual. La particularidad de este sistema consiste en el carácter dispersivo de sus elementos individuales, que se pierden en la llanura pampeana. Entre sus rocas cristalinas arcaicas se observan en gran extensión rocas graníticas en forma de batolitos profundamente denudados. Como el metamorfismo ha afectado en gran parte a las rocas paleozoicas, transformándolas en rocas cristalinas, se hace muy difícil su separación de las arcaicas. Del estudio de los estratos se ha deducido en las Sierras Pampeanas un plegamiento del paleozoico inferior, paralelo con el plegamiento caledoniano de Norteamérica.

**195. FORMACIONES PALEOZOICAS.** — Existe una estrecha faja de sedimentos paleozoicos fuertemente plegados entre las Sierras Pampeanas y el borde oriental de la Cordillera Andina pertenecientes al silúrico, devónico y antracólico, con escasas rocas eruptivas paleozoicas.

La Cordillera de Mendoza, San Juan y La Rioja se presenta sobre un trecho de 500 kilómetros como una montaña plegada en el pérmico, flanqueada por un lado por las elevaciones occidentales de las Sierras Pampeanas y por el otro por las altas cadenas de la Cordillera principal.

La segunda zona de terrenos paleozoicos se presenta en el cordón austral de las Sierras Bonaerenses, donde existen no sólo los mismos elementos estratigráficos (silúrico, devónico y carbonífero), sino también los mismos fenómenos tectónicos que en la Precordillera. En ambas zonas los movimientos tectónicos interpérmicos fueron dirigidos hacia el Este o el Norte respectivamente, es decir hacia otros elementos estructurales más antiguos.

Además de la analogía muy grande en el carácter de los sedimentos paleozoicos, los movimientos del pérmico ligan la parte central de las Sierras Bonaerenses con las montañas del Cabo de Sudáfrica.

**196. FORMACIONES MESOZOICAS.** — Aparecen en la parte occidental de la Puna de Atacama y en las Sierras Subandinas, que son elevaciones aisladas de reducida altura, como que raras veces pasan de los 1.000 metros, que corren paralelamente a la Cordillera del Norte. Pero el macizo mesozoico más importante se halla en la Cordillera de los Andes. Examinemos en particular las formaciones mesozoicas de la Argentina.

a) **Formación triásica.** — El *triásico* está representado por areniscas rojas en las Sierras Pampeanas hasta la Sierra de Córdoba, y se apoyan en la Precordillera con discordancia respecto del plegamiento hercínico. La sucesión de sedimentos de origen terrestre y en gran parte desértico correspondientes al triásico superior (rético) está confinada a la parte Oeste de la Argentina y se encuentra en la Precordillera y en las sierras de la Huerta y del Valle Fértil. El rético es de espesor considerable, a veces superior a los 2.000 metros, contiene abundantes y potentes masas de rocas eruptivas básicas y de pórfido cuarcífero y de sus tobas, generalmente alteradas y de aspecto arcilloso, suele ser de vivos colores y encierra a diferentes niveles capas con plantas bien conservadas.

En el límite de la Argentina contra *Brasil* se presentan las partes superiores de la serie de Gondwana del Oeste de Sudamérica, bajo la forma de areniscas y de mantos supatriásicos de meláfiro. En el interior de la Cordillera del Sur de Mendoza y del Neuquén el triásico superior está representado por una serie exclusivamente eruptiva, compuesta de porfiritas, de ortófiros y de pórfidos cuarcíferos.

b) **Formación jurásica.** — Durante el jurásico toda la margen occidental del continente fué invadida por las aguas del océano y se convirtió en un geosinclinal marginal, comparable en su configuración con el actual borde del Asia oriental. La invasión marina quedó confinada a la región de la Cordillera principal actual y se apartó de la Cordillera andina en los territorios del Río Negro y Chubut occidentales. La cubierta marina se mantuvo estable hasta el final del jurásico medio (Dogger) y se retiró en el jurásico superior. Desde la latitud de 34° al Norte se acumularon grandes masas de yeso con espesores de 200 a 300 metros, y luego 800 y más de areniscas. En la ladera occidental de la Cordillera principal se produjeron grandes erupciones de porfiritas, que pueden seguirse hasta el Noroeste del Perú y Colombia, y que poseen un volumen total de unos 3 a 4 millones de kilómetros cúbicos.

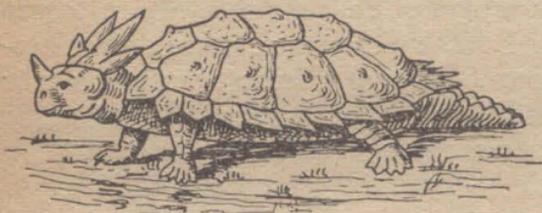


Fig. 205. — Reconstrucción de la tortuga gigante *Niolamia*, del cretáceo superior.

c) **Formación cretácea.** — Hacia el final del jurásico el mar volvió a conquistar sus dominios perdidos e inundó toda la margen occidental de la América del Sur. En la Cordillera principal cubrió más o menos la mis-

ma área que ocupó durante la invasión anterior de principios del jurásico; pero en el Sur el mar quedó confinado a la Cordillera Patagónica propiamente dicha. De la sección Norte el mar se retiró en el cretáceo medio, dando lugar a abundantes depósitos de agua salobre, ricos en sal y yeso y, seguidamente a la deposición de sedimentos arenosos y terrestres, con algunos restos de *dinosaurios*.

En la Cordillera Patagónica perduró el régimen marino hasta el final del cretáceo, con una breve interrupción en el cretáceo medio. Poco antes de terminar el cretáceo sobrevino el primero de los movimientos orogenéticos a los que la cadena de los Andes debe su formación y configuración (fig. 205).

197. **FORMACIONES CENOZOICAS.** — Las *formaciones cenozoicas* o *terciarias* se hallan muy difundidas en la Argentina, particularmente en la Patagonia extraandina, en Entre Ríos y en el borde de los Andes.

a) **El terciario patagónico.** — No cabe duda que el escenario principal de las formaciones terciarias en la Argentina es la Patagonia extraandina, notables así por el carácter variado de la sedimentación y la repetida alternancia de los depósitos marinos, terrestres y lacustres, como por su contenido faunístico. Extractamos de Windhausen la descripción de este terreno, típicamente argentino.

Por de pronto existen en la región extensos depósitos terrestres del terciario antiguo, que se destacan muy particularmente entre el río Negro y el río Deseado, con sedimentos blancos o gris-amarillentos, casi enteramente compuestos de material tobáceo con cierto porcentaje de arcilla; por regla general estos sedimentos contienen pocos fósiles; con todo, suelen existir concentraciones de los mismos en determinados parajes, rasgo característico de la sedimentación terrestre.

En la Patagonia se encuentra la serie llamada *andesítica*, consistente en un complejo de grande espesor, que descansa sobre un plano de denudación de carácter regional. La serie andesítica representa el relleno de una ancha cuenca, que se extendía a principios del terciario en la zona andina y preandina del Norte del Neuquén y Sud de Mendoza. La zona andesítica se compone de mantos, tobas y conglomerados de andesitas augíticas, a veces hornblendíferas o, raras veces, micáceas. Contiene, además, mantos intercalados de basaltos olivínicos. Groeber atribuye a este complejo de la serie andesítica un espesor normal de 1.500 a 2.000 metros; pero admite que, en algunas regiones, puede llegar a tener hasta 4.000 metros de espesor.

Al período de acumulación de sedimentos terrestres sucedió en la Patagonia un período de régimen marino, cuyos depósitos se presentan con grande uniformidad; este período corresponde a la llamada *formación* o *molasa patagónica*, que se presenta como un complejo arcilloso y margoso, con alto porcentaje de toba, de color blanquecino amarillento-gris. En la parte superior de esta formación empiezan a prevalecer un carácter arenoso-alcáreo y un color pardo amarillo o chocolate; al mismo tiempo la sedimentación muestra grande irregularidad y los bancos fósilíferos pierden sus niveles relativamente constantes, que ocupan en su sección inferior. El espesor total de la formación, a juzgar por su desarrollo en la región de Comodoro Rivadavia, pasa de 1.000 metros. En la región magallánica es notable esta formación por la presencia de mantos de lignitos (fig. 206).

b) **La ingresión marina del entrerriano.** — Pertenecer a la segunda irrupción que hizo el mar en territorio argentino durante la era terciaria y difiere grandemente de la primera irrupción, que dió origen a la molasa patagónica.

Ante todo resalta el hecho de que la ingresión marina del entrerriano no quedó limitada al área patagónica, sino que entró por el Río de la Plata hasta el centro mismo del país, de suerte que esta formación marina es considerada como la de mayor extensión en el territorio argentino, como que se la encuentra

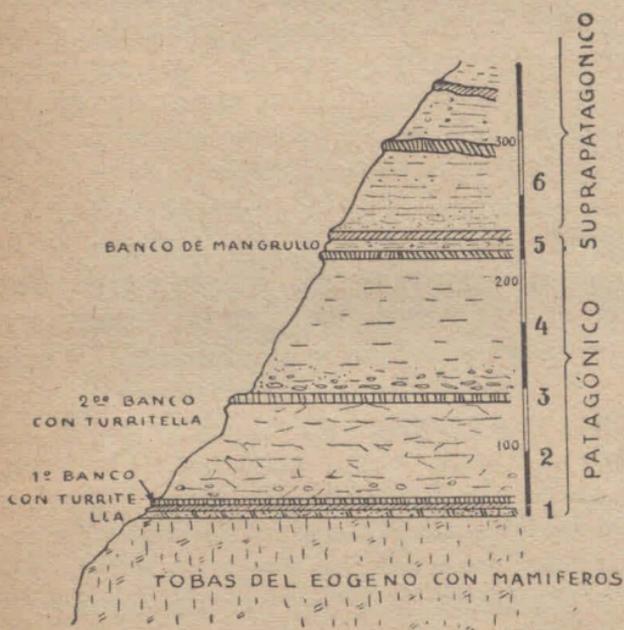


Fig. 206. — Perfil de la molasa patagónica en la región de Comodoro Rivadavia (Chubut), según la trae Windhausen.

región del Golfo Nuevo, donde existe una alternancia irregular de areniscas y depósitos de limo y fango, todo de un carácter muy friable y poco compacto y con fósiles abundantes. En la parte superior estos sedimentos pasan a depósitos arcillosos y síferos, que representan ya la zona de transición hacia el araucano (fig. 207).

c) **El araucano en la Argentina.** — Este piso, perteneciente al *plioceno*, creado por Doering en 1882, abarca un conjunto de depósitos terrestres fosilíferos muy desparramados en el extenso territorio de la República. Los sedimentos más t

por debajo de las llanuras pampeanas, incluso en el subsuelo de la Capital Federal, como lo demuestran las perforaciones practicadas.

El sitio clásico del entrerriano se halla en las barrancas orientales del río Paraná, e las que se advierte la intercalación de restos de mamíferos y reptiles terrestres y marinos. El entrerriano en el área patagónica alcanza su desarrollo típico en

picos de este piso fueron considerados los del Valle Calchaquí, de Catamarca, aunque ahora se cree más bien sean una facies del entrerriano marino. En donde se desarrolla particularmente este piso es al pie de la Cordillera mendocina, desde el río Diamante hacia el Norte, formando depósitos arenáceos y limosos, de color rojizo y amarillento, con bancos intercalados de tobas volcánicas, en un espesor que al Este de San Rafael pasa de los 1.000 metros. En la región patagónica el araucano contiene una arenisca bastante friable de color gris-azulado y con mucha estratificación entrecruzada.

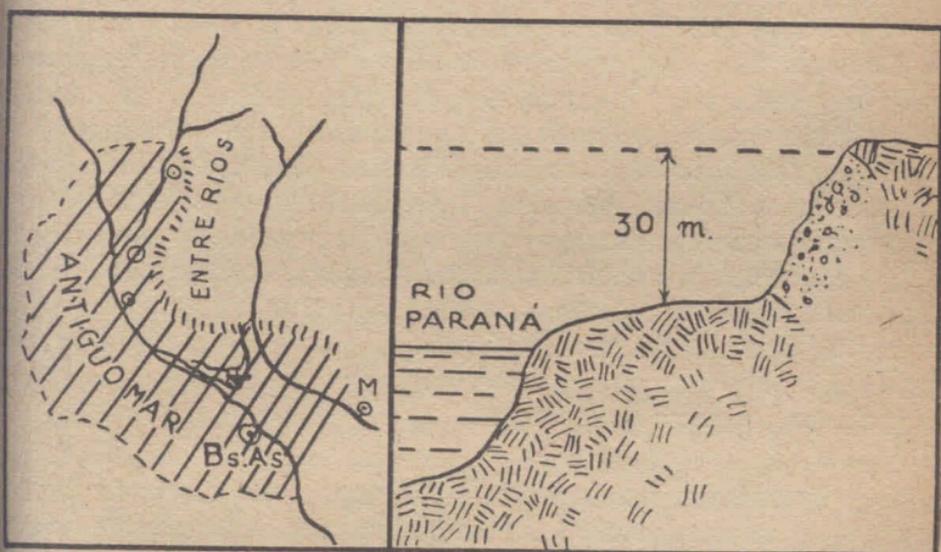


Fig. 207. — Antiguo mar mesopotámico (izquierda) y corte de las barrancas del río Paraná en Entre Ríos, según R. Cury.

La formación araucana (piso hermosense) se caracteriza por la presencia de un pequeño tipotérido, llamado paquiruco (del griego *pajys*, grueso, y *rhinjo*, hocico), del tamaño de una vizcacha, pero de pies reducidos, cuerpo corto, grueso y morrudo. Tenía grandes órbitas y estaba provisto de caninos. Encierra, además, multitud de roedores y grandes carpinchos, corpulentos toxóntidos, como el tripodonte, que alcanzaba el tamaño de un rinoceronte y poseía un cuerno en la mitad de la frente; además, numerosos perros, osos y armadillos.

d) **El terciario en el borde de los Andes.** — La sedimentación terrestre, insignificante en el jurásico, a causa del relieve

rebajado de la región andina con pendiente hacia el Pacífico, se reanimó en el cretáceo y, sobre todo, en el terciario, con el levantamiento de la Cordillera. El *terciario subandino* es una formación de areniscas finas, rojizas, y de margas abigarradas yesíferas con intercalaciones de calizas oolíticas y calcáreas, de aspecto de piedras litográficas, con restos de peces y de insectos, y con abundancia de intercalaciones de yeso de origen lacustre. El terciario subandino tiene el centro de su desarrollo en la provincia de Salta, siguiendo de allí hacia Jujuy y la región boliviana, con un espesor cada vez más crecido.

**198. FORMACIONES CUATERNARIAS.** — El cuaternario en la Argentina comprende no sólo el loes y limo pampeanos y los depósitos dejados por la glaciación andina, sino además un gran número de sedimentos, que se engranan entre aquéllos, como arenas de distintos orígenes, arenas de médanos, depósitos lacustres y conos de deyección al pie de las montañas, depósitos salineros y acarrees de los faldeos de barrancas y de sierras, fango de deltas y estuarios, limos y margas generalmente de color verdusco o chocolate, capas de pedregullo en mantos y en los restos de las terrazas. De aquí que frente a un conjunto tan variado, se observe una gran divergencia de opiniones e interpretaciones sobre su cronología.

a) **Formación pampeana.** — Comprende el vasto sedimento que se encuentra por encima de la serie araucana y por debajo de la tierra vegetal, en casi toda la llanura argentina, especialmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, San Luis y Sur de Córdoba. Es el terreno de color rojizo que se extrae de las excavaciones realizadas en la Capital Federal y que es dado observar en las barrancas que dominan el Río de la Plata.

Esta tierra tiene un origen subaéreo o de agua dulce, y está constituida por una gran acumulación de loes rojizo o pardo, casi siempre sin estratificación aparente y con gran cantidad de *tosca* ramificada y formando amplios mantos y delgados estratos. En las barrancas que limitan el curso de los ríos y arroyos y aun lejos de las corrientes de agua se encuentran enclavados en el loes pampeano terrenos de antiguas lagunas o pantanos desaparecidos. En cambio, en las proximidades del litoral paranense, platense y atlántico se advierten amplios de-

pósitos marinos, intercalados en el pampeano y que corresponden a avances de las aguas oceánicas. La formación pampeana se compone de dos partes principales: una inferior, llamada *piso ensenadense*, y otra superior, llamada *piso bonaerense*, separados en la cuenca de La Plata por un avance marino, que dejó grandes depósitos de conchillas de 1 a 4 metros de espesor, según puede observarse en La Magdalena y en las proximidades de la ciudad de La Plata.

La principal característica paleontológica de la formación pampeana es la presencia de grandes desdentados, de los cuales sólo quedan hoy el *peludo*, la *mulita*, el *mataco* y algunos otros individuos. Se cree que la pampa por ese tiempo debía ser un inmenso bañado cubierto de exuberante vegetación.

1. El *piso ensenadense* está constituido por loes bastante coherente y de color pardo, con tosca estratificada. Aflora en la playa del Río de la Plata, en la base de los altos acantilados del litoral atlántico bonaerense, en un espesor de unos 20 metros. En su tercio inferior presenta a lo largo del Río de la Plata y del mar depósitos marinos de unos 3 metros de espesor.

2. El *piso bonaerense* está constituido por loes de tono más claro y partículas más sueltas, con tosca en forma de aglomeraciones aisladas. Se hace más patente que el anterior por aparecer inmediatamente debajo de la tierra vegetal y en las excavaciones. Su espesor es de unos 20 metros. En este piso se han encontrado mantos más o menos espesos y continuos de cenizas volcánicas, que en algunos puntos llegan a tener metro y medio de espesor.

b) **Formación del loes argentino.** — El término *loes* fué transferido a los depósitos pampeanos, por vez primera, en 1863 por los investigadores de origen suizo Henner y Claraz. Es el término corriente en la nomenclatura de los depósitos del diluvio europeo, que más tarde fué utilizado para denominar sedimentos de aspecto parecido y de gran espesor en China, Persia, Sudáfrica y México. Pero con el término *loes* se incluye un conjunto muy heterogéneo de formaciones sedimentarias, provistas de un rasgo común: su origen bajo condiciones áridas, en un clima de estepa o desértico. Veamos lo que dice Windhausen.

“El *loes argentino*, cuyo espesor se manifiesta en ciertas perforaciones como pasando de los 100 metros, es un producto característico de la zona oriental, es decir, fuera de los conos de

deyección al pie de las montañas. Es el sedimento típico de las estepas con llanuras inmensas y sin desagüe, donde se ha depositado sólo el material más fino, transportado por las aguas de las lluvias periódicas. Cuando el loes es estratificado contiene capas de arena de origen evidentemente fluvial; y cuando se ofrece con su estructura típica porosa, producida por restos de plantas, el loes se atribuye a origen eólico.

En su conjunto, la masa del *loes argentino* es considerada como producto de diversos factores: como las partes más finas de la descomposición de las rocas ígneas y sedimentarias, como residuos de cenizas volcánicas y como producto de lodo fluvial, lacustre o glacial. Rasgos particulares del *loes argentino* son la presencia de cenizas volcánicas y de tosca. Como es sabido, la tosca, además de carbonato cálcico, contiene cierto porcentaje de sílice, en forma de agujas finas, cuyo origen debe buscarse en el material volcánico

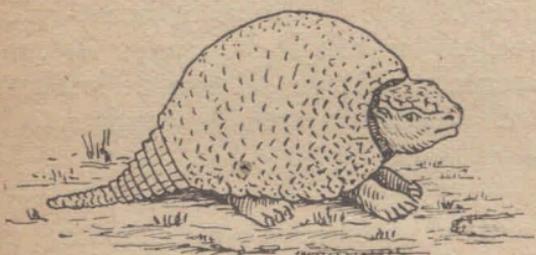


Fig. 208. — Reconstrucción de un Gliptodonte del pampeano.

laguna de la Villa de Luján, fué enviado por el Virrey Loreto al Rey de España Carlos III: por su esqueleto se parece al perezoso.

2.º El *gliptodonte* (del griego *gliptos*, esculpido, y *odón*, diente), es semejante al armadillo, pero de mayor tamaño. Su cuerpo está recubierto por placas soldadas y dispuestas, unas al lado de otras, formando una pieza casi inflexible; su cola, de un metro y más, le servía de gran defensa (fig. 208).

3.º El *milodonte* (del griego *mylos*, muela, y *odón*, diente) medía 3 metros de largo y era del tamaño de un elefante. En cada mandíbula tenía cuatro pares de molares.

4.º El *esmilodonte* (del griego *smile*, cuchillo, y *odón*, diente) era un felino muy robusto, mayor que el jaguar actual, y tenía dos colmillos superiores, largos y arqueados.

5.º El *toxodonte* (del griego *toxos*, arco, y *odón*, diente) se parecía al hipopótamo actual, con dentadura semejante a la de los roedores, esqueleto parecido al de los carnívoros y extremidades semejantes a las de los desdentados. Vivía, ya en los ríos y lagunas, ya en la tierra (fig. 209).

6.º El *macrauchenia* era muy parecido al caballo, pero mucho más fuerte: tenía la cabeza pequeña en comparación del cuerpo, que se prolongaba por una trompa carnívora. Su cuello era largo como el del camello, los miembros fuertes y la cola larga y gruesa.

c) Principales fósiles cuaternarios. — Según R. Cury, los principales fósiles del terreno pampeano son: 1.º El *megaterio* (del griego *megas*, grande, y *therion*, bestia salvaje), encontrado en 1798 en una

d) **Epoca actual.** — Como perteneciente a la época actual se registra en la Argentina un conjunto de estratos muy variados, depositados en las cavidades del relieve postpleitocénico, en forma de conos de deyección, con arenas y arcillas, o de médanos, ceniza volcánica, capas saladas o arenosas, yacimientos de sales y de boratos. Estos depósitos suelen ser de escasa extensión. Las porciones más típicas de la época actual en la Argentina son el vasto delta paranense y la faja de médanos existente en todo el litoral atlántico bonaerense.

En la época actual se han registrado en la Argentina ciertos cambios en los sistemas de drenaje, cambios que se vinculan aparentemente con leves oscilaciones de carácter epirogenético. Por ejemplo, el desplazamiento del cauce del río Paraná, que antes corría por la laguna Iberá, y los leves deslizamientos en los labios del Paraná inferior, que parecen continuar con caracteres más o menos permanentes.

### 199. ORIGEN DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES.

— Al plegamiento de las montañas del mediterráneo eurasiático corresponde, en los bordes del océano Pacífico, el nacimiento de la zona de pliegues circumpacíficos, que en Sudamérica corresponde a la Cordillera de los Andes. Pero el proceso genético de su plegamiento y levantamiento a grandes alturas no fué ciertamente un proceso uniforme, ni tampoco el cuadro de los componentes estructurales de esta cadena de montañas es de carácter homogéneo (fig. 210).

Por de pronto, su proceso orogenético no se ha realizado de un solo golpe, sino en fases intermitentes. Más aún, se puede asegurar que en semejante proceso juega un papel mucho menos importante el plegamiento en el sentido propio de la palabra, que el movimiento ascendente o descendente de bloques.

En realidad, el plegamiento andino comenzó al final del cretáceo, como proceso puramente tectónico, al que puede aplicarse la denominación de *plegamiento*. En llegando a la época terciaria

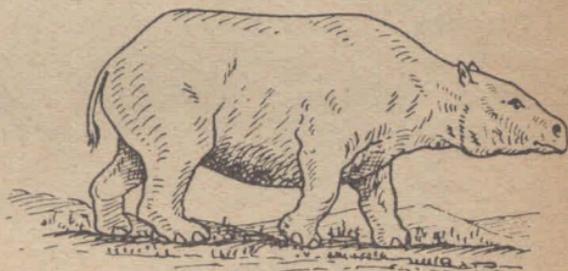


Fig. 209. — Reconstrucción del *Toxodon platensis*, del pleistoceno.

ria, se observa en muchos casos una primera elevación o especie de levantamiento en una zona central, y luego movimientos en diferentes grados en las partes que flanquean esta zona y que crean dislocaciones verticales (fracturas) más o menos grandes. En otra fase posterior se produjeron movimientos descendentes, sobre todo en el epicentro de parte negativa o sobre las líneas de soldadura de diferentes elementos estructurales.



Fig. 210. — Cordón del Plata en la Cordillera andina de Mendoza.

Mientras esto sucedía en la zona andina y sus dependencias, tenía lugar a gran distancia, en elementos antiguos ya plegados y arrasados por la denudación, un movimiento ascendente, que motivó su reaparición como elementos orográficos y arrastró también algo las partes contiguas. A todo esto deben agregarse los efectos de movimientos puramente epirogenéticos u oscilatorios en las regiones situadas fuera del área montañosa, es decir, ascensos y descensos en áreas extensas de la plataforma conti-

mental, que dieron lugar a irrupciones o regresiones del mar, de mayor o menor extensión.

Pero los efectos de la gran fase orogenética y epirogenética, que comenzó al final del cretáceo y siguió durante el terciario y el pleistoceno y cuyas últimas manifestaciones observamos en la actual sismicidad, se presentan no sólo en la gran Cordillera de los Andes, sino también en los demás elementos estructurales de la Argentina; y así se observan fenómenos vinculados con estos procesos tanto en las Sierras Pampeanas, como en las Sierras Bonaerenses. Tal es, en síntesis, la manera cómo Windhausen concibe el origen de la cordillera de los Andes.

**200. MANIFESTACIONES VOLCANICAS.** — En forma grandemente impresionante se presentan en la Argentina las exteriorizaciones del vulcanismo que acompañaron las diferentes fases de los movimientos orogenéticos y epirogenéticos. Precisamente la Cordillera de los Andes resulta ser una de las regiones de la tierra donde resaltan en forma especialmente nítida las vinculaciones entre orogénesis y vulcanismo.

Así se extiende en el borde oriental del Pacífico una faja meridional o submeridional de volcanes jóvenes, que se elevan en plena cordillera, en forma de grupos, de hileras o de cerros aislados, y estos volcanes jóvenes son los que forzosamente trabajaron en la segunda mitad del terciario y durante el pleistoceno. Estos cerros, formados de materiales arrojados por los volcanes, constan de rocas andesíticas, dacíticas y liparíticas, que con frecuencia han sido acarreadas por el viento y el agua a sitios muy distantes de los centros de erupción. También se hallan con frecuencia fuera de las regiones montañosas, rocas basálticas, características de las últimas fases de erupción (figura 211).

Pero estas manifestaciones representan sólo una parte, y no la más importante, de la actividad volcánica del terciario en la Argentina. De mucha mayor importancia y más distribuidas suelen ser las rocas de carácter granítico y diorítico, que se presentan así bajo la forma de rocas abisales, como de estructura porfídica y aspecto preferentemente andesítico. Bajo el primer aspecto suelen ser masas intrusivas, de forma alargada, que siguen el rumbo de las montañas; y en el segundo aspecto, se presentan diseminadas en toda la masa de la montaña atravesando los sedimentos en forma de diques o lentejas.

En el territorio argentino se observan las manifestaciones

de la fase efusiva, sobre todo, en el Norte; en los altos volcanes de la Puna, donde figuran las cumbres más elevadas del país. Otro grupo comienza al Sur de los dos cerros Mercedario y Aconcagua, sin ser ellos mismos volcanes. En la Cordillera Patagónica se presenta ya algo restringida esta forma de vulcanismo, hasta alcanzar su último representante en la montaña Burney, en Tierra del Fuego, centinela solitario y simbólico, de una fuerza endógena de la tierra, cuyas manifestaciones se extienden a través de 6000 kilómetros en el borde del Pacífico y cuyo otro extremo se halla en las altas cumbres nevadas de Alaska.

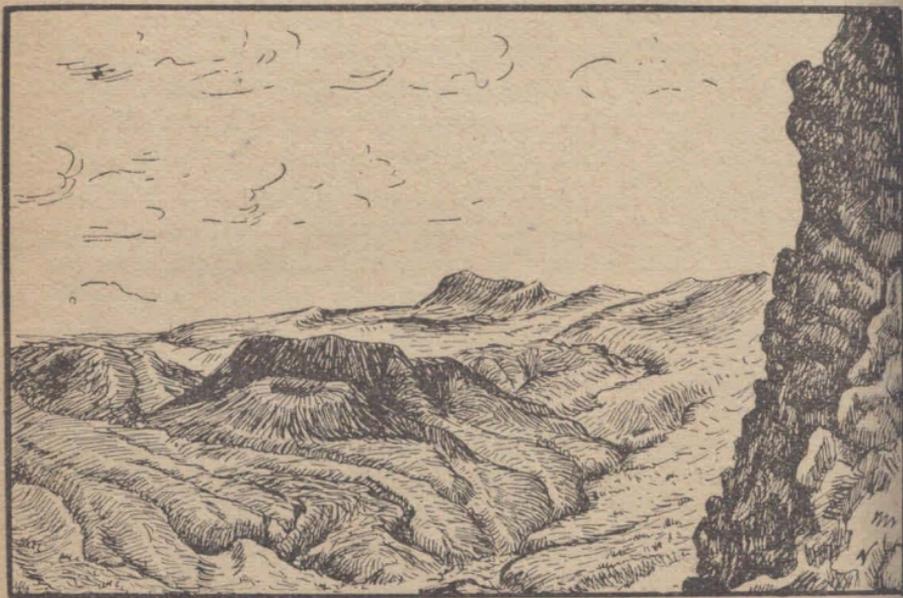


Fig. 211. — Paisaje volcánico en los alrededores del Pico Oneto (Chubut), según Windhausen.

La uniformidad de los fenómenos de vulcanismo en todo el borde pacífico de ambas Américas ha sido acompañada de un sincronismo bastante marcado en las principales fases de movimientos orogenéticos y epirogenéticos. Casi todas estas fases han dejado su rastro en el continente sudamericano, como en el continente vecino del otro hemisferio, si bien, como atinadamente observa Windhausen, sus manifestaciones varían en el grado de energía.

## CAPÍTULO XVI

# YACIMIENTOS ARGENTINOS DE MINERALES Y ROCAS

SUMARIO: 201. Origen de los yacimientos metalíferos. — 202. Transformación subaérea de los yacimientos. — 203. Minerales de fase ortomagmática. — 204. Minerales de fase pegmatítico-pneumatolítica. — 205. Minerales de fase hidrotermal. — 206. Piedras preciosas y semipreciosas. — 207. Yacimientos de sales. — 208. Yacimientos de rocas de aplicación. — 209. Combustibles sólidos. — 210. Combustibles líquidos. — 211. Aguas freáticas. — 212. Aguas minerales.

**201. ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS METALIFEROS.** — Los yacimientos metalíferos derivan del magma interior de la tierra por tres fases sucesivas, que reciben respectivamente los nombres de ortomagmática, pegmatítico-pneumatolítica e hidrotermal.

a) **Fase ortomagmática.** — En esta fase cristalizan primero los minerales de hierro, titanio y fósforo; luego los silicatos de magnesio, calcio y hierro (olivino, biotita, piroxenos y anfíboles); después los feldespatos y la sílice libre (cuarzo), quedando un pequeño número de metales en estado nativo o en forma de óxidos y sulfuros (magnetita, cromita, magnetopirita, etc.). Terminada la cristalización de estos elementos, que son los componentes esenciales del magma, la solución remanente suministra los elementos para las fases siguientes.

b) **Fase pegmatítico-pneumatolítica.** — Los principales remanentes de la primera fase son: los metales pesados, el litio, boro, ácido carbónico, agua y restos de sílice, que tienden a emigrar a través de las fisuras y grietas que cortan el techo y los costados del cuerpo magmático; y, a medida que baja la temperatura y la presión, se separan determinados minerales, hasta terminar con la emanación de gases, como sulfhídrico o carbónico. En esta fase no sólo se realiza la formación de pegmatitas y aplitas, sino también la deposición de minerales, como wolframita, casiterita, topacio, turmalina, etcétera.

c) **Fase hidrotermal.** — Las aguas calientes determinan la formación de la gran mayoría de los filones metalíferos de oro, plata, plomo, cinc y manganeso, con el acompañamiento de la ganga de cuarzo, baritina y carbonatos. No deja de ser interesante la disposición que adoptan la ganga y los minerales, según los casos.

Cuando la temperatura es superior a los 100 grados, los yacimientos de este tipo contienen como material de ganga cuarzo y baritina; a una temperatura inferior la ganga consiste en carbonatos de calcio y hierro, en ópalo y calcedonia. En la veta se depositan los metales bajo la forma de sulfuros o arseniuros, casi nunca como óxidos. Los minerales más frecuentes son: galena, blenda, pirita, calcopirita, antimonita, arsenopirita, argentita y cinabrio. A veces faltan en las aguas termales los minerales metalíferos pesados, y entonces se produce solamente relleno de carbonatos, lo que da lugar a depósitos de travertino y de mármol ónix.

## 202. TRANSFORMACION SUBAREA DE LOS YACIMIENTOS.

— Todo yacimiento de origen ígneo, formado a cierta distancia de la superficie de la tierra está sujeto a los mismos agentes destructores de las rocas, que obran sobre los minerales contenidos en las vetas de afloramiento. Para comprender mejor las transformaciones que pueden experimentar los yacimientos metalíferos, examinaremos el caso particular de un yacimiento hidrotermal, con ganga de baritina y con minerales de pirita, calcopirita, blenda y galena, según lo expone el geólogo P. Groeber.

Ante todo, por acción del oxígeno contenido en el aire y en las aguas, se produce la oxidación de los sulfuros, que se convierten en sulfatos muy solubles: éstos, arrastrados por las aguas, se infiltran por las rajaduras, para formar una napa freática común. El excedente de ácido sulfúrico ataca a la roca de la caja y la altera. El anhídrido carbónico del aire y del agua puede producir a su vez carbonatos; por esto, al lado de sulfatos de cobre y plomo, se encuentran con frecuencia sus carbonatos. El sulfuro de hierro, al perder el azufre, se transforma en sesquióxido de hierro, hidratado o anhidro, dando lugar al llamado "sombrero de hierro", que en ocasiones reviste excepcional importancia, cuando incluye oro y plata, procedentes de las piritas y galenas, si éstas eran auríferas y argentíferas, respectivamente.

En los niveles de la napa freática se acumulan algo así como los nódulos de tosca, en los sedimentos pampeanos, las substancias minerales provenientes de la veta puesta en contacto con el aire. Estas aguas, al infiltrarse por los intersticios de los minerales, depositan su cargamento de substancias disueltas, las cuales forman una especie de cemento, por lo cual esta zona profunda de los filones se conoce con el nombre de *zona de cementación*.

En el ejemplo propuesto aparecerían en la zona de cementación calcosina y sulfosales de plata. Esta zona suele ser particularmente rica en minerales de alta ley, por tratarse de una especie de concentración natural originada por la reducción de las sales oxidadas en presencia de sulfuros aun no atacados. Esta zona de concentración alcanza profundidades varias, aunque nunca muy profundas, de suerte que bajo de ellas suele presentarse la veta en su constitución primitiva, muchas veces de ley insuficiente para emprender su explotación.

## 203. MINERALES DE FASE ORTOMAGMATICA. —

Carecen de importancia en el territorio argentino; con todo, no

altan algunas manifestaciones de los mismos en los granitos arcaicos-algonkienses de la porción central de las Sierras Pampeanas. Así en Calamuchita (Córdoba) hay segregaciones de wolframita en una serpentina, interposiciones de platino en Alta Gracia (Córdoba) y veneros de magnetita en Albigaste (Catamarca).

**204. MINERALES DE FASE PEGMATITICO-PNEUMATOGENICA.** — La Argentina posee varios yacimientos importantes pertenecientes a esta fase, los principales de los cuales son los de tungsteno, estaño y molibdeno.

a) **Minerales de tungsteno.** — Se trata de *wolframita* y de *scheelita*, que se presentan en filones de cuarzo con mica, junto con muchos minerales accesorios, como turmalina, apatito, berilo, topacio y piratas de hierro y cobre. Hay ya reconocidos más de 50 yacimientos de estos minerales en la sierra de Córdoba, en Los Cóndores (San Luis), San Salvador (Catamarca) y en la sierra de Conconta (San Juan).

La producción en 1936 fué como sigue: San Luis, 437 toneladas; Córdoba, 209; San Juan, 9; Catamarca, 3 toneladas, lo que da un total de 658 toneladas con un valor de más de un millón de pesos.

b) **Minerales de estaño.** — Son de *casiterita* y suelen hallarse junto con los de tungsteno o wolfram en la masa de los mismos filones pegmatíferos, sobre todo en Cerro del Fraile (Catamarca) y en toda la región comprendida entre la Sierra de Fiambalá en el Norte hasta Quines en San Luis. En la zona intermedia también se han encontrado minerales de estaño, particularmente en las serranías de Mazán, de Velasco, de los Llanos y de Córdoba. En las cuencas de los ríos Orosmayo y Pircas (Jujuy) la erosión y decantación natural han dado lugar a la formación de depósitos aluviales que cubren unas 100 hectáreas reconocidas y se explotan en grande escala.

La producción en 1936 fué como sigue: Provincia de Jujuy, 1380 toneladas; provincia de Catamarca, 60; lo que da un total de 1440 toneladas con un valor de más de dos millones de pesos.

c) **Minerales de molibdeno.** — Son de *molibdenita* y suelen hallarse vinculados a los de tungsteno o wolfram. Esto puede

observarse en Calamuchita (Córdoba) y en los numerosos yacimientos de tungsteno de San Luis. En ocasiones predominan los minerales de bismuto y tienden a faltar los de tungsteno. Al mismo tiempo retrocede la participación de mica en los filones y el yacimiento se acerca a los de tipo hidrotermal, como se observa en las sierras de Córdoba, de San Luis y de La Rioja y en la Precordillera de San Juan.

**205. MINERALES DE FASE HIDROTERMAL.** — Pertenecen a este grupo los yacimientos de plomo, cinc, plata, oro, cobre y manganeso. Son los más extendidos en la Argentina, ya que no se limitan a la zona andina, sino que atraviesan los límites de ésta penetrando en el área de las estructuras adyacentes.

a) **Minerales de plomo.** — Son principalmente de *galena*, acompañada a veces de *anglesita* y *cerusita*. Los principales yacimientos de plomo en la Argentina radican en la provincia de Jujuy (Cerro Aguilar, Cóndor y San Antonio); los hay también en los territorios del Chubut y del Neuquén y en las provincias de La Rioja y San Juan. El yacimiento de Cerro Aguilar es el más importante de la República y proviene de soluciones que han sido alojadas en un estrato potente de pizarra calcárea. La mineralización es compleja, pues al lado de silicatos de contacto (*diópside*, *granate* y *epidoto*) se encuentra la *galena* asociada a la *blenda*, a *piritia*, a *calcopirita* y a *titanita*; la *galena* es *argentífera* con una ley de plata que varía de 200 a 250 gramos por tonelada.

La producción en 1936 fué como sigue: Jujuy, 8.838 toneladas; Chubut, 84; La Rioja, 37; Neuquén, 33; San Juan, 20; lo que da un total de 9.012 toneladas con un valor de cerca tres millones de pesos.

b) **Minerales de cinc.** — Son de *blenda* y se encuentran en la sierra Pintada (Mendoza) y en Valcheta, de la región patagónica. Estos minerales suelen contener algo de *galena*. Lo mismo sucede con los de Sierra de Tontal (San Juan), a 3000 metros sobre el nivel del mar, y los de Paramillo de Uspallata (Mendoza), a 2800 metros. Con todo, la única *blenda* que se explota en la actualidad es la que contienen los yacimientos de plomo de la provincia de Jujuy.

La producción de blenda en 1938, toda ella procedente de Jujuy, asciende a 5.487 toneladas, con un valor de 200.000 pesos.

c) **Minerales de plata.** — En la Argentina la plata no se presenta formando sales especiales, como la argentita, sino que se encuentra con otros metales, como plomo, cobre, cinc y vanadio. Por esto los filones argentíferos de la Argentina se dividen en tres tipos: 1.º, en que predomina la galena argentífera, con blenda y cuarzo como masa de ganga; 2.º, en que predominan la pirita y calcopirita auríferas; 3.º, en que hay mezcla irregular de todos esos componentes. Los yacimientos principales de galena argentífera se hallan en las Sierras de Córdoba y de San Luis, pero sobre todo en Cerro Aguilar (Jujuy).

d) **Minerales de oro.** — El oro en la Argentina se presenta, ya en vetas de cuarzo aurífero, ya incluido en piritas o calcopiritas auríferas. Los cuarzos auríferos más importantes se encuentran en pizarras del silúrico en la Rinconada (Jujuy), en la Cordillera, en las Sierras Pampeanas y en Colonia Pellegrini (territorio de Santa Cruz). Los yacimientos de piritas y calcopiritas auríferas dependen de dacitas y andesitas terciarias de Famatina (La Rioja), San Román (Mendoza), la Carolina (San Luis) y Andacollo (Neuquén). De esos yacimientos derivan los placeres auríferos de los ríos Blanco (La Rioja), Carpa y Carolina (San Luis), Cañada Honda (Jujuy) y Andacollo (Neuquén).

La producción de oro en 1936 fué como sigue: San Luis, 60 kilogramos; Jujuy, 120; Neuquén, 45; Chubut, 35; La Rioja, 0; lo que da un total de 380 kilogramos con un valor de cerca de dos millones de pesos.

e) **Minerales de cobre.** — Los yacimientos argentinos de cobre más conocidos son los de Famatina (La Rioja) y de Caillitas (Catamarca). Los primeros se ligan a dacitas terciarias y se caracterizan por sulfuros y arseniuros de cobre, como calcopirita, enargita (famatinita), con pirita a menudo algo aurífera, y baritina. Los segundos están ligados a las mismas rocas y contienen calcopirita, pirita, galena y blenda. Estos yacimientos han dado lugar a costosas tentativas de explotación con escaso o ningún resultado. A esto debe añadirse el de la mina Concordia, en San Antonio de los Cobres, explotado ya en tiempo de la colonia y probablemente agotado.

f) **Minerales de manganeso.** — Constan de *pirolusita*, *psilomelano* y *manganita*, los cuales constituyen las últimas manifestaciones de la fase hidrotermal. Como ganga contienen calcita, baritina, calcedonia y ópalo en cantidades variables. En la Argentina los yacimientos manganesíferos de cierta importancia se hallan ligados a rocas magnéticas (granitos, pórfidos, cuarcita y porfirita) de edad antigua en el norte de la Sierra de Córdoba (Sobremonte) y en varios puntos de Santiago del Estero.

Su producción en 1936 fué como sigue: Provincia de Córdoba, 161 toneladas; provincia de Santiago del Estero, 182; lo que da un total de 443 toneladas de mineral por valor de 38.000 pesos.

**206. PIEDRAS PRECIOSAS Y SEMIPRECIOSAS.** — Hay que reconocer que en la Argentina no se han encontrado hasta ahora piedras de mucho valor en joyería. Sin embargo, no faltan algunas que pueden servir para este efecto, a pesar de su escaso valor.

Abundan ciertamente en el país el *berilo*, la *turmalina* y el *granate* (piropo); pero, en general, estos minerales son de mediana calidad. Con todo, se han encontrado fragmentos de *agua marina* utilizables como piedras preciosas, entre los berilos de variedad azulada, en las pegmatitas de la Sierra de San Luis, especialmente en Riocito. Asimismo, hay buenas variedades de *turmalina negra* (chorlo) en ciertas pegmatitas de las Sierras Pampeanas y de *turmalina verde* en la Sierra de Córdoba. Se han encontrado muy lindos *granates piropos* en los aluviones de Quines (San Luis) y en las arenas del río Mina Clavero (Córdoba).

Existen bellos rodados de *calcedonia* y *jaspe* en las provincias de Corrientes y Entre Ríos, de *obsidiana transparente* en los territorios del Río Negro y de Santa Cruz, como también *ópalos* blancos y colorados, semitransparentes, en los filones de mineral de manganeso de la Aguada del Monte (Córdoba) y de los Ancoches (Santiago del Estero). Se ha indicado un yacimiento de *ópalo noble* cerca de Camerones, en el Chubut, y de *cachalongo* (ópalo blanco de porcelana) en la mina de galena "La Bélgica", en Jujuy.

El *psilomelano* de las minas de manganeso del norte de la provincia de Córdoba y sud de Santiago del Estero es un material muy ornamental, que fácilmente se puede pulir. Se ha encontrado, además, *tubí* no de muy buena calidad en las arenas de cerca de Monte Agudo (Tucumán) y *cuarzo rosado* en las Sierras de San Luis y de Córdoba.

**207. YACIMIENTOS DE SALES.** — Se refieren principalmente al cloruro de sodio, yeso, baritina y boronatrocalcita.

a) **Cloruro de sodio.** — En la Argentina no existen yacimientos explotables de sal gema, a excepción de uno situado en Valle del Curi (San Juan), sino acumulaciones recientes, de in-

fluencia climatérica o volcánica. De aquí que se distingan dos tipos generales de depósitos salinos, a saber: depósitos salinos acumulados en cuencas sin desagüe bajo la influencia de clima seco, y depósitos salíferos de origen volcánico, sin que los dos tipos puedan siempre separarse con nitidez, a causa de la interferencia de los fenómenos climatéricos y volcánicos.

1. A las acumulaciones debidas a *fenómenos climatéricos* pertenecen las grandes salinas que ocupan la parte más baja de las amplias cuencas hidrológicas sin desagüe, situadas entre las diversas cadenas de las Sierras Pampeanas. Las más extensas son: las *Salinas Grandes*, entre la Sierra de Córdoba y las Sierras de Guasayán, Ancaستی, Brava y de Los Llanos; la *Salina de Pipanaco*, en la cuenca de Belén y Andalgalá, etc. En todas ellas predomina el cloruro de sodio mezclado con yeso. Además, están en clima semihúmedo, varias lagunas saladas, como la de Guanacache (San Juan), la Mar Chiquita (Córdoba), y la del Bebedero (San Luis) y diversas lagunas y salitrales de la pampa central y del territorio de Río Negro.

2. En las acumulaciones debidas a *fenómenos volcánicos*, llamadas salinas y salares, predomina también el cloruro de sodio, proveniente de la descomposición de las grandes masas de rocas efusivas modernas. Las principales acumulaciones de este género se hallan en la Puna de Atacama: se trata de yacimientos secundarios, originados por el transporte de las aguas, y tienen como particularidad la presencia de boronatrocalcita.

b) **Yeso.** — Abunda extraordinariamente el yeso en la Argentina. Famosas son las enormes masas de yeso, de centenares de kilómetros cúbicos, existentes en las capas mesozoicas de la alta Cordillera en San Juan, Mendoza y el Neuquén: en la región del Aconcagua hay cerros enteros de yeso. A veces, en lugar de yeso, se observan potentes capas de anhidrita, como en el subsuelo de los alrededores del Cerro de los Buitres, donde dificultan enormemente la ejecución de perforaciones, ya que el sulfato de calcio anhidro, al mezclarse con el agua aumenta mucho de volumen y ejerce enormes presiones que no es posible contrarrestar. Hay también yeso en General Roca (Río Negro), en La Paz (Entre Ríos) y en Albigasta (Catamarca).

c) **Baritina.** — Suele encontrarse como ganga en varios de los yacimientos de galena, particularmente en Pumahuasi (Jujuy),

en Famatina (La Rioja), en Campana-Mahuida (Neuquén) y en Capilla del Monte (Córdoba). Pero el yacimiento más importante de baritina se halla en Portezuela (Córdoba), cuyos filones de varios metros de ancho abarcan unos 4 kilómetros de largo. Otro filón de bastante importancia también se encuentra en Cachi (Mendoza).

d) **Boronatrocalcita.** — Forma el mineral *ulexita* en la Puna de Atacama, en capas a veces de 2 metros de espesor, en la parte inferior de los llamados *salares*. Este borato es, sin duda, un producto de actividad volcánica, que se ha manifestado regionalmente en la Puna hasta los tiempos cuaternarios, como lo demuestra el hecho de haberse encontrado en los valles más septentrionales varios conos de boronatrocalcita en el sitio mismo en que el mineral ha salido de la corteza terrestre, como consecuencia de fenómenos geysierianos: el ácido bórico de las exhalaciones volcánicas actuaría sobre otras sustancias, particularmente sobre el calcio de los feldespatos o de las rocas calcáreas y sobre el sodio de las combinaciones sódicas.

La explotación de boratos estuvo paralizada durante mucho tiempo, pero fué reemprendida a fines de 1935 por la "Compañía Boratera Argentina", por cuyo medio se exporta una crecida cantidad de mineral. La producción de boratos en 1936 fué como sigue: Gobernación de Los Andes, 4.554 toneladas; provincia de Salta, 1.129; provincia de Jujuy, 272; lo que da un total de 5.955 toneladas con un valor de 390.000 pesos.

## 208. YACIMIENTOS DE ROCAS DE APLICACION. —

Son muchos, entre los que cabe señalar los de mica, rocas calcáreas, piedras de pavimentación, piedras de construcción, piedras ornamentales y diversas tierras.

a) **Mica.** — Se encuentra abundante en las numerosas vetas de pegmatita del basamento cristalino de las Sierras Pampeanas, sobre todo en Córdoba, San Juan y San Luis. La mica que se explota es la muscovita en Alta Gracia (Córdoba) y en las Sierras de la Huerta y de la Tona (San Luis).

La producción de mica en 1936 fué como sigue: Córdoba, 185.070 kilogramos; San Juan, 14.170; San Luis, 7.410; lo que da un total de 207.659 kilogramos con un valor de 457.000 pesos.

b) **Rocas calcáreas.** — Son calizas paleozoicas existentes en las sierras de las provincias de Buenos Aires y de Córdoba. Las primeras se explotan en Hinojo y Olavarría y suministran material ligeramente hidráulico; las segundas se explotan en Alta Gracia, La Falda y La Cumbre, y calcinadas dan una cal esencialmente grasa. Pero, además, hay canteras de rocas calcáreas para satisfacer todas las necesidades locales durante siglos y siglos en la zona andina de las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza y territorios del Neuquén. Asimismo en la provincia de Entre Ríos (Paraná y Victoria) se explotan rocas calcáreas del terciario para portland.

La producción de rocas calcáreas en 1936 fué como sigue: Córdoba, 163.937 toneladas; Buenos Aires, 40.356; San Luis, 1.912; Jujuy, 648; San Juan, 581; Mendoza, 452; lo que da un total de 207.886 toneladas con un valor de 475.000 pesos.

c) **Piedras de pavimentación.** — Se trata de granitos, gneis, dioritas, andesitas y areniscas. Los principales centros de explotación se encuentran en Tandil y Olavarría (Buenos Aires) y en las Sierras de Córdoba: el granito se explota en La Calera, esús María y Cosquín, y el gneis en La Calera y Cosquín; las areniscas en Sampacho (Córdoba) y en la península Valdez (Chubut).

La producción de piedras de pavimentación en 1936 fué como sigue: Buenos Aires, 930.332 toneladas; Córdoba, 359.637; San Luis, 25.473; Tucumán, 5.493; Santiago del Estero, 5.106; Salta, 91; La Rioja, 90; lo que da un total de 1.326.222 toneladas con un valor de 5.500.000 pesos.

d) **Piedras de construcción.** — Figuran en primer lugar las calizas de la Sierra de Córdoba, de las que procede el revestimiento del Palacio del Congreso (Bs. As.); las areniscas de La Cortadera (La Rioja); la dolomita de la Sierra Baya (Buenos Aires), y el travertino de Baños de la Laja (San Juan) y de Chamental (La Rioja), y una toba basáltica de Portezuelo del Portillo (Mendoza), resistente, fácil de trabajar y muy liviana.

e) **Piedras ornamentales.** — Se trata de mármoles, entre los que descuellan por su belleza y hermosos colores (blanco, azul y rosado) los de la Sierra de Córdoba, que radican en La Calera, La Punilla y La Cumbre. En particular cabe des-

tacar el mármol ónix, conocido en Europa con el nombre impropio de ónix del Brasil (ya que es argentino), que es de una singular belleza, por su coloración blanca o verde-claro, pero siempre traslúcido en espesores inferiores a 1 centímetro. Son sedimentos calcáreos depositados en lagunas poco profundas, probablemente como consecuencia de acción termal; a veces se encuentra travertino intercalado entre los bancos de ónix. Los depósitos más importantes de este producto se encuentran cerca de La Toma (San Luis) y en los Toditos (Mendoza); también lo hay en la Quebrada de Tastil (Salta) y en Agua Dulce (Jujuy). Asimismo se explotan en grande escala mármoles travertinos originarios del pleistoceno, en varias canteras situadas cerca de los baños La Laja y Salado en la provincia de San Juan.

Otra piedra ornamental, considerada por el vulgo como mármol y susceptible de muy buen pulimento es la *serpentina*. Se encuentra en la Precordillera de Mendoza, en contacto con las rocas andesíticas y traquíticas y en conexión con las calizas y gabros en las pizarras algo metamorfoseadas de Uspallata y La Cortadera. También se encuentra en la Sierra de Córdoba, en conexión con rocas anfibólicas y calizas cristalinas en Calamuchita, Alta Gracia y Río Ceballos.

La producción argentina de mármoles en 1936 fué como sigue: San Juan, 4.300 toneladas; Córdoba, 1.036; Mendoza, 853; San Luis, 726; lo que da un total de 6.915 toneladas, con un valor de 625.000 pesos.

f) **Diversas tierras.** — Están el *talco*, llamado *piedra de sapo*, que es algo ferruginoso, y se explota en varios puntos de las Sierras de San Luis y de Córdoba como material refractario; el *caolín*, y por cierto de insuperable calidad, que se encuentra en Pomón (Catamarca), El Sauce (La Rioja) y Balcarce (Buenos Aires); los *ocres*, con yacimientos excelentes en Jante Aua (Misiones) y Puerto Deseado (Santa Cruz).

**209. COMBUSTIBLES SOLIDOS.** — Son hulla, lignito, turba y asfaltita. El número de afloramientos de estos combustibles en el país es bastante elevado; pero su explotación se halla casi anulada, por las dificultades del transporte o por la perturbación de los estratos, pese al reclamo que de cuando en cuando se ha hecho en favor de uno u otro yacimiento con fines de especulación.

a) **Hulla.** — Se encuentra representada tanto en el antracólico de la Precordillera, como en las Sierras Pampeanas, si bien los primeros yaci-

mientos se resienten para su explotación del hecho desfavorable de haber sido afectados por los movimientos tectónicos del pérmico.

Los estratos carboníferos de edad más antigua pertenecen al piso Culm, los cuales afloran en Retamito y Carpintería (San Juan). Luego se presenta otra formación, en la que se han hecho importantes descubrimientos, así por el número de sus yacimientos, como por la calidad del combustible, en el sistema de Gondwana, formación conocida con anterioridad en la India, Sudáfrica y Brasil y reconocida posteriormente en la Argentina por diversos técnicos. Los estratos inferiores de Gondwana han sido hallados en las provincias de San Juan, La Rioja y Catamarca, y los superiores (piso rético del triásico superior) que, a su vez, son los más importantes, se encuentran en las provincias de Mendoza (Challao, Papagayos y Salagasta) y de San Juan (Marayes).

Con la aplicación de métodos modernos de combustión, sobre todo del método de carbón pulverizado, algunos de estos yacimientos podrían tener su lugar en la vida económica del país en un futuro no muy lejano. Con todo, débese advertir que la potencialidad de estos yacimientos es desconocida, pues jamás se ha practicado el estudio completo de las cuencas carboníferas. Además, los llamados *mantos carboníferos*, algunos de los cuales alcanzan realmente gran espesor, no son en realidad carbón, sino esquistos carbonosos o capas arenosas o arcillosas, ennegrecidas por una mínima porción de carbón puro.

b) **Lignito.** — Lo hay secundario y terciario. El *lignito secundario* se halla en el jurásico de Río Atuel (Mendoza), de Picún-Leufú y Piedra Pintada (Neuquén) y de Bahía de la Lancha (Santa Cruz), y en el cretáceo de la región del lago San Martín (Santa Cruz). Todos estos carbones parecen ser de buena calidad, pero a su explotación se oponen aún serios obstáculos.

El *lignito terciario* se encuentra en las provincias de Salta y Jujuy, pero sobre todo en la Patagonia (Neuquén, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego). Estos carbones son explotados en territorio chileno, con una producción de 120.000 toneladas mensuales: esto debe estimular el reconocimiento a fondo de los lignitos terciarios patagónicos, pues lo que resulta factible en Chile, puede sin duda llegar a serlo en la Argentina.

Con todo, no deben forjarse grandes ilusiones con la mayoría de los yacimientos argentinos de lignito, pues muchas veces consisten en simples troncos de árboles aislados, carbonizados, en los que una vez extraída la muestra para el análisis, desaparece el yacimiento. Por esto los exploradores que han recorrido con posterioridad los lugares donde se ubicaban esos pretendidos yacimientos, no han hallado ni rastro de ellos.

c) **Turba.** — Se halla abundante en la parte sur del territorio argentino, especialmente en la Tierra del Fuego y en la Isla de los Estados, dado que en esos lugares, la naturaleza del terreno y las condiciones climatológicas son excepcionalmente favorables al desarrollo de las turberas. Según datos publicados, las turberas ocupan una extensión mínima de 500 kilómetros cuadrados; pero se trata de una cifra mínima, pues existen en el interior de dichas regiones vastas extensiones de territorio no exploradas aún. El espesor mínimo de estos yacimientos se calcula en 2 metros, pero en algunos sitios, como en la costa del Río San Antonio, alcanza hasta 8 metros.

Los principales vegetales productores de la turba argentina son musgos del género *Sphagnum*, de los cuales se han identificado 8 especies. Pero además existen otros musgos que contribuyen eficazmente a la formación de la turba, entre ellos los del género *Hypnum*, y otros vegetales representados por individuos de las liliáceas, juncáceas, rosáceas y umbelíferas.

En la Tierra del Fuego existe asimismo otra formación muy semejante a las turberas, denominada por Alboff "formación de balsam-bog", por el fuerte olor aromático que desprende. Esta formación se distingue de las turberas comunes por la ausencia de *Sphagnum* y de las otras especies palustres que lo acompañan.

Las turberas argentinas se hallan formando islotes dentro de los bosques, a partir de los 300 metros de altitud; pero donde éstas adquieren su mayor desarrollo es en los profundos valles de los ríos, y en este caso el nivel donde se las encuentra puede llegar a 150 metros. Incluso existen turberas en la misma costa del mar; pero, en este caso, son pobres en especies vegetales.

d) **Asfaltita.** — Es el combustible sólido que en la escala de los combustibles sólidos naturales posee el poder calorífico más elevado. La asfaltita proviene de ciertas alteraciones que experimentan los petróleos, y hasta se ha ilegado a fabricarla artificialmente en los laboratorios, a partir de los mismos petróleos, por desaparición de sus hidrocarburos volátiles y consiguiente transformación en una substancia viscosa o breosa, que luego pasa a asfaltita por efecto de oxidaciones y polimerizaciones.

La asfaltita se presenta en vetas o filones, siendo característica de la asfaltita argentina la presencia de importantes cantidades de vanadio. Este combustible se conoce bajo diferentes nombres, además del que encabeza el título del presente párrafo, como grahamita, albertita y *rafaelita*; este último nombre se debe a Hauthal por haberse encontrado este mineral bajo forma típica, en la zona de San Rafael.

En la Argentina se han descubierto diversos yacimientos de rafaélita escalonados todos ellos en el borde oriental del geosinclinal andino, así en la provincia de Mendoza como en el territorio de Neuquén. Helos aquí anotados de Norte a Sur: San Rafael, cerro Loncoche, desembocadura de río Barrancos, cerro La Parva, margen derecha del río Curi Leufú, la quebrada del Carbón y de Auca-Mahuida.

Los afloramientos de la región de San Rafael están ubicados dentro de la Cordillera, a alturas en ciertos casos de 3.500 metros sobre el nivel del mar, a distancias superiores a 100 kilómetros de la población del mismo nombre, en una zona cubierta de nieves la mayor parte del año. Se desconoce la potencialidad de los yacimientos de asfaltita; el único dato que se tiene es el de la veta de Auca-Mahuida, en la que se conocen dos tramos de 150 y 400 metros de largo respectivamente, que se suponen ser continuación uno del otro; y en tal caso tendrían un largo de 7.500 metros, por anchos que varían entre 1'3 y 3'0 metros. La profundidad de las vetas es también desconocida; con todo, se sabe que en cierto lugar de la de Auca Mahuida se ha perforado un pozo de 23 metros y que a esa profundidad se ha observado la invariabilidad de la veta.

El empleo de la asfaltita como combustible, tal como se presenta en la naturaleza, ofrece diversos inconvenientes, que le restan algún valor. En primer lugar, ciertas muestras al arder decrepitan y se convierten en pequeños fragmentos que ocasionan sensibles pérdidas de combustibles; ade

más, tienen el defecto de fundir a baja temperatura y luego de hincharse excesivamente, lo cual impide el acceso normal del aire necesario a la combustión, y todavía puede haber pérdida de combustible por su paso, en estado pastoso, por entre las parrillas del hogar. El único procedimiento práctico para el empleo de este combustible sería quemarlo finamente molido, como también se practica con el carbón.

Pero el procedimiento más económico de este combustible consistiría en destilarlo en hornos adecuados, hasta dejarlo convertido en un producto con sólo un 20 por ciento de productos volátiles, que podría ser aplicado directamente a la fabricación de aglomerados o briquetas. Los gases resultantes de la destilación podrían ser empleados en la marcha de la usina de destilación o para el alumbrado y calefacción de las poblaciones cercanas.

La presencia de compuestos vanádicos en la asphaltita argentina aumenta el valor de este combustible, pues por incineración del mismo, el vanadio queda totalmente en sus cenizas. Una tonelada de asphaltita de San Rafael contiene 6.300 gramos de cenizas, de las cuales 2.168 están constituidas por anhídrido vanádico. De aquí resulta que una tonelada de cenizas de este combustible contendría 382 kilos de anhídrido vanádico, lo cual permitiría la extracción económica del vanadio, dada la escasez de este metal y su precio bastante elevado.

**210. COMBUSTIBLES LIQUIDOS.** — Son los petróleos existentes en el interior de la corteza terrestre, considerados en la actualidad como de trascendencia vital para el desarrollo económico de las naciones.

a) **Proceso de su formación.** — Se explica actualmente de la siguiente manera. En un principio, los cadáveres de plantas y animales del plancton se sedimentaron junto con los precipitados inorgánicos, hasta formar con ellos un sedimento común. Pero el sobrante no consumido por los animales limófagos se convierte, bajo la intervención de bacterias, en substancias bituminosas fluidas y gaseosas, que por razón de su estado pueden desplazarse o ceder a las presiones o a la invasión del agua que, como más densa, tiende a desalojarlos. La primera migración tiene lugar, naturalmente, hacia los estratos permeables contiguos; pero si el sedimento petrolífero es arcilloso en gran proporción se quedan los hidrocarburos fluidos impregnando la roca primaria, lo que da lugar a la formación de pizarras o esquistos bituminosos.

Cuando los hidrocarburos pueden emigrar, se forma una primera acumulación en bancos arenosos, intercalados por estratos impermeables de la misma serie petrolífera. En el caso de que el estrato portador del petróleo aflore al exterior, gas y aceite mineral emanan y desaparecen con el tiempo. Pero si el estrato petrolífero forma un anticlinal, los hidrocarburos se acumulan en la parte más alta flotando sobre el agua (fig. 212).

Los yacimientos primarios de petróleo se encuentran en todas las formaciones geológicas, a excepción del cámbrico. Así los de la ladera occidental de los Apalaches en los Estados Unidos son silúricos y devónicos; los de la Argentina, al pie de los Andes bolivianos, son devónicos o acaso antracolíuticos; los de Plaza Huincul (Argentina) son del jurásico; los de Colombia, Venezuela y Persia son cretáceos; los de California, Rumanía y Bakú (Mar Caspio) son eógenos.

b) **Yacimientos petrolíferos argentinos.** — Radican en Comodoro Rivadavia (Chubut), en Plaza Huincul (Neuquén), en la provincia de Mendoza y en las provincias de Salta y Jujuy.

1. El petróleo de la zona de Comodoro Rivadavia está alojado en estratos del cretáceo medio y pertenece al tipo de los petróleos rusos, consistentes en hidrocarburos cíclicos, sobre todo ciclanos, con una débil proporción de hidrocarburos bencénicos y cantidades escasísimas de hidrocarburos acíclicos.

2. El petróleo de Plaza Huincul está alojado en areniscas del jurásico y pertenece al tipo americano; es más liviano que el de Comodoro Rivadavia (densidad 0'85) y es especialmente rico en nafta y kerosene, es decir en esencias livianas.

3. El petróleo de la provincia de Mendoza radica en Cacheuta, Tupungato y El Sosneado; es muy rico en parafina y asfalto, pues contiene por término medio 4 por ciento de aceites livianos (nafta), 23 por ciento de aceites de iluminación (kerosene) y 73 por ciento de aceites pesados. En particular, el petróleo obtenido por "The Cacheuta Oil Syndicate" se caracterizó por una proporción de 35 por ciento de parafina.

4. El petróleo de las provincias de Salta y Jujuy radica en Tartagal, San Pedro y Agua Blanca; pertenece parte al tipo americano y parte al tipo ruso; es del primer tipo el de Tartagal y San Pedro, con características parecidas a las del petróleo de Plaza Huincul; en cambio, el de Agua Blanca pertenece al tipo ruso, con características muy semejantes a las del petróleo de Comodoro Rivadavia.

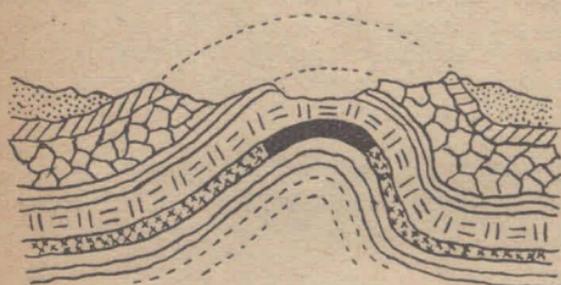


Fig. 212. — Esquema para demostrar las relaciones entre la topografía superficial, tectónica y la posición del petróleo en un terreno poroso.

**211. AGUAS FREATICAS.** — Dada la estructura de los estratos del subsuelo argentino, resulta que las precipitaciones de la zona andina no entran en la formación de napas de agua más allá del río Bermejo-Desaguadero-Salado; esta línea señala la sutura en que la estructuración precordillerana toca con las Sierras Pampeanas. Por tanto, la circulación de las aguas

profundas de la vasta llanura chaco-pampeana-bonaerense se arregla conforme al cuadro de las precipitaciones y de las condiciones particulares de la estructura del zócalo profundo. En las cuencas intermontanas, llamadas bolsas, se acumulan especialmente las distintas sales acarreadas desde las zonas eruptivas y cenizas volcánicas que abundan en los depósitos pampeanos de determinadas regiones. Encuéntrase napas de agua especialmente mineralizadas en las partes profundas de las grandes fosas tectónicas (fig. 213).

Por lo que se refiere a napas con presión artesiana, las más destacadas se encuentran al Este de la provincia de Córdoba, junto con las partes adyacentes de la de Santa Fe, zona que hacia el Norte se extiende hasta Santiago del Estero y por el Sur hasta las proximidades de Bahía Blanca. En Córdoba, por ejemplo, se halló agua artesiana en la tercera napa a 337 metros, y en la séptima a 322 metros. En Barro Colorado se practicaron cuatro perforaciones, que dieron un caudal de agua surgente variable entre 110.000 y 300.000 litros por hora. En la cuenca de Bahía Blanca se halló agua surgente a 711 metros de profundidad; en Embucta a 850 metros, en Puerto Militar a 787 metros y en Viticola a 599 metros.

Otras cuencas artesianas de menor extensión son: el Valle de la Pampa, situado en el cono de deyección del Tupungato y la Sierra de Tunuyán; la llanura de Tucumán, junto con una parte de Santiago del Estero, donde el agua surgente viene de poca profundidad; Oeste de la Sierra de Córdoba, en Cruz del Eje, donde una perforación dió en la cuarta napa con un caudal de 10.000 litros por hora, en tanto que la quinta se halló a 229 metros sobre el gneis.

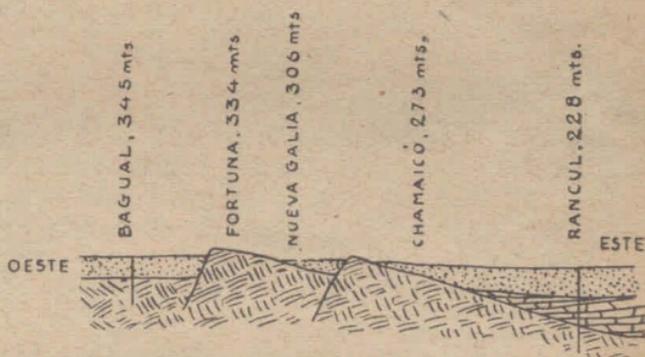


Fig. 213. — Perfil en el límite de San Luis y de la Pampa Central, en una longitud de 85 kilómetros, según R. Stappenbeck.

**212. AGUAS MINERALES.** — En un territorio tan vasto como la Argentina, y dada la gran variedad de formaciones y estructuras geológicas, no podía menos de existir un número considerable de fuentes minerales y termo-minerales. Como es natural, los manantiales minerales y termo-minerales se encuentran sólo en las regiones montañosas del país, pues en las llanuras sólo existen algunos lagos salados, como la Mar Chiquita y la laguna Bebedero, y en las cuencas intermontañas o bolsones del sistema de las Sierras Pampeanas sólo hay acumulaciones de las sales en forma de salinas, la principal de las cuales son las Salinas Grandes, situadas entre la Sierra de Córdoba y las sierras de La Rioja y Catamarca. Las sales predominantes de estas salinas son el cloruro y el sulfato de sodio.

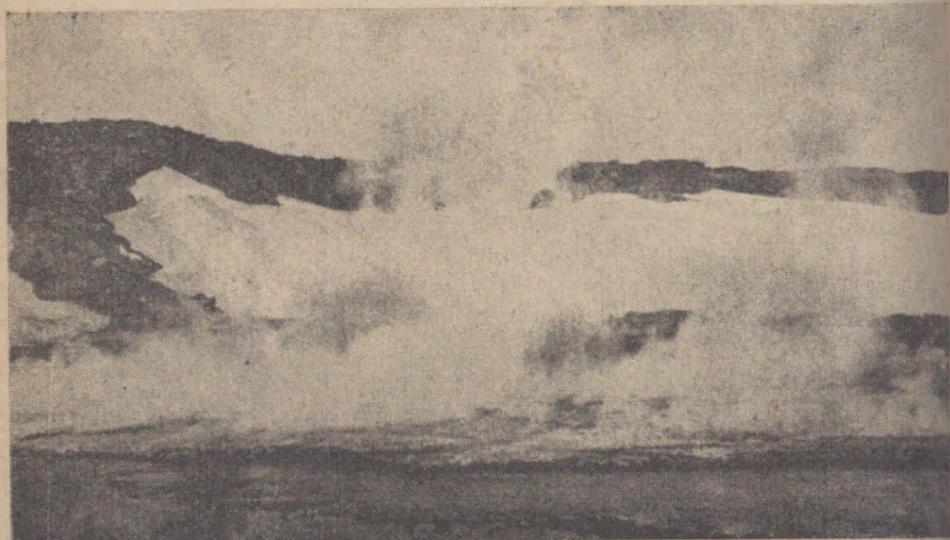


Fig. 214. — Las termas de Copahué, en Neuquén.

Los manantiales de aguas termo-minerales relacionados con el vulcanismo terciario-cuaternario se encuentran en la zona andina. En Jujuy están las termas denominadas Baños de los Reyes ( $52^{\circ}$ ) y El Volcán ( $38^{\circ}$ ), y en Mendoza las termas de Cacheuta, situadas a 1200 metros sobre el nivel del mar ( $50^{\circ}$ ), que pertenecen al grupo de las aguas clorosulfuradas alcalinas y son altamente radioactivas; en Puente del Inca, a 2200 metros de altura, hay aguas termales ( $35^{\circ}$ ) muy ricas en anhídrido carbónico y cloruro de sodio (12 por ciento). En la parte meridional de la Cordillera de Mendoza están las termas de Peteroa, a

3400 metros de altura, caracterizadas como aguas bicarbonatadas cálcicas, y las de Cerro Peñón, con temperaturas que oscilan entre 35° y 50°. En la zona andina del Neuquén están los baños de Copahué, a 1900 metros sobre el nivel del mar, dentro de un terreno arcilloso, debido a la descomposición de la traquiandesita por las exhalaciones volcánicas formadas a base de azufre y cloro (fig. 214).

En la Patagonia, a pesar de existir una zona de vulcanismo joven, no hay datos sobre la existencia de manantiales termominerales. Con todo, no faltan en esa zona aguas minerales, como el *Agua del Lechuzo*, sumamente amarga, en el territorio de la Pampa.

Pero todavía resta por considerar las dos fuentes termales de más celebridad en el país, a saber: la de Rosario de la Frontera y la de Río Hondo. Las termas de Rosario de la Frontera, en el centro de la provincia de Salta, son aguas de distinta composición, según los manantiales, que salen a la temperatura de 100°: unas son bicarbonatadas sódicas, otras simplemente saladas con cloruro de sodio y otras sulfurosas. Las termas de Río Hondo, en el Noroeste de Santiago del Estero, son surgentes, de salinidad moderada (0'30 a 0'37 por ciento), con temperaturas que oscilan alrededor de 40°, lo cual supone que proceden de profundidades no muy grandes.

## CAPÍTULO XVII

# HISTORIA DE LAS EXPLORACIONES GEOLOGICAS ARGENTINAS

SUMARIO: 213. Carácter de las exploraciones geológicas argentinas. — 214. Primer período: 1826-1870. — 215. Segundo período: 1871-1890. — 216. Alcance de las investigaciones de los dos primeros períodos. — 217. Tercer período: 1891-1905. — 218. Cuarto período: 1906-1910. — 219. Estado de los conocimientos geológicos al fin del cuarto período. — 220. Período actual. — 221. Estado actual de la geología argentina. — 222. Historia de las exploraciones petrolíferas.

**213. CARACTER DE LAS EXPLORACIONES GEOLOGICAS ARGENTINAS.** — Hasta 1905 casi todas las exploraciones geológicas efectuadas en territorio argentino, así como las investigaciones especiales de carácter paleontológico y petrográfico, se debieron a particulares, con la singularidad de que muchas de las memorias en las que se exponían los resultados de estas investigaciones fueron escritas solamente en idiomas extranjeros. En los tiempos anteriores a 1905 la participación del gobierno nacional se reducía a unos casos aislados, debidos principalmente a la iniciativa de universidades, museos y sociedades científicas, y limitados a cuestiones definidas, a circunstancias especiales y a regiones reducidas del país.

Pero a partir de 1905 la investigación geológica cambió por completo de aspecto con la fundación de la Sección Geológica en la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. El primer trabajo ofrecido al público por la nueva Sección Geológica fué la recopilación de todos los conocimientos aislados sobre la geología del país, a fin de enlazarlos mediante nuevas investigaciones sistemáticas, hasta llegar a la publicación de un mapa geológico general de la República Argentina, a la escala de uno por un millón. Pero para proceder de modo metódico y para conseguir en el más corto tiempo posible datos bien fundados, tuvo que deslindar desde el principio las grandes unidades geológicas del país reconocidas por los trabajos anteriores.

Las relaciones geológicas del territorio argentino son, en general, muy variadas y presentan, por eso, mayor número de problemas importantes que las de otros países del continente sudamericano. Pero, dada la relativa

facilidad de las exploraciones, aun en las regiones apartadas, por la especial posición geográfica de la Argentina y relativa abundancia de vías de comunicación, el estudio de la geología argentina ha podido adquirir rápido desarrollo.

La historia de las exploraciones geológicas argentinas puede dividirse en cinco períodos, a saber: 1.º de 1826 a 1870; 2.º, de 1871 a 1890; 3.º, de 1891 a 1905; 4.º, de 1906 a 1910; 5.º, de 1911 a los tiempos presentes.

**214. PRIMER PERIODO: 1826 - 1870.** — Desde un principio la geología argentina adquirió gran empuje, gracias a la intervención de dos exploradores de primer orden, a saber: Alcides d'Orbigny y Carlos Darwin.

Alcides d'Orbigny hizo sus correrías por Sudamérica entre los años 1826 a 1832; en su viaje de Bolivia hizo de paso en Corrientes observaciones sobre un asperón que designó con el nombre de *arenisca guaranítica*, coleccionó fósiles en Paraná y llegó hasta Bahía Blanca. Entre 1834 y 1837 publicó en París, y en francés, una obra de siete tomos sobre estas exploraciones geológicas. Y veamos lo que dice P. Groeber sobre el segundo explorador.

"Carlos Darwin estuvo en la Argentina durante los años 1835 a 1838 y publicó luego en Londres, y en inglés, el resultado de sus observaciones sobre los lagos salados de la Patagonia, la distribución de los bloques erráticos en Sudamérica y sobre la geología de una buena parte del país. La obra de este investigador fué realmente formidable: así, por ejemplo, dió a conocer el espesor de los estratos paleozoicos en la Sierra de la Ventana y de las rocas cristalinas en la región de Azul y de Olavarría; encontró en la región del canal Beagle restos de fósiles marinos del titoniense-neocomiense pertenecientes al cretáceo inferior; luego del cretáceo superior, igualmente marinos, del Monte Tarn.

"Trazó Darwin con gran acierto los perfiles a través de la Cordillera, en las latitudes de Tunuyán y de Mendoza. En el primer perfil figura una representación algo vaga, pero aceptable, de los plegamientos andinos, la participación de estratos jurásicos y cretáceos en estos plegamientos y de la cordillera frontal con las rocas graníticas y metamórficas en la zona de Tunuyán. En el perfil entre Mendoza y los Andes distinguió el paleozoico de la Precordillera y los estratos réticos (triásico superior), en los cuales encontró troncos aun verticales de *Araucarioxylon*, según puede verse aún hoy día en la orilla del camino de autos de Mendoza a Uspallata, a pocos centenares de metros al Este del Paramillo. En la alta Cordillera volvió a cruzar los estratos mesozoicos marinos y las rocas eruptivas de la misma edad".

Muchas de estas ideas, publicadas hace 100 años, se adelantaron a la época de sus exploraciones, y algunas han obtenido hoy día un valor especial en el conjunto de los hechos, mucho mejor conocidos ahora. Estas investigaciones contribuyeron en alto grado al conocimiento de los depósitos pampeanos en las provincias del litoral y de las formaciones marinas, tanto en el estuario del Río de la Plata como en las extensas zonas de la Patagonia. Y estas importantes observaciones en las zonas montañosas del país se refirieron tanto a la estructura de los Andes como a la distribución de las varias estructuras antiguas existentes en el subsuelo argentino.

Las exploraciones posteriores hasta el año 1870 no llegaron a la importancia de las de d'Orbigny y de Darwin. Con todo, se destacan los estudios de los exploradores Bravard y Burmeister, el primero de los cuales amplió

los conocimientos del terreno pampeano y del terciario marino del río Paraná, y el segundo contribuyó al conocimiento de la geología andina con datos esparcidos en las descripciones de sus viajes y con la descripción física de la República Argentina.

**215. SEGUNDO PERIODO: 1871 - 1890.** — La fundación de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba dió nuevo impulso al desarrollo de la geología argentina. La serie de investigaciones de esa época empieza con los viajes de Stelzner, efectuados durante los años 1871, 1872 y 1873, y se prolongaron casi 20 años con los efectuados por Brackebusch.

El primer ensayo de recopilación y resumen, por cierto en forma muy prolija, de todos los conocimientos geológicos acumulados hasta el año 1883 se debe a Stelzner, con su obra escrita en alemán sobre la geología y paleontología de la República Argentina. Pero sus observaciones son también de importancia general, y se refieren especialmente a la geología de las sierras centrales del país, llamadas por él Sierras Pampeanas, y a la estratigrafía de los depósitos mesozoicos de la parte media de los Andes. A Stelzner se debe el descubrimiento de la formación silúrica y de la formación rética carbonífera en varios sitios y, en colaboración con Gottsche, el señalamiento de la analogía existente entre los depósitos jurásicos marinos de los Andes y los correspondientes de ciertas partes de Europa.

El resultado más señalado obtenido por Brackebusch en sus numerosos viajes fué el mapa geológico del interior de la Argentina, publicado en 1891. Este mapa representa topográfica y geológicamente, a la escala de 1/1.000.000, el Noroeste del país, desde el límite boliviano hasta las sierras de la Provincia de San Luis, y sirvió de base para todas las exploraciones posteriores. Las descripciones de las pizarras cristalinas, rocas graníticas, pegmatitas y rocas efusivas del terciario por colaboradores extranjeros, fueron las primeras contribuciones notables a la petrografía argentina. Brackebusch extendió sus viajes de exploración a Salta, a Jujuy y a la Puna, estableciendo la formación petrolífera o "sistema de Salta" y dando a conocer la intervención de estratos potentes del paleozoico inferior en la constitución de la Prepuna, y de las acumulaciones volcánicas terciarias y cuaternarias en la Puna de Atacama.

A este mismo período pertenecen los trabajos de otros investigadores, como Aguirre, sobre las Sierras de Buenos Aires, y Doering, sobre las investigaciones llevadas a cabo en su expedición al Río Negro en 1879. En el extranjero no faltaron tampoco abundantes contribuciones a la geología de la Argentina. En particular, las observaciones recogidas por Lovisato en su expedición antártica y utilizadas parcialmente en la publicación de la misión científica francesa al Cabo de Hornos (1882-1883), se refirieron a las islas de la Tierra del Fuego, vecinas al Cabo de Hornos, y permitieron señalar por vez primera la presencia de rocas intrusivas y mesozoicas o acaso paleozoicas sedimentarias, metamorfoseadas por las masas intrusivas.

**216. ALCANCE DE LAS INVESTIGACIONES DE LOS DOS PRIMEROS PERIODOS.** — Con verdad puede decirse que en los dos primeros periodos de la historia geológica argentina se llevaron a cabo descubrimientos fundamentales de tal naturaleza que con ellos pudieron ya trazarse las líneas directivas de las investigaciones posteriores. He aquí expuesto brevemente lo que se consiguió en los primeros 45 años, según resumen de Hermitte.

Por de pronto, Darwin y d'Orbigny coordinaron sus observaciones en el territorio argentino con los resultados de sus investigaciones en otras vastas regiones de Sudamérica. Sus deducciones indicaron que el suelo argentino forma parte de un conjunto mayor, y ya en esa época se distinguieron bien algunos de sus más importantes componentes.

En el poniente se levanta el ancho e importante cordón de la Cordillera de los Andes, en el que llaman la atención la gran masa y la enorme extensión de rocas eruptivas, consideradas, en general, como pórfidos de las eras mesozoica y terciaria. Al Norte y algo más al Este, desde las cordilleras orientales de Bolivia hasta cerca del límite argentino, se reconocieron depósitos antiguos clasificados como silúricos y atracolíuticos. En las provincias centrales se descubrieron afloramientos de rocas todavía más antiguas, consideradas como arcaicas, y tanto en estas provincias, como más al Norte en Bolivia, d'Orbigny hizo constar la existencia de estructuras más antiguas que las de los Andes y bien distintas de ella, a partir de las cuales se extienden hacia el Atlántico, tanto en el litoral como en la Patagonia, depósitos del terciario recubiertos por la formación pampeana que contiene los restos de grandes vertebrados.

Además, d'Orbigny llamó la atención sobre la gran uniformidad y extensión de las formaciones que componen el continente sudamericano, haciéndola resaltar en los siguientes términos: "Por la extremada simplicidad de su composición, por las grandes extensiones de terrenos pertenecientes a las diversas épocas geológicas, la América meridional es tal vez la más fácil de comprender entre todas las partes del mundo".

Esta grande extensión de las distintas formaciones fué efectivamente confirmada en todas las investigaciones posteriores. Así, la formación de los pórfidos descubiertos por Darwin en los Andes fué encontrada también por Stelzner en otros cortes geológicos de más al Norte del país; los depósitos silúricos de Bolivia fueron señalados por Brackebusch en las provincias andinas del Norte y por Stelzner en el borde de los Andes centrales hasta la latitud del Aconcagua; la composición y estructura de las altas sierras al naciente del altiplano boliviano se repiten, según Brackebusch, en los cordones orientales de los Andes argentinos hasta más allá de Tucumán; por último, fué reconocida la gran extensión de areniscas continentales del mesozoico, de las cuales forma parte el rético carbonífero del triásico superior en las provincias centrales y la "formación petrolífera" del Norte.

Hasta 1890 se conocieron y distinguieron claramente cinco grandes unidades en la constitución geológica de la Argentina: 1.<sup>a</sup> La cordillera principal y su prolongación austral; 2.<sup>a</sup>, la cordillera patagónica, compuesta en gran parte de rocas mesozoicas; 3.<sup>a</sup>, el complejo de los altos cordones del borde occidental del Gran Chaco, compuesto de depósitos paleozoicos, que se repiten más al Sur en la Precordillera de San Juan y Mendoza; 4.<sup>a</sup>, las Sierras Pampeanas y las Sierras Bonaerenses, constituidas en gran parte por rocas cristalinas consideradas como arcaicas; 5.<sup>a</sup>, la gran llanura de la pampa, que continúa hasta el Sud con la región de las mesetas patagónicas.

**217. TERCER PERIODO: 1891 - 1905.** — La investigación de este tercer período está caracterizada más por la aplicación de los conocimientos paleontológicos y estratigráficos, que por resultados sintéticos. Con todo, no faltan en este período descubrimientos de la mayor importancia, gracias, sobre todo, a la fundación de la Universidad de La Plata y a la del Museo

de La Plata por F. P. Moreno, que propulsó la investigación de los Andes y la Patagonia. He aquí cómo Hermitte propone la serie de investigaciones de este período.

Los levantamientos y estudios de la Comisión de Límites y el Museo de La Plata nos hicieron conocer mejor la estratigrafía del jurásico y del cretáceo medio en la provincia de Mendoza y en el territorio del Neuquén. Por estos trabajos, debidos principalmente a G. Bodenbender y a Burkhardt, se destacan bien los rasgos generales del mesozoico andino en la Cordillera principal, la continuación del cretáceo hacia la Patagonia, la alternancia frecuente de condiciones marinas y terrestres en esa región, el carácter tan distinto de la Cordillera Patagónica, compuesta esencialmente de depósitos metamorfosados del mesozoico superior y las transgresiones atlánticas del terciario hasta el borde exterior del geosinclinal andino del Neuquén y de Mendoza.

A Carlos de Ameghino se debe el establecimiento de la sucesión de los terrenos sedimentarios de la Patagonia extraandina, pertenecientes al cretáceo superior, al terciario y al cuaternario; la edad relativa de los pisos fué documentada por los fósiles marinos y por la célebre fauna de mamíferos por él coleccionados, que demuestran la correspondencia lateral de algunos depósitos marinos y terrestres terciarios, y la separación por discordancia de los estratos patagónicos de los del piso de Entre Ríos. Los resultados obtenidos por Carlos de Ameghino sirvieron de base a los trabajos paleontológicos de su hermano Florentino y de H. von Ihering. Famosa es la monografía de Florentino Ameghino sobre los mamíferos patagónicos, en la que reveló la existencia de una provincia faunística independiente y autóctona.

El explorador N. Nordensk llevó una expedición a la Tierra del Fuego y Norte de la Cordillera Patagónica, resultado de la cual fué dar a conocer la existencia de estratos paleozoicos y cretáceos en esas regiones, el gran batolito del Oeste de los Andes, la constitución del terciario inferior en la zona de Punta Arenas y la extensión precisa del hielo en algunas de las etapas de la glaciación cuaternaria.

Paralelamente a la exploración geológica de la Patagonia adelantó rápidamente durante este tercer período la exploración de las provincias centrales. Bodenbender descubrió por vez primera en la Argentina el devónico en la extremidad suptentrional de la Precordillera de San Juan; así como Kayser en su descripción de los fósiles, reveló la extensión de una gran transgresión del devónico inferior y medio, indicada por las formas muy semejantes de Bolivia y del Sur del Brasil, de las Islas Malvinas y de Sudáfrica, hasta el poniente de la República Argentina.

Por este mismo tiempo se dió gran empuje a la investigación geológica de las provincias centrales y del oeste, parte por la gran necesidad del país de proveerse de carbón, y parte también por el descubrimiento de rastros de combustible, cerca de Retamito, en estratos carboníferos verdaderos.

Por último, hacia fines de este período fueron publicados numerosos estudios teóricos, más bien que investigaciones nuevas, sobre la estratigrafía y la paleontología de la formación pampeana.

He aquí la altura de los conocimientos geológicos a que se había llegado al terminar el tercer período: existencia de una antigua masa en el centro y Norte del país, rodeada hacia el poniente en los Andes, por una faja de rocas mesozoicas y de estructura complicada, que desaparece hacia el

Sur, debajo de una serie de estratos terrestres y marinos del cretáceo y terciario.

Se conocían ya en sus rasgos principales las diferentes transgresiones desde el paleozoico inferior hasta el terciario superior. La sucesión de los estratos marinos y continentales, representantes del paleozoico, aparecía la misma que en grandes extensiones del Brasil y en otras porciones del antiguo continente de Gondwana. Adelantó algo la investigación metódica de carbón y de los yacimientos de oro, plata y cobre, esparcidos sobre largos trechos en el Oeste y Noroeste del país; se descubrió la wolframita y otros yacimientos del grupo del estaño. En cambio, fueron escasas las noticias dadas sobre la tectónica, aun de los lugares de estructura moderna o relativamente moderna. Tampoco llamaron la atención de los observadores los problemas morfológicos, como el efecto de un clima árido o subárido persistente durante mucho tiempo en extensas regiones de la República.

**218. CUARTO PERIODO: 1906 - 1910.** — En 1905 se iniciaron los estudios oficiales de geología en la Argentina con la creación de la División de Minas, Geología e Hidrología, más tarde Dirección General y, finalmente, Dirección de Minas y Geología. Aparte de la investigación netamente científica y de los levantamientos de la carta geológica a la escala 1/200.000 y 1/1.000.000, y los de los trabajos conducentes al cumplimiento de tan vasto programa, se encaró la exploración de las formaciones petrolíferas y la provisión de agua potable en las zonas áridas. Los estudios y exploraciones se efectuaron con tal éxito que la Dirección de Minas y Geología dió a la Argentina sus yacimientos petrolíferos y agua potable a cientos de pueblos y campos.

Durante el período que nos ocupa las investigaciones oficiales se dirigieron, sobre todo, a reconocimientos regionales y a trabajos prácticos en casos especiales. El itinerario fué la base principal para la compilación de mapas a escalas muy grandes, pudiendo dividirse los trabajos realizados en cuatro grupos: 1.º El levantamiento regional de la Precordillera de las provincias de San Juan y Mendoza y de las Sierras Pampeanas en las provincias centrales; 2.º, la investigación del geosinclinal andino en ciertas partes de la provincia de Mendoza y del territorio del Neuquén; 3.º, el estudio de la extremidad Sud de la Argentina; 4.º, algunos trabajos especiales, como las investigaciones de yacimientos de carbón y de minerales metalíferos y el levantamiento de planos geológicos para obras de irrigación.

a) **Levantamientos regionales.** — Se refieren a la Precordillera y a las Sierras Pampeanas. La investigación regional de la Precordillera se debe principalmente a Stappenbeck, quien trazó en sus líneas generales el cuadro de unidad bien definida y caracterizada por la existencia del paleozoico inferior, el silúrico y el devónico marino, y por los estratos desde el Gondwana hasta el rético, sin descuidar los depósitos posteriores de areniscas del cretáceo; las acumulaciones continentales del terciario y cuaternario, los numerosos tipos de rocas eruptivas esencialmente del terciario y el efecto de los movimientos andinos.

El trabajo principal efectuado en las Sierras Pampeanas se debe a Bodenbender. En estas sierras, en lugar de los estratos marinos del paleozoico de la Precordillera, se encuentran rocas cristalinas precámbricas, consistentes en granitos y esquistos cristalinos; y siguiendo hacia arriba en la

serie se comprobó la existencia de los mismos estratos de Gondwana, llamados aquí *estratos de Pangazo*, de areniscas del cretáceo y acumulaciones terrestres del terciario y cuaternario. Por estos mismos años fueron estudiadas por el referido autor algunas partes de la Sierra de Famatina, ampliando de esta manera considerablemente los conocimientos de la gran unidad de las Sierras Pampeanas.

**b) Investigación del geosinclinal andino.** — Entre las investigaciones del geosinclinal andino deben mencionarse en primer lugar las exploraciones efectuadas por Schiller en la región situada entre el paso del Espinazo por el Norte (San Juan) y el Paso de las Cuevas por el Sur (Mendoza), trabajo éste de importancia especial, por haber comprobado la existencia de grandes complicaciones tectónicas. La serie de estratos mesozoicos anteriormente conocidos al Norte y Sur de esta región permitió apreciar la existencia de sobre escurrimientos en grande escala, aunque no del mismo carácter, similares a los de las montañas alpinas de Europa: el Aconcagua, cerro el más alto de América, es un producto de esos movimientos dirigidos desde el Pacífico hacia el naciente, que amontonaron sobre los estratos mesozoicos una serie de rocas andesíticas de enorme espesor.

**c) Estudio de la extremidad sur.** — Entre 1907 y 1909 la expedición Skottsberg dió ocasión a los geólogos Th. Halle y P. Quesnel para hacer observaciones de interés en las Malvinas y en la Cordillera Patagónica, respectivamente. Halle encontró en las Malvinas el devónico y depósitos glaciares pérmicos. Quesnel publicó el primer ensayo geológico de la Cordillera Patagónica y la encontró constituida por sedimentos metamórficos, acaso paleozoicos, por pórfidos aplastados jurásicos, por sedimentos marinos del jurásico superior y del cretáceo, por intrusiones de rocas graníticas, bajo la forma de lacolitos, y por intrusiones de rocas básicas alcalinas, hasta dar con el gran batolito dorítico y granítico de los fiords pacíficos de este tramo de los Andes. Además destacó un conjunto que pertenece probablemente al basamento cristalino y que ocupa el extremo Oeste de la tierra firme de esas latitudes.

**d) Trabajos especiales.** — Entre las investigaciones especiales efectuadas en el período 1906-1910, cabe mencionar la de algunos yacimientos de carbón en Saligasta, al Norte de la ciudad de Mendoza, de asphaltita (rafaelita) en la zona de San Rafael (Mendoza), de oro en la Sierra del Viento y en el curso superior del río Neuquén.

Entre los resultados de orden general, en otro sentido, obtenidos durante estas exploraciones de índole práctica, debe mencionarse la comprobación de la existencia de dos fases en los movimientos orogenéticos andinos, la averiguación de mayores cambios de facies en los sedimentos jurásicos y cretáceos del geosinclinal andino, el hecho de que en los largos cordones al poniente de la Puna de Atacama existe un zócalo de rocas precámbricas de grande extensión, la transgresión del cámbrico superior sobre estas rocas y el modo de formación de las acumulaciones terrestres del terciario bajo un clima seco en la parte Norte y media de los Andes. Finalmente se comenzó el estudio de la superficie de la Cordillera de los Andes y de las Sierras Pampeanas y el de los efectos morfológicos debidos a las fluctuaciones climáticas del cuaternario, investigaciones que, además de un interés teórico,

ofrecen un valor especial como trabajo preparatorio para los estudios hidrogeológicos.

**219. ESTADO DE LOS CONOCIMIENTOS GEOLOGICOS AL FIN DEL CUARTO PERIODO.** — Resumiendo el estado de los conocimientos geológicos referentes al territorio argentino hasta el final del cuarto período, puede decirse, desde luego, que permiten subdividir el país en dos grandes unidades. Ante todo se destaca claramente la noción de que la estructura andina se ha producido por plegamiento durante una fase bien determinada del terciario y que las estructuras más antiguas, que se extienden desde Bolivia hasta Tucumán y se levantan en cordones aislados hasta cerca del Río Negro, se han agregado al plegamiento de los estratos mesozoicos en los Andes por movimientos de carácter bien distinto. Entre las tierras más antiguas se distinguen:

1.º La masa de la Puna de Atacama y los cordones colindantes con el Gran Chaco, de edad algonkiense, caracterizados por la discordancia entre los depósitos algonkienses fuertemente plegados por un lado y los estratos del cámbrico y del silúrico débilmente ondulados, por otro.

2.º La masa destrozada de las Sierras Pampeanas, de estructura aun desconocida, pero no arcaica, como se había supuesto, caracterizada por la superposición discordante de los estratos de Gondwana (Pangazo) incluyendo al rético (triásico superior).

3.º La larga faja de la Precordillera de San Juan y Mendoza, de edad pérmica, caracterizada por la discordancia en la serie de los estratos Gondwana.

4.º La zona del geosinclinal andino, descansando sobre la Cordillera pérmica y caracterizada por un plegamiento de edad terciaria, que hacia el Norte en la latitud del Aconagua ha adelantado hasta la formación del sobreescurreimiento.

**220. PERIODO ACTUAL DESDE 1910.** — A partir de 1910 la Sección de Geología, aumentada considerablemente en personal y en instrumental, pudo desarrollar amplios trabajos de campo, empezando por el levantamiento uniforme de mapas a escala menor, con tanta mayor facilidad cuanto que poseía la experiencia hecha en los primeros años y se conocían mejor las condiciones especiales del país y sus exigencias primordiales en sentido práctico. En vez del levantamiento de un mapa general a la escala de 1/1.000.000, proyectó la confección de mapas topográficos-geológicos a la escala de 1/200.000, para lo cual el territorio de la República fué subdividido en 812 hojas.

En este mismo período fué creado el Servicio Hidrogeológico, cuyo fin era la investigación metódica de las condiciones tanto generales como regionales, bajo las cuales se infiltra y se distribuye el agua subterránea. El terreno principal de las investigaciones hidrogeológicas fué, al principio, el centro y Oeste montañoso del país, y a los estudios estratigráficos de primera necesidad, tanto en el geosinclinal andino de la provincia de Mendoza, como en la región de las areniscas mesozoicas en el borde oriental de los Andes y en la zona subandina de Tucumán, Salta y Jujuy, pudo unirse la investigación de los afloramientos de petróleo y de asfalto.

En las investigaciones de la parte septentrional de las Sierras Pampeanas en las provincias de La Rioja, Catamarca y Tucumán, tomaron parte, entre

otros, Beder, Bodenbender, Delhaes, Penk y Rassmuss. Además se estudiaron detenidamente los yacimientos de minerales explotables de especial interés, tanto teórico como práctico, como ser los yacimientos de wolframita de la Sierra de San Luis, los yacimientos de estaño de la Sierra de Gualampajá, los yacimientos de cobre de las Sierras de Capillitas y los afloramientos de caliza cristalina en la parte Nordeste de la Sierra de Córdoba. El estudio de los yacimientos petrolíferos en las areniscas mesozoicas de la zona subandina, en las provincias de Salta y Jujuy, efectuado principalmente por Bonarelli, dió una idea de la estratigrafía, relativamente sencilla, de estos depósitos sobre largos trechos.

En el Este del territorio del Neuquén y en la parte superior del valle del río Negro, las investigaciones efectuadas por Windhausen aclararon las dudas existentes sobre la estratigrafía del mesozoico superior y revelaron una transgresión atlántica en la época del cretáceo superior, o tal vez del terciario inferior. Al mismo tiempo fueron investigados por Wichmann los sedimentos marinos y terrestres del terciario en la faja comprendida entre las curvas de los ríos Negro y Colorado, desde la costa atlántica hasta el meridiano de Choele-Choel, y las condiciones bajo las cuales se encuentra el agua subterránea en la parte inferior del río Negro, alrededor de Viedma.

Tampoco pueden dejarse de mencionar los estudios realizados en la barranca izquierda del río Paraná, entre Diamante y La Paz, por Bonarelli y Nájera, a fin de averiguar las relaciones estratigráficas entre los estratos marinos del terciario superior y las areniscas guaraníticas de d'Orbigny.

Los estudios geológicos recientes en territorio argentino se han concentrado preferentemente en la zona patagónica, gracias a las investigaciones de Windhausen, Wichmann y Feruglio, según lo expone ampliamente P. Groeber en su geología.

A. Windhausen trabajó especialmente en la Patagonia extraandina y se ocupó de los estratos de transición, del cretáceo al terciario, del valle del río Negro, donde halló la discordancia entre éstos y el mesozoico plegado en Lotena. Además, publicó un importante estudio sobre la región de Comodoro Rivadavia, su estructura de ligeros anticlinales y su orientación de WSW a ENE, y con la sucesión de los estratos. Al mismo investigador se debe la composición de un excelente tratado de geología argentina.

R. Wichmann dedicó sus actividades también a la Patagonia extraandina, en especial al territorio de Río Negro, y estableció la sucesión de terrenos como sigue: basamento cristalino, eventual presencia de plegamiento hercínico en la costa atlántica, serie de los pórfidos cuarcíferos reconocidos de momento como suprajurásicos, estratos con dinosaurios, estratos del patagónico, tobas santacruceñas, basaltos terciarios y cuaternarios y de fenómenos de diferenciación de los mismos.

E. Feruglio eligió como campo de acción la zona de los territorios de Chubut y Santa Cruz, de la que dió la siguiente sucesión de terrenos geológicos: basamento cristalino, serie porfídica supratriásica entre Chubut y Tecka, liásico y jurásico medio marino (Dogger), jurásico medio terrestre o costero (Dogger), la serie de los pórfidos extrapatagónicos de Río Negro, de Chubut y del Oeste de Santa Cruz, reputados antes como del segundo ciclo eruptivo, pero pertenecientes en realidad al tercero; luego, en alternancia con los mantos eruptivos, siguen en la cordillera los estratos marinos del cretáceo inferior; en la parte superior de la serie eruptiva del tercer ciclo se hallan los célebres restos de *Araucarias*, con sus piñones bien conservados.

P. Groeber, en sus levantamientos de la Cordillera al Sur de Mendoza y del Neuquén, detalló la sucesión de estratos mesozoicos, reconoció los diferentes movimientos orogénicos andinos, de los cuales el primero tuvo lugar en el senoneniense medio (cretáceo superior), mientras que los terciarios se produjeron en el eoceno (primer movimiento terciario), entre el eógeno y neógeno (segundo movimiento terciario) y en varias fases en el plioceno y cuaternario (tercer movimiento terciario), de los cuales los más importantes se produjeron al final del plioceno. El movimiento supracretáceo y el primer movimiento terciario son de plegamiento; el de segundo, de ascenso en el Oeste y de plegamiento al Este, y el tercero de ascenso en masa. Estableció el concepto de la formación de Río Grande, los diversos ciclos eruptivos mesozoicos y terciarios cordilleranos de la Cordillera Oriental de Salta y Jujuy y se ocupó del cuaternario andino y subandino en los niveles de pie de sierra y su relación con los sedimentos y erupciones cuaternarias.

A. Tapia erigió como principal tarea geológica el estudio de los depósitos pliocenos y cuaternarios de la región situada al norte del paralelo 40°, que hasta entonces habían encontrado escasos investigadores por la extraordinaria complicación de sus problemas. La investigación ha permitido hasta ahora distinguir tres conjuntos de depósitos lacustres, a saber: 1.º Una sucesión potente, que aflora en Borbollón, Tunuyán y Villa Atuel, y otra reconocida por perforación en Desaguadero, de más de 100 metros de espesor, dislocada por fracturas y cubierta por bloques erráticos de la penúltima glaciación; este depósito lacustre parece ser belgranense. - 2.º El segundo depósito lacustre, considerado como lujanense, abarca los depósitos de Ullún y Calingasta, de Jáchal y Rodeo; se extiende en vastísima propagación por el Chaco, Norte de Santa Fe y Santiago del Estero e invade gran parte de Corrientes. - 3.º El lacustre platense, menos extenso y confinado a las actuales depresiones y a la región costera atlántica de Buenos Aires. Entre el lujanense y el platense se coloca el *médano invasor*, que cubre el Sur y Oeste de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y de Córdoba. El mismo autor identificó los niveles de pie de sierra por la pampa y reconoció la edad pliocena de las areniscas rosadas que descansan en el basamento cristalino.

## 221. ESTADO ACTUAL DE LA GEOLOGIA ARGENTINA. —

La serie no interrumpida de trabajos llevados a cabo por los geólogos de la Dirección de Minas y Geología ha dado a conocer hechos primordiales en la geología argentina, como ser: el que las estructuras modernas del complejo andino cortan oblicuamente la costa pacífica; que la continuación de la cordillera patagónica debe buscarse hacia el Norte, en las grandes profundidades del Pacífico; que la cordillera alta en la parte media de la República Argentina constituye solamente el ala oriental de un geosinclinal mayor y subdividido por las erupciones continuas de rocas porfídicas, en cuyo eje principal se han depositado probablemente los sedimentos de la Cordillera Patagónica. De este modo se explica el metamorfismo en esa parte de la Cordillera, donde los pórfidos cuarcíferos del mesozoico han sido tan alterados por el dinamorfismo originado después de los movimientos orogénicos, que en parte han tomado el aspecto de cuarcitas. Probablemente el contacto entre las rocas metamorfoseadas y los depósitos de las mesetas no es contacto originario, por existir grandes movimientos laterales en el eje del geosinclinal principal, visibles hoy día en la Cordillera Patagónica, pero producidos durante el terciario.

## 222. HISTORIA DE LAS EXPLORACIONES PETROLIFERAS. —

Por su enorme trascendencia económica no podemos menos de relatar la historia de las exploraciones petrolíferas. En la Argentina existen hasta el presente cuatro zonas petrolíferas bien definidas: 1.<sup>a</sup> Comodoro Rivadavia (Chubut); 2.<sup>a</sup> Plaza Huincul (Neuquén); 3.<sup>a</sup> Provincia de Mendoza, y 4.<sup>a</sup> Provincias de Salta y Jujuy

a) **Comodoro Rivadavia.** — En esta zona, contrariamente a lo que ha sucedido en otras partes del mundo, donde las perforaciones en busca de petróleo han sido siempre guiadas por manifestaciones superficiales, la existencia del petróleo se reveló en 1907 de manera inesperada en la perforación profunda de hasta 535 metros, practicada con el fin de proveer de agua a la población. Hasta 1915, el subsuelo fué estudiado por una veintena de perforaciones, practicadas hasta la profundidad de 500 metros debajo del nivel del mar. La distancia entre las perforaciones extremas fué de 20 kilómetros de Norte a Sur, y el ancho de la faja reconocida fué de unos 2 kilómetros. Pero después de la guerra mundial aumentó rápidamente la explotación de esta zona, de suerte que de los 20 pozos existentes en 1915 se ha llegado en la actualidad a más de 500.

La profundidad máxima alcanzada hasta principios de 1937 ha sido de 1790 metros y el número total de pozos productivos hasta la misma fecha ascendía a 2246, con un promedio de profundidad que oscila entre 600 y 120 metros.

El terreno de la región productiva pertenece al cretáceo medio. A juzgar por las perforaciones no hubo en la región discordancias tectónicas de importancia. El petróleo se encuentra en margas y arcillas muy arenosas y en arenas de grano medio dentro de un horizonte de 30 metros de espesor, en el cual los

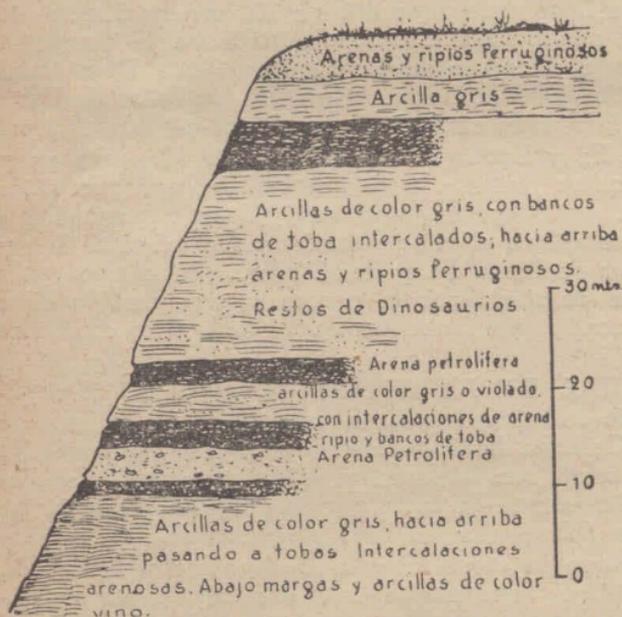


Fig. 215. — Parte inferior de los estratos con dinosaurios en la barranca del río Senguer, límite de los territorios de Chubut y Santa Cruz, según Windhausen.

parecen estar distribuidos en forma lenticular, lo que justifica el hallazgo de petróleo en la mayor parte de las perforaciones. El petróleo surge de los pozos con abundancia, habiendo producido uno de ellos, espontáneamente, hasta 770 metros cúbicos en un día. En algunas perforaciones, antes de llegar al petróleo, se han encontrado enormes yacimientos de gas (fig. 215).

b) **Plaza Huincul.** — Es una localidad del territorio del Neuquén, a la altura del kilómetro 1300 del Ferrocarril Sud, en la línea Neuquén-Zapata. Aun cuando eran conocidas en esta zona varias manifestaciones superficiales de petróleo, no surgió el codiciado líquido sino hasta el año 1915, de una perforación de 360 metros de profundidad practicada como exploración por la Dirección de Minas. En los años siguientes se realizaron nuevas perforaciones, hasta que en 1919 se alcanzó la profundidad de 610 metros, con horizontes francamente petrolíferos. La profundidad máxima alcanzada hasta principios de 1937 fué de 1690 metros, y el número de pozos productivos al finalizar el mismo año ascendía a 291, con un promedio de profundidad que oscila entre 600 y 200 metros.

El petróleo de esta zona está alojado en areniscas del jurásico superior y procede de los estratos pizarrosos del liásico. Todo el conjunto de estratos y rocas anteriores al cretáceo superior está intensamente perturbado.

c) **Provincia de Mendoza.** — La formación petrolífera de esta provincia forma una estrecha faja andina, que se extiende de Norte a Sur, y en la que se conocía el petróleo desde hacía tiempo, por razón de ciertos afloramientos; pero la explotación sistemática data de los años 1895 y 1896, cuando la Compañía Petrolífera Mendocina inició las primeras perforaciones, por cierto con malos resultados. Posteriormente se ha llegado a extraer cierta cantidad de petróleo de tres parajes, llamados respectivamente: Cacheuta, Tupungato y El Sosneado. Con todo, hasta hace poco, de las cuatro regiones petrolíferas argentinas, ésta de Mendoza iba resultando ser la más pobre. El terreno de la región productiva pertenece al triásico superior (rético) y al terciario, y la profundidad máxima alcanzada hasta principios de 1937 fué de 1078 metros.

El yacimiento petrolífero de Cacheuta representa un tipo que no se repite en otras partes del país, pues se encuentra emplazado en el rético, a diferencia de los demás yacimientos, que radican en estratos más recientes. Este yacimiento de Cacheuta ha sido objeto de estudios geológicos y de exploraciones desde el año 1896, en primer lugar por parte del Dr. Rodolfo Züber. Varias compañías han ido sucediéndose en la explotación del petróleo en esa zona con escaso éxito. En 1910 y 1911 *The Argentine Western Syndicate* hizo tres pozos sin otro resultado que descubrir algunas napas de agua muy abundantes; entre 1912 y 1915 la Compañía *The Cacheuta Oil Syndicate* ejecutó dos pozos más, ubicados mucho más al Sur que los anteriores: en el primero se halló una pequeña cantidad de petróleo entre 650 y 700 metros de profundidad, y en el segundo se llegó a 677 metros, sin haberse encontrado el codiciado mineral. El número de pozos productivos hasta principios de 1937 ascendía a 35, con un promedio de profundidad que oscilaba entre 200 y 600 metros.

Recientemente la producción de petróleo en Mendoza ha experimentado un notable aumento, como que de 1938 a 1939 alcanzó a cerca de 400 por ciento, debido sobre todo a los pozos abiertos últimamente en la región de Tupungato. Uno solo, el T 20, produjo diariamente 200 metros cúbicos. La producción media diaria en 1939 de los pozos T 19, T 20, T 21 y T 22 alcanzó a 640 metros cúbicos, cantidad muy superior a la que producen todas las demás explotaciones en el resto de la República.

d) **Provincias de Salta y Jujuy.** — La formación petrolífera del Norte abarca las provincias de Salta y Jujuy, y las fajas vecinas de Tucumán, del Chaco y del territorio de los Andes. Las afloraciones superficiales de petróleo son numerosas en esa zona y conocidas desde los primeros tiempos de la Colonia, como que se remontan al siglo XVII; pues, en efecto, en aquella época un religioso franciscano de Tarija publicó datos sobre manantiales existentes en la región Alto-Aguareña (Salta), que, según todos los indicios, es la misma donde actualmente trabaja la *Standard Oil Company*. Con todo, los primeros ensayos de perforación no dieron buen resultado, probablemente por no haber sido determinada con criterio científico la ubicación de los pozos. La región explotada comprende tres zonas: la de Tartagal, San Pedro y Agua Blanca, y la profundidad máxima alcanzada hasta principios de 1937 fué de 1278 metros; el número de pozos productivos al finalizar el mismo año, por la misma época, ascendía a 134, con un promedio de profundidad que oscilaba entre 750 y 550 metros.

La región petrolífera de Salta y Jujuy se halla en las cadenas subandinas, en las cuales afloran los estratos del terciario subandino y los estratos paleozoicos, tenidos por devónicos. La formación petrolífera no es el yacimiento primario del petróleo, sino que da solamente cabida al aceite mineral, procedente de estratos más antiguos, considerados como devónicos. En el Sur de la zona pueden intervenir estratos, acaso antracólíticos, en el suministro de aceite mineral.

## CAPÍTULO XVIII

# GEOLOGIA REGIONAL ARGENTINA

SUMARIO: 223. Plan de estudio de la geología regional. — 224. Geología de la Capital Federal. — 225. Geología de la Provincia de Buenos Aires. — 226. Llanura chaco-bonaerense. — 227. Geología de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. — 228. Geología de Salta, Jujuy y Tucumán. — 229. Geología del Norte de Patagonia. — 230. Geología del Sur de Patagonia. — 231. Estructura geológica de la Cordillera de los Andes. — 232. Estructura geológica de la Precordillera. — 233. Estructura geológica de las Sierras Pampeanas. — 234. Estructura geológica de las Sierras Bonaerenses.

**223. PLAN DE ESTUDIO DE LA GEOLOGIA REGIONAL.** — En un país de tanta extensión y de tan variados terrenos y accidentes como la Argentina, no es posible estudiar su geología regional puramente a base de las divisiones políticas, so pena de muchas repeticiones o de dejar inconexas muchas de sus formaciones o unidades estructurales. Por otra parte, tampoco es posible desentenderse enteramente de la descripción geológica por provincias, dado que a los estudiantes de cada localidad interesa de una manera especial el conocimiento de la geología de la provincia donde radica. Por esto hemos adoptado un término medio, que satisfaga por igual los dos puntos de vista expresados, exponiendo primero la geología de algunas de las provincias o territorios y luego la de las principales unidades estructurales del país, siguiendo en esto los pasos de P. Groeber.

Las provincias y territorios considerados son: Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones, Salta, Jujuy, Tucumán, la Pampa, el Neuquén, Chubut y Santa Cruz, y las unidades estructurales son: llanura chaco-bonaerense, la Cordillera principal de los Andes, la Precordillera, las Sierras Pampeanas y las Sierras bonaerenses.

**224. GEOLOGIA DE LA CAPITAL FEDERAL.** — El suelo de la Capital Federal es naturalmente pampeano, como el de la mayor parte de la provincia de Buenos Aires. Con todo, bueno será señalar en detalle, como dato curioso, el subsuelo, conocido

hasta gran profundidad por dos perforaciones practicadas en el recinto de la Capital, una en el Jardín Zoológico (Palermo) y otra en el Riachuelo, junto al puente Pueyrredón.

a) **Perforación del Jardín Zoológico.** — Esta perforación llegó hasta los 300 metros, y los terrenos encontrados fueron los siguientes. Hasta los 50 metros se encontró el pampeano; entre los 50 y 61 metros el araucano; entre los 61 y 79 metros el mesopotámico; entre los 79 y 292 metros el cretáceo; a partir de esta profundidad comenzó a atravesarse el agnotozoico.

Las napas de agua atravesadas fueron: La primera a unos 15 metros; la segunda en el araucano (50 metros); la tercera en el mesopotámico (entre 70 y 79 metros); la cuarta en el cretáceo (entre 226 y 270 metros). La primera napa puede proceder o de las precipitaciones o de antiguos lechos de ríos; la segunda se halla vinculada con la arena entrerriana, de espesor variable, por hallarse afectada por un plano de erosión; el agua de esta napa es de regular calidad.

b) **Perforación de Riachuelo.** — Alcanzó hasta los 329 metros de profundidad, y en ella se atravesaron: el pampeano hasta los 33 metros; el araucano (plioceno) entre los 33 y 45 metros; el mesopotámico (mioceno) entre los 45 y 326 metros, y el agnotozoico, a partir de los 326 metros.

El *pampeano* atravesado está constituido al principio por arenas de grano fino, gris amarillentas con limonita, arcillosas, estratificadas, de estructura entrecruzada, según la típica terraza de delta que recorta la erosión del valle en tres metros. El *araucano* está formado de arena fina, cuarzosa, amarillenta, algo yesífera e impregnada de sal. El *mesopotámico* consta al principio de arcillas verdes, entre los 45 y 86 metros, y luego de arcilla parda entre los 86 y 221 metros; finalmente, de areniscas entre los 221 y 326 metros. El *agonotozoico* consta de pegmatita alterada.

**225. GEOLOGIA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.** — “El basamento de la provincia de Buenos Aires representa la zona marginal de la gran masa continental antigua conocida con el nombre de *Brasilía*: en su parte Norte este basamento cristalino comienza a profundidades de varios cientos hasta más de mil metros, cubierto por estratos mesopotámicos del

eógeno y araucanos del neógeno. En el sur de la provincia el basamento cristalino asoma en un conjunto de pequeñas sierras, entre Olavarría y Mar del Plata, llamadas *Tandilia*, y está recubierto por sedimentos del paleozoico inferior. El mismo paleozoico inferior concurre en la constitución de las Sierras de la Ventana, Bravand y Curú-Malal. Las Sierras de Pillahuincó y Tunes están constituidas por estratos del Gondwana, del tipo del Brasil oriental.

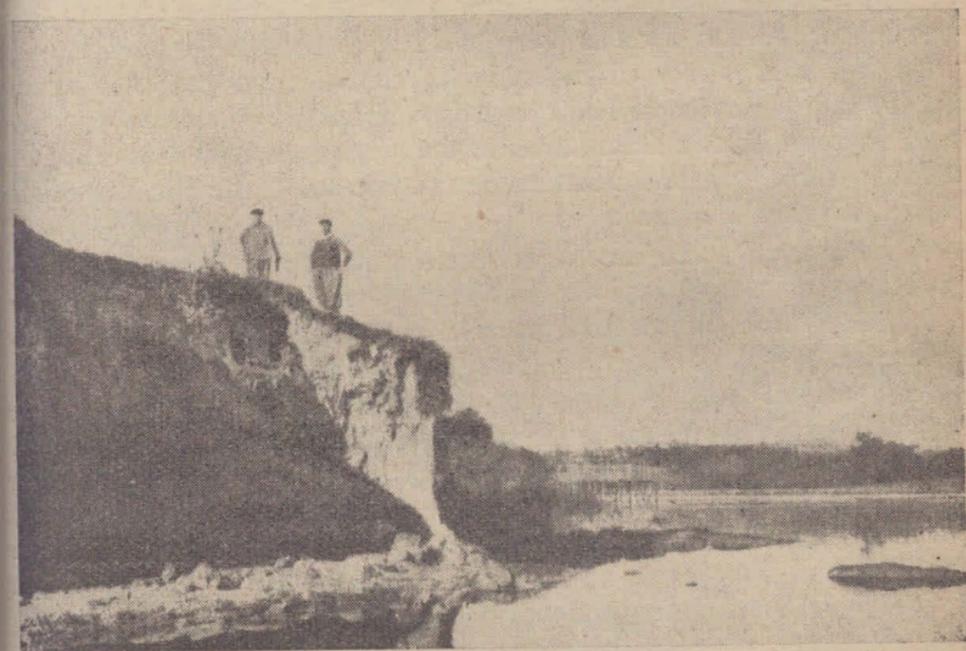


Fig. 216. — Afloramiento de sedimentos pliocenos en la margen derecha de la laguna La Brava, cubiertos por el médano invasor (Buenos Aires).

El terciario ocupa en el subsuelo de la provincia vastas extensiones, que por el Norte de la misma van desde la línea que arranca cerca de Mar del Plata y se dirige hacia Trenque-Lauquen; hacia el Sur se extiende más allá del río Negro, desde el pie oculto de las Sierras de la Ventana, Curú-Malal y Cortapié, rodeando estas sierras, donde el mesopotámico se halla en el subsuelo y donde el araucano aflora en diversos puntos, como, por ejemplo, en Carhué (fig. 216).

En *Tandilia* se distinguen movimientos tangenciales antiguos, probablemente proterozoicos, y desplazamientos verticales

por fracturación mucho más recientes. En el grupo austral de las Sierras Bonaerenses los movimientos son cretáceos y terciarios.

La fracturación mayor que afecta la provincia de Buenos Aires se halla en la base del plioceno, siendo posterior al mesopotámico y anterior a los depósitos araucanos. En este movimiento, el subsuelo del Norte de la provincia fué dividido en numerosos bloques, que sufrieron despiazamientos verticales, diferenciados, con tendencia ascendente. Los bloques más elevados fueron desgastados en mayor grado por la erosión, de suerte que el espesor de las arcillas verdes de los estratos superiores del mesopotámico varía extraordinariamente de un punto a otro: así, al lado de más de 1000 metros de arcillas verdes se encuentran lugares donde solamente se conservan en espesores de 200 a 300 metros y aun mucho menos, como en el Jardín Zoológico de la Capital Federal.

La mayor parte de la provincia está recubierta por el cuaternario. Al Norte de *Tandilia*, la mayor extensión corresponde a los depósitos pampeanos propiamente dichos (lujanense, belgranense y bonaerense). El desgaste erosivo de este conjunto es poco acentuado, y así la mayor parte del terreno superior se halla formada por el miembro más reciente, cual es el bonaerense. Sobre sus acumulaciones loésicas rojizas es en donde se asienta el cultivo del maíz y del lino y en donde radican las praderas no incorporadas aún a la explotación agrícola. Las depresiones formadas en el pampeano se hallan rellenas de los depósitos lacustres y palustres del lujanense, que por ser arcillosos y yesosos no son aptos para la agricultura y suelen presentarse recubiertas de praderas para la ganadería.

Una parte del Sur y Oeste de la provincia se halla recubierta por el llamado *médano invasor*, que consiste en depósitos eólicos cuaternarios, que revisten las sierras y envuelven sus faldeos, para extenderse asimismo fuera de ellas por las planicies del Sur y Oeste de la provincia, hasta invadir, en manchas más o menos coherentes, la zona del río Salado superior. Este depósito suele llevar una cubierta humosa, donde se asientan los cultivos de trigo, avena y papas.

Todavía, al último período interglacial en que vivimos, corresponde la invasión máxima del piso querandino y los depósitos del platense, relacionados con el *diluvium*. Los depósitos marinos del querandino ocupan la región oeste y sur de la Bahía

de Samborombón, y penetran en ramificaciones por los valles costaneros en el pampeano de la costa nordeste de la provincia y noroeste de la misma en el delta del Paraná. Los depósitos del platense se encuentran en las hondonadas del terreno, en cañadas o en depresiones rodeadas por médanos.

**226. LLANURA CHACO-BONAERENSE.** — Esta inmensa llanura está limitada al Oeste y Sudoeste por las cadenas subandinas, las Sierras Pampeanas orientales y las sierras del Sur de la provincia de Buenos Aires; al Este y Norte termina con los ríos Paraguay, Paraná y de la Plata. Por el lado del Sur, entre el Río de la Plata y Mar del Plata, la llanura chaco-bonaerense se pierde en el Atlántico. Por tanto, la llanura chaco-bonaerense comprende la Capital Federal, las provincias de Buenos Aires y de Santa Fe y parte de la de Córdoba y las gobernaciones del Chaco y Formosa.



Fig. 217. — Corte esquemático para mostrar las vinculaciones existentes entre los depósitos del pie de las montañas y los sedimentos terciarios y cuaternarios de la llanura pampeana, según Windhausen.

Para Groeber "la llanura chaco-bonaerense, geológicamente considerada, es una depresión tectónica de principios del neógeno, en la cual penetró el mar, que se mantuvo hasta el final del mioceno y dejó depósitos —naturalmente, marinos— conocidos con el nombre de *formación mesopotámica*, que en la actualidad no afloran en ninguna parte, pero han sido encontrados en las perforaciones practicadas desde la costa oriental atlántica hasta Sáenz Peña, en el Chaco, y aparecen, en parte, a la vista en las barrancas de la margen izquierda del río Paraná (fig. 217).

Sobre los estratos mesopotámicos se asientan depósitos frecuentemente fluviales del plioceno o araucano, en espesores de 100 metros por término medio. Por último, la superficie más externa se halla formada de depósitos cuaternarios, eólicos y lacustres, raras veces surcados por la erosión. La profundidad de la cuenca sedimentaria crece de Norte a Sur, hasta alcanzar en la provincia de Buenos Aires profundidades de más de 1000 metros (figura 218).

Toda esta inmensa región ha sido fracturada y dividida en bloques que han sufrido un ascenso diferencial; naturalmente, los bloques más elevados de los estratos mesopotámicos fueron desgastados en mayor escala que los otros, antes de la sedimentación de los depósitos fluviales, lagunares y

terrestres del plioceno. A partir del paralelo 28° hacia el Norte y en las proximidades de la Cordillera, la facies marina del mesopotámico es substituída por la de areniscas y arcillas rojizas del terciario superior terrestre. En otros sitios, los depósitos pliocenos descansan directamente sobre estratos muy antiguos, como los permotriásicos, por haber sido eliminados por erosión los bloques elevados del mesopotámico.



Fig. 218. — Perfil geológico de la perforación de Alhuampa (Chaco santiagueño), según Windhausen.

El carácter de llanura data de la expansión de los estratos pliocenos. Durante el cuaternario se produjeron dislocaciones relativamente débiles de orientaciones submeridionales, que a pesar de su insignificancia, dentro del paisaje llano y bajo, tuvieron considerable influencia en el sistema de drenaje. Estas dislocaciones elevaron ligeramente una faja al Este de la línea que empieza al Sur de la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, pasa al Este de Mar Chiquita en la dirección de la confluencia del Bermejo y el Tenco y al Estero de Patiño.

Los ríos Primero, Segundo y Dulce perdieron sus cursos inferiores, por los cuales vertían sus aguas al Paraná, para terminar, como hoy, en Mar Chiquita. Lo mismo sucedió a los ríos Salado, Bermejo y Pilcomayo: el primero de estos ríos desaguó durante algún tiempo en Mar Chiquita; los ríos Bermejo y Pilcomayo se perdieron en grandes esteros y depresiones anegadizas. Hoy los ríos Salado y Bermejo están agregados nuevamente como afluentes del sistema de drenaje del río Paraguay-Paraná, a consecuencia del trabajo de erosión regresiva que partió desde el nivel de base local, representado por aquel importante colector. La captación

del Pilcomayo por el río Paraguay no es aún total, pues varios arroyos, como el Confuso y el Verde, lo desagüan en diferente medida, de suerte que aún no se ha decidido el pleito entre esos arroyos captantes y cuál de ellos se quedará definitivamente con las aguas del río Pilcomayo.

## 227. GEOLOGIA DE ENTRE RIOS, CORRIENTES Y MISIONES. —

Esta zona de dos provincias y un territorio constituye la actual mesopotamia argentina, por hallarse entre dos ríos, el Uruguay y el Paraná. El terreno más antiguo de esta zona está constituido por mantos de meláfiro

del triásico superior y jurásico inferior. Sobre el meláfiro se encuentran areniscas del cretáceo superior, en parte silicificadas y con restos de dinosaurios. Su extensión por la Mesopotamia es bastante reducida, como que sólo se encuentra a lo largo del río Uruguay, al Sur de Concordia, en el Sur de Corrientes y acaso en el centro de Misiones.

Durante el mioceno la región fué invadida por el mar de la ingresión mesopotámica, cuyos depósitos afloran en las barrancas de la margen izquierda del río Paraná, en las laderas de las cuchillas de Entre Ríos y en el fondo de sus arroyos mayores. El espesor de la formación entrerriana es menor que el de la fracción mesopotámica; en cambio, presenta la facies marina, junto con la terrestre, la lagunar y la de delta. Durante el plioceno se retiró el mar a consecuencia de movimientos verticales y diferenciales, y entonces, sobre sus estratos decapitados, se asentaron las llamadas "arenas de Entre Ríos", constituidas por arenas de cuarzo puro, en parte cementada por limonita, que forma también nódulos de apreciable tamaño dentro de las arenas. Estas forman en el Noroeste de Corrientes las llamadas *areniscas guaránicas* o asperón de Corrientes. El material de estos sedimentos se



fig. 219. — Discordancia entre el paleozoico y el precámbrico, en el valle del Río San Juan (Salta), según J. Hausen.

debe al lavado del suelo formado en el mioceno y principios del plioceno, sobre la extensa región de meláfiro del Este y Nordeste.

Durante el cuaternario, por efecto de un cambio climático, se formó una extensa costra calcárea, cuyos restos se encuentran todavía en el Sur de Corrientes y sobre las cuchillas del Norte de Entre Ríos; esta costra dificulta el desarrollo de la vegetación arbórea.

En la parte austral de las cuchillas de Entre Ríos se hallan sedimentos pampeanos, similares al bonaerense, y en el Noroeste de Corrientes se extienden sedimentos lacustres, palustres y de delta del cuaternario superior, preferentemente lujanenses.

El rasgo tectónico característico de esta zona está constituido por las fracturas que delimitan la región al Oeste contra el ambiente deprimido de la llanura chaco-bonaerense; aun cuando estas fracturas comenzaron en el terciario, su importancia orográfica data del cuaternario, según se desprende del desnivel entre los depósitos bonaerenses de ambos lados del Paraná en Entre Ríos: este desnivel es de unos 80 metros. Más al Norte crece todavía la diferencia de desniveles.

**228. GEOLOGIA DE SALTA, JUJUY Y TUCUMAN.** — La geología de esta región es en extremo variada. Por de pronto, comprende pizarras y cuarcitas precámbricas, exentas de metamorfismo regional, en las cadenas de ambos lados de la Quebrada de Humahuaca y de Toro, así como también en las elevaciones del Norte y Nordeste de Tucumán. Asimismo comprende rocas altamente metamórficas, como gneis, micacitas y otros esquistos cristalinos, atravesados con frecuencia por granitos y aplitas, que representan la prolongación de la zona ocupada por el basamento cristalino (figura 219).

En el Norte de Salta existe una gran extensión de silúrico, acompañado por algo de cámbrico, y en las cadenas subandinas el conjunto de los estratos del paleozoico inferior se completa con los del devónico inferior. En la misma provincia de Salta está la llamada "formación petrolífera" o "sistema de Salta" del cretáceo superior y parte del terciario inferior, que

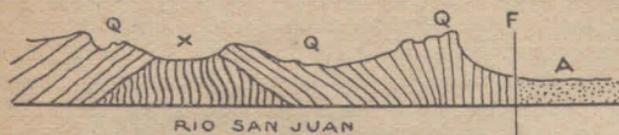


Fig. 220. — Perfil transversal por el valle del río San Juan entre Matancillo y San Carlos (Salta), según J. Hausen.

descansa en discordancia angular sobre el algonkiense. Esta formación se extiende desde el pie de los Andes de Jujuy, Salta y Tucumán, a través de la Puna de Atacama; pero su desarrollo más completo cae dentro de la faja de la Cordillera Oriental, donde la serie total adquiere espesores de unos 3.000 metros, sin que en ella participen rocas eruptivas de ninguna especie (fig. 220).

Los estratos terciarios están representados por las areniscas superiores del "sistema de Salta", cuya edad no ha podido aún precisarse, aunque se supone con probabilidad ser oligocena. El terciario superior, llamado "terciario subandino" y "estratos de Jujuy", tiene su centro de distribución en las cadenas subandinas y en la Cordillera Oriental: su material procede de la zona andina, elevada y expuesta a la erosión, como consecuencia del segundo movimiento tectónico terciario, que tuvo lugar en el mioceno inferior. El terciario subandino, sobre todo en las cercanías de la Puna, encierra rocas ígneas en forma de bancos y lentejones. En esta región se produjeron erupciones importantes de dacitas, andesitas y liparitas, de índole parecida a los del Sur de Mendoza y del Neuquén (fig. 221).

Esta zona ha sido objeto de diversos movimientos tectónicos: el más antiguo tuvo lugar en el algonkiense y en el paleozoico inferior; el segundo se supone relacionado con el plegamiento hercínico o con el caledónico, sin poder precisarse a cuál de los dos debe referirse. El tercer plegamiento tuvo lugar en el terciario superior y puede llamarse precursor de la orogenia terciaria, de acción tan intensa en la Cordillera de la costa del Pacífico en esas latitudes, y que repercutió en el lado de la Argentina provocando la formación de una gran depresión que dió cabida a los miles de metros de los sedimentos del "sistema de Salta". En cambio, el primer movimiento andino, que tuvo lugar en el eoceno superior, no parece haber dejado rastros notables en la región. Por el contrario, el segundo movimiento andino originó transformaciones importantes en la

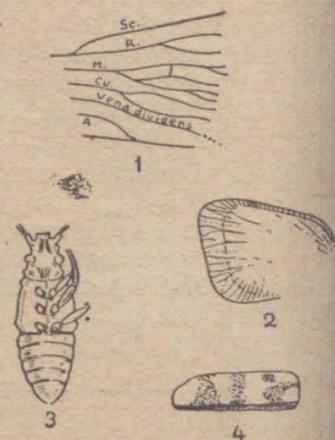


Fig. 221. — Restos de insectos del terciario subandino de Sunchal (Jujuy).

cordillera Oriental y en las cadenas subandinas, aunque sin producir la elevación de las partes afectadas, a excepción de la Puna (fig. 222).

En el plioceno superior tuvo lugar la fracturación de esta estructura en su división en bloques inclinados hacia el Este, con fractura sobre su frente occidental, característica de las Sierras Pampeanas. En las cadenas subandinas la fracturación ofreció a menudo la forma de plegamientos con frentes corrimientos hacia el Oeste. La fractura más importante es la que limita el Aconquija y su prolongación Norte, hasta desaparecer en la zona de la ciudad de Jujuy.

Durante el cuaternario se acentuó la tendencia ascendente y actual de las Sierras de los Andes, y al mismo tiempo se produjo intensa actividad ígnea en la parte occidental de la Puna, donde se acumularon grandes masas de andesitas

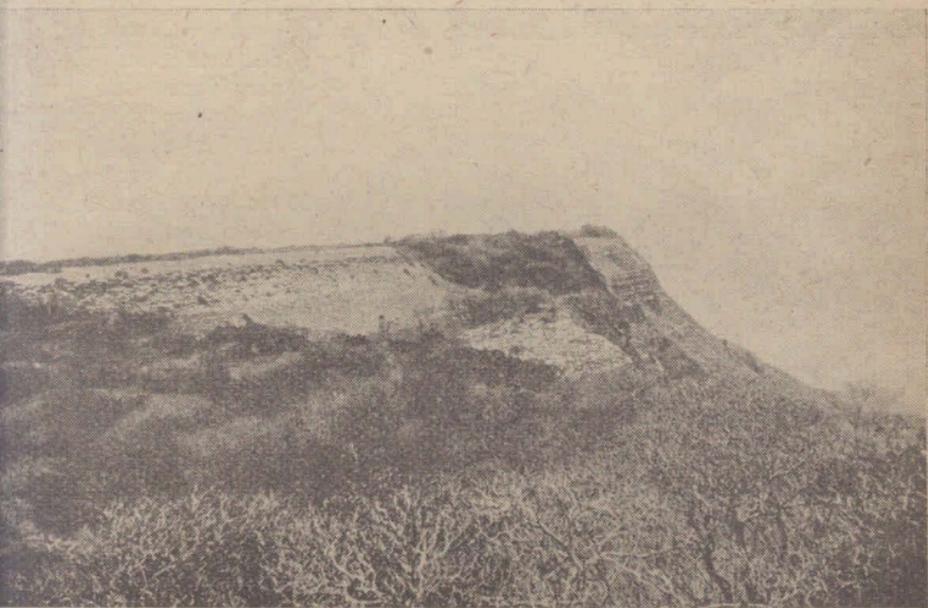


fig. 222. — Formación calcáreo oolítica del Cerro Colorado, en la zona subandina de Salta y Tucumán.

volcánicas, andesitas corrientes y algunos basaltos. Las exhalaciones volcánicas dieron lugar a la acumulación de boratos en las depresiones sin salida, de la Puna. En la zona baja extracordillerana se difundieron extensos depósitos lacustres y palustres cuaternarios, que en la actualidad se hallan cubiertos por depósitos eólicos arenosos, relacionados con el "médano invasor". La glaciación cuaternaria ha dejado restos en las cadenas elevadas, sobre todo en la de Nevados, que culmina en el Cachi.

**229. GEOLOGIA DEL NORTE DE PATAGONIA.** — La región considerada comprende los territorios del Río Negro y del Neuquén, el noroeste de la Pampa y Sur de Mendoza. En toda la región afloran rocas de las más variadas edades, sedimentarias, metamórficas y eruptivas. En

cambio, la cubierta cuaternaria, que en otras regiones extraandinas oculta gran parte de las rocas, tiene aquí una importancia regional menor.

El conjunto de rocas más antiguo corresponde al basamento cristalino, que asoma de tanto en tanto, desde las cabezas del Alumnié hasta el Sur del Río Negro, y consiste en gneis, micacitas, filitas, dioritas y masas intrusivas de granito. Los estratos paleozoicos, ligeramente metamorfoseados, asoman en cerros aislados en el Oeste de la Pampa y en el Sur de Mendoza, los cuales representan la prolongación del ambiente hercínico de la Cordillera frontal. En la misma faja se presentan masas eruptivas permo-triásicas.

El triásico tiene escasa representación en esta región: se ha encontrado no obstante, en Piedra del Aguila (Neuquén). El liásico aparece en Chasquil (Neuquén) con grandes masas efusivas, consistentes en porfiritas. El cretáceo marino y en parte terrestre ocupa la zona cordillerana hasta el arco del río Limay superior, y está compuesto de areniscas con dinosaurios y yacimientos petrolíferos en la zona de Huincul. El mismo cretáceo forma el substrato de las mesetas situadas entre los ríos Colorado y Negro, al Oeste del meridiano 66 grados de Greenwich y llega en el Sur del Río Negro hasta el Atlántico.

Del eoceno son las tobas con mamíferos del golfo San Jorge; el oligoceno, con mantos eruptivos aparece en Junín de los Andes y cobra mayor extensión desde Nahuel Huapi al Nordeste y Sur de la región. El mioceno (mesopotámico) se encuentra desde la costa atlántica hasta más al Oeste del Bajo del

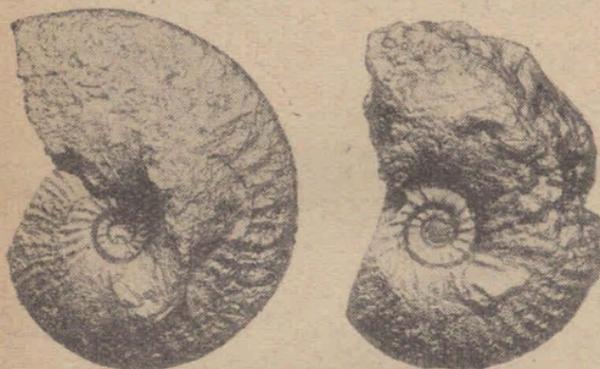


Fig. 223. — Ammonites encontrados en las inmediaciones del Lago San Martín.

Gualicho. Desde el Sur del Neuquén se extienden los estratos santacruceños, tobáceos y lacustres, que llegan hasta la Cordillera en su pie oriental y se entrelazan con los grandes centros eruptivos de dacitas, liparitas y andesitas. El plioceno está representado por las areniscas del Río Negro, que afloran a lo largo de este río, en la parte inferior del Río Colorado y en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, entre Bahía Blanca y Bahía Creek.

El cuaternario se caracteriza en toda esta región por sus niveles de pie de sierra y por depósitos eólicos pertenecientes al *medano invasor* y a su equivalente en las cercanías de las elevaciones, llamado *pampa de las piedritas*.

En esta región se señalan movimientos hercínicos en el Oeste de la Pampa y en el Sudeste de Mendoza en lomas incoherentes. Los movimientos terciarios dieron forma y altura a la Cordillera, y en la región extraandina, si bien no faltaron repetidos ascensos, que convirtieron la región en zona de erosión, las elevaciones no fueron nunca muy importantes, pues los sedimentos de las diferentes épocas están bastante bien conservados en su extensión y espesor primitivos. La parte oriental de la región se sumergió en el mar durante el mesopotámico; solamente el centro del Río Negro mantuvo una posición elevada desde el cretáceo superior (fig. 223).

Fuera de esta zona, la porción baja de la Patagonia extraandina se mantuvo hasta el plioceno, dando lugar a la acumulación de las areniscas del Río Negro, y perduró aún en el cuaternario inferior, lo que permitió la expansión de los rodados del primer nivel de *pie de sierra*, desde la falda de los Andes hasta la costa Atlántica, y la formación de una vasta planicie, que se extendió, a su vez, por la Pampa central hasta la provincia de Buenos Aires. Durante el cuaternario se produjo un ascenso general del terreno, que se comunicó de la Cordillera a la zona extraandina. El ascenso se produjo en etapas, según se desprende de las terrazas intercaladas entre las mesetas.



Fig. 224. — Estrecho de Magallanes (Foto Bourquin).

**230. GEOLOGIA DEL SUR DE PATAGONIA.** — Por sur de Patagonia o Patagonia meridional se comprenden las tierras existentes al Sur del paralelo 44° ó de la región del lago Fontana, y se extiende hasta la Tierra del Fuego y la Isla de los Estados.

La Cordillera Patagónica, poco conocida todavía, se compone en su ladera oriental de sedimentos marinos del cretáceo y del terciario inferior. Los sedimentos cretáceos descansan hacia el Oeste en pórfidos del jurásico superior; luego sigue la zona de un gran batolito granodiorítico del cretáceo superior y el basamento cristalino, desarrollado en las islas que corren a lo largo del continente en el Pacífico.

La Cordillera Patagónica ha sufrido una primera compresión de plegamiento en el cretáceo superior; pero su carácter de elevación se debe solamente a los movimientos del terciario superior, y de este tiempo datan los ríos transversales a la Cordillera Patagónica, anteriores a ella (fig. 224).

En la Patagonia extracordillerana descansan en rocas del basamento cristalino sedimentos del cretáceo superior y del terciario, en posición horizontal, pero cubiertos por extensos mantos de basalto. Todo el conjunto ha sido elevado verticalmente y recortado luego por la erosión, que ha dado lugar a la formación de mesetas. La edad de estos movimientos de ascenso, que han interrumpido la sedimentación y convertido la Patagonia meridional en región de erosión, es de época relativamente reciente, pues data del final del terciario y principios del cuaternario (fig. 225).

**231. ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES.** — Antes de examinar los elementos morfológico-estructurales del largo cordón de relieves que llamamos Cordillera de los Andes, conviene conocer cómo se presenta esta cordillera en las diferentes latitudes, según Windhausen.

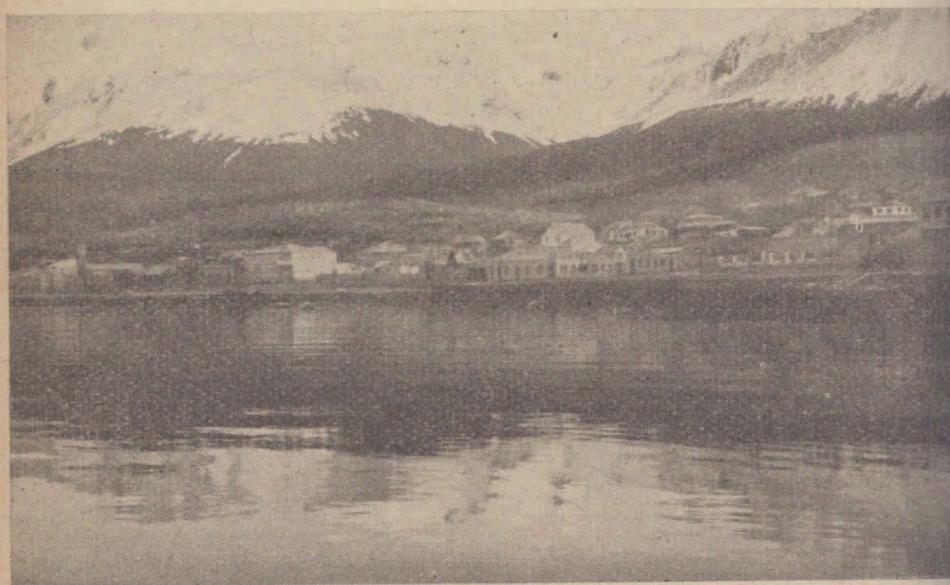


Fig. 225. — Tierra del Fuego: Ushuaia (Foto Kohlmann).

a) **División morfológica y estructural.** — En la porción austral la Cordillera se presenta generalmente como formada por un solo cordón, que es atravesado por numerosos valles transversales. Fuera del murallón propio de la Cordillera, aparece en el archipiélago de las islas del borde del Pacífico un elemento estructural de edad antigua y de gran importancia: la Cordillera Costanera, que acompaña a la Cordillera hasta aproximadamente la latitud del trópico. Allí se hunde en el Pacífico, en la región donde las grandes fosas abisales del océano, empiezan a flanquear la costa. Allí desaparece este elemento por un trecho de unos 900 kilómetros, para reaparecer nuevamente desde la Bahía de Arica. La Cordillera costanera se interpreta generalmente como un elemento ajeno a la Cordillera de los Andes, o sea como el remanente de un antiguo continente pacífico hoy desaparecido en su mayor parte y anegado en las aguas del océano.

Algo al Norte del lago Nahuel Huapí se produce un cambio de carácter y de aspecto del alto murallón de los Andes, desarrollándose la montaña a una mayor altura y dejando de presentar el seccionamiento transversal observado en la Cordillera Patagónica, y, en lugar de una sola cadena relativamente angosta, aparecen ahora varias cadenas accesorias al lado del cordón principal. Este fenómeno sigue acentuándose en dirección al Norte, hasta culminar precisamente en la latitud del gran codo continental, donde en medio de los cordones principales se presenta un elemento nuevo, el *altiplano de Bolivia*, verdadero elemento andino, flanqueado en sus dos lados por cadenas de montañas. En su lado occidental se halla la Cordillera Marítima, que se distingue por el gran desarrollo de sedimentos mesozoicos y de efusiones de rocas volcánicas, y en el lado oriental se levanta la Cordillera Real, con su núcleo de rocas graníticas y esquistos antiguos, siendo el faldeo oriental de ésta la caída abrupta hacia el Gran Chaco.

Analizando la composición geológica de ambas cordilleras, se echa de ver un contraste de gran trascendencia. La Cordillera Real, dada su posición, su composición litológica y sus antecedentes, es un elemento vinculado manifiestamente con *Brasil*, elemento que, por los movimientos ascendentes del terciario creadores de los Andes, fué arrastrado a grande altura. En cambio, la Cordillera Marítima contiene depósitos típicamente andinos, junto con las masas de rocas volcánicas efusivas, arrojadas desde el principio del terciario hasta la época actual. En medio de los elementos aludidos, el altiplano fué afectado también por el movimiento ascendente y levantado a su altura actual. En territorio argentino el altiplano tiene una destacada representación en la Puna de Atacama.

**b) Nacimiento de la Cordillera.** — La Cordillera de los Andes forma parte del sistema orogenético del terciario, que en el hemisferio boreal produjo el plegamiento de las montañas del mediterráneo euroasiático y en el austral los pliegues circumpacíficos. Pero el proceso genético del plegamiento y levantamiento de los Andes a grandes alturas no fué uniforme ni de un solo golpe, sino en fases intermitentes, vale decir, por etapas, que acusan distintos grados de fuerzas tectónicas en los diversos elementos estructurales. Con la particularidad de que en este proceso orogenético juega un papel mucho menos importante el plegamiento en el sentido propio, que el movimiento ascendente o descendente de bloques.

Pero todos estos movimientos tan variados imprimieron un aspecto caleidoscópico en las formaciones terciarias. La sedimentación, como dependiente de las particularidades del relieve continental, refleja fielmente la influencia de esos factores de orden tectónico, por la alternancia de los depósitos marinos, lacustres, salobres, limnicos, estuarianos, fluviales, etc. No menos complicado se presenta el cuadro de las inmigraciones de animales y plantas, y de los cambios en la distribución de faunas y floras, cuyos restos se hallan en estos sedimentos (fig. 226).

En forma igualmente impresionante se presentan en la Cordillera de los Andes las exteriorizaciones del vulcanismo, que acompaña a las diferentes fases de los movimientos orogenéticos y epirogenéticos, hasta hacer de esa cadena una de las regiones de la tierra en que con más nitidez resaltan las vinculaciones entre orogénesis y vulcanismo. Así, por ejemplo, se extiende una faja meridional de volcanes jóvenes a lo largo de la costa del Pacífico, que se elevan en forma de grupos, de hileras o de cerros aislados.



Fig. 226. — Vista panorámica, hacia el norte, desde un punto imaginario a 10.000 metros de altura en la extremidad norte de la Cordillera del Viento (Neuquén), según Groeber.

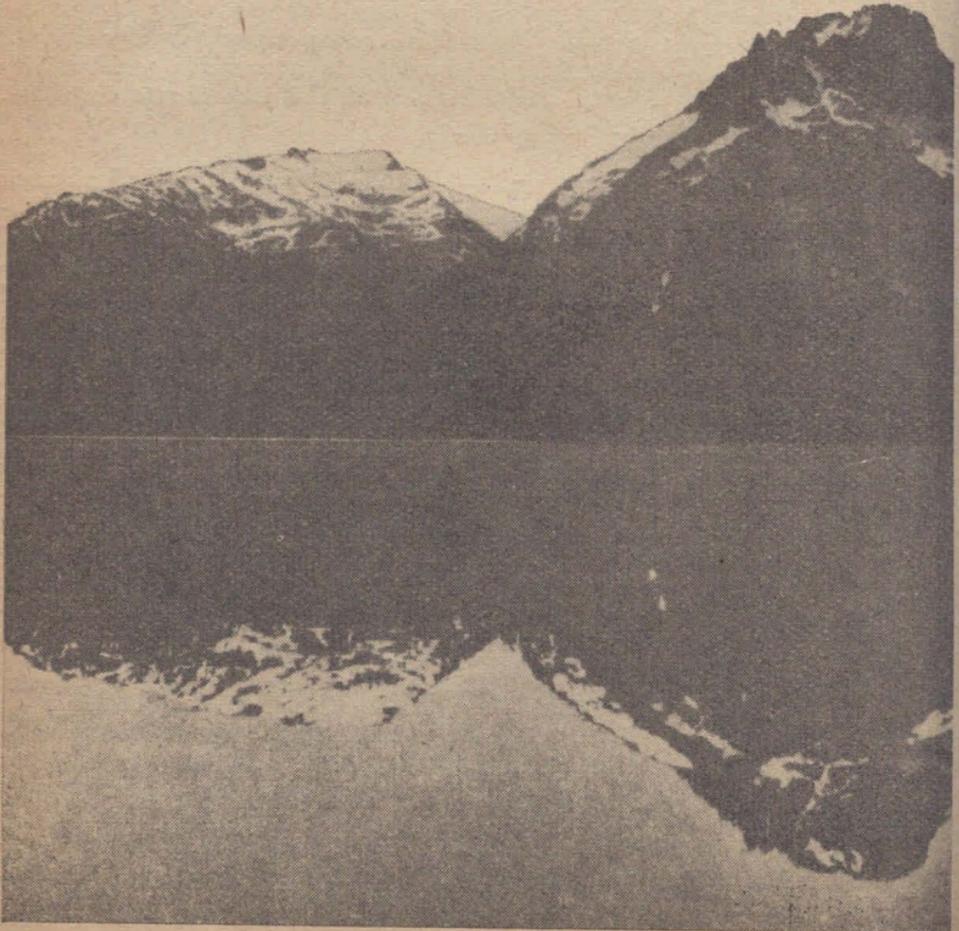


Fig. 227. — Cerro El Trovador en el territorio del Río Negro.

Son éstos los volcanes jóvenes que han trabajado con preferencia en la segunda mitad del terciario y aun durante el pleistoceno. Los materiales constitutivos de estos cerros son rocas andesíticas, dacíticas y liparíticas, y los materiales arrojados por sus volcanes han sido a menudo acarreados por el viento y las aguas, por lo cual se los encuentra con frecuencia muy lejos de los centros de erupción (fig. 227).

c) **Geología de la Cordillera principal.** — Según Groeber, la Cordillera principal contiene las mayores alturas de los Andes y se extiende desde las cabeceras del río Blanco (Jáchal) hasta el centro del Neuquén, y termina en el curso oeste del río Agrio: en territorio argentino su longitud es algo mayor de 1.000 kilómetros. Se compone de dos tramos de estructura interna diferente, que se hallan íntimamente ligados al Norte del río Diamante y se separan al Sur de este río: estos tramos son la Cordillera del geosinclinal y la Cordillera frontal.

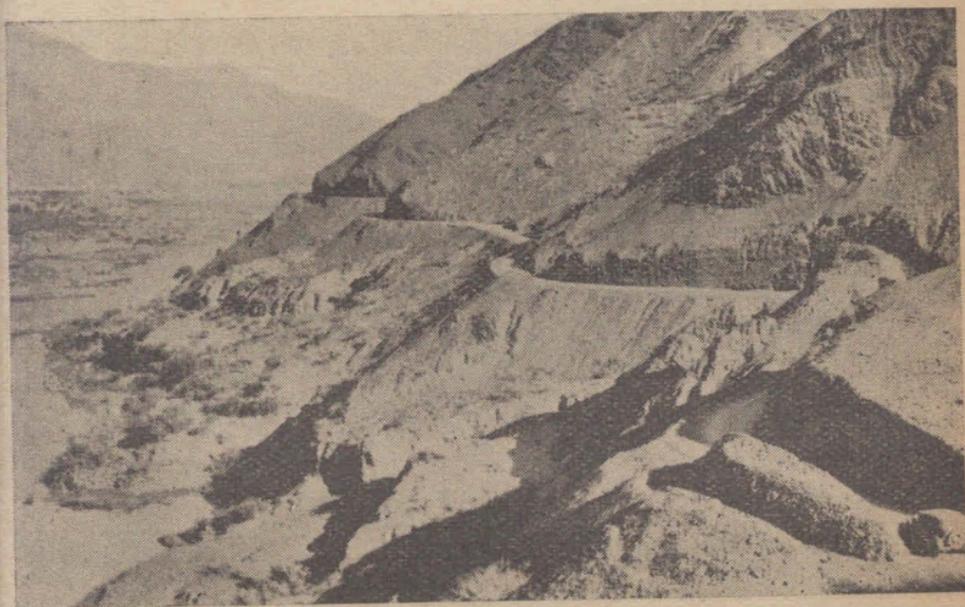


Fig. 228. — Camino a Jáchal (San Juan).

1. La *Cordillera del geosinclinal* entra en territorio argentino aproximadamente a la latitud de  $30^{\circ}$  en la cabecera del río Los Patos. Está constituida por sedimentos de unos 5.000 a 7.000 metros de espesor, entre los cuales predominan los depósitos marinos del geosinclinal andino del mesozoico, que comprenden el triásico superior, el jurásico y el cretácico. Entre la sucesión de sedimentos se interponen potentes masas de rocas volcánicas, sobre todo porfiritas; pero todo el conjunto está intensamente plegado y afectado por corrimientos que datan del terciario.

2. La *Cordillera frontal* comprende las Sierras de San Guillermo, Olivares, Tigre, Cerro del Plata y del Arroyo Hondo; luego prosigue en la Sierra Pintada y Cerro Nevado por la pampa occidental, hasta la confluencia del Chari-Lehue con el río Colorado, en lomas aisladas que asoman a través de masas de basalto y de depósitos pliocenos (fig. 228).

La Cordillera frontal está constituida por sedimentos paleozoicos, preferentemente antracólitos, de gran espesor e intensamente plegados durante los levantamientos hercínicos. En este potente conjunto están alojadas grandes masas intrusivas de granito rojo permotriásico, rodeadas de amplias zonas metamórficas de contacto. La Cordillera frontal ha sido elevada en masa o en bloque después del terciario superior, representado por los estratos miocenos (calchaquíes) y pliocenos; empezó a destacarse en el plioceno superior, pero no adquirió su gran altura de 5.000 y más metros sino durante el cuaternario (fig. 229).



Fig. 229. — Valle del Rodeo (Catamarca).

### 232. ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LA PRECORDILLERA. —

Con el nombre de *Precordillera* se conoce una serie de cordones de montañas, que corren paralelamente a la Cordillera principal en las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza: forman el lado occidental de la Precordillera, separándola de los Andes, los grandes valles longitudinales de Uspallata, Calingasta e Iglesia; al Este, la Precordillera se halla limitada por la depresión del río Bermejo superior, y de los ríos Jáchal, San Juan y Mendoza inferiores. En su estructura Norte la Precordillera asoma por debajo de las acumulaciones volcánicas de la Puna en la región del bolsón de Jagüel, y se extiende por el Sur hasta el río Mendoza y el de Cacheuta, donde desciende y desaparece (fig. 230).

La Precordillera está constituida por sedimentos paleozoicos (silúricos, devónicos y antracólitos) muy potentes y de miles de metros de espesor. Todo el conjunto ha experimentado fuertes acciones orogénicas, como lo demuestra el desmembramiento total de la sucesión normal de los estratos paleozoicos. Estos movimientos pertenecen al levantamiento herciniano del período antracólito. Pero, a pesar de la intensidad de estos movimientos,

ellos no influyeron en la configuración actual de la Precordillera, que es debida a los movimientos del terciario superior, según se desprende del

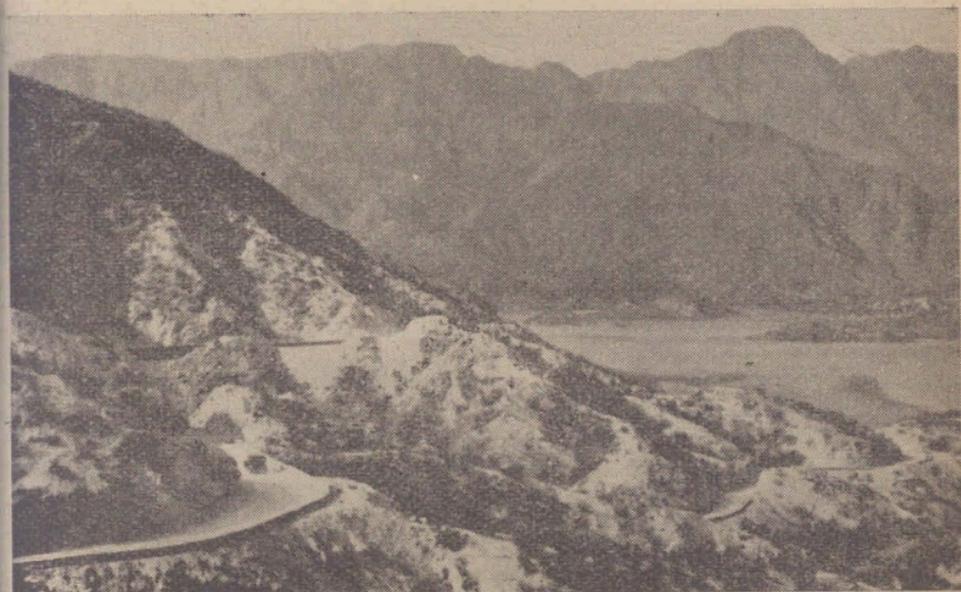


Fig. 230. — Embalse del dique Los Sauces (La Rioja).

hecho de que los sedimentos del terciario superior ocupan la casi totalidad de la actual Sierra y han participado de los movimientos que han creado la Precordillera en su aspecto actual (fig. 231).

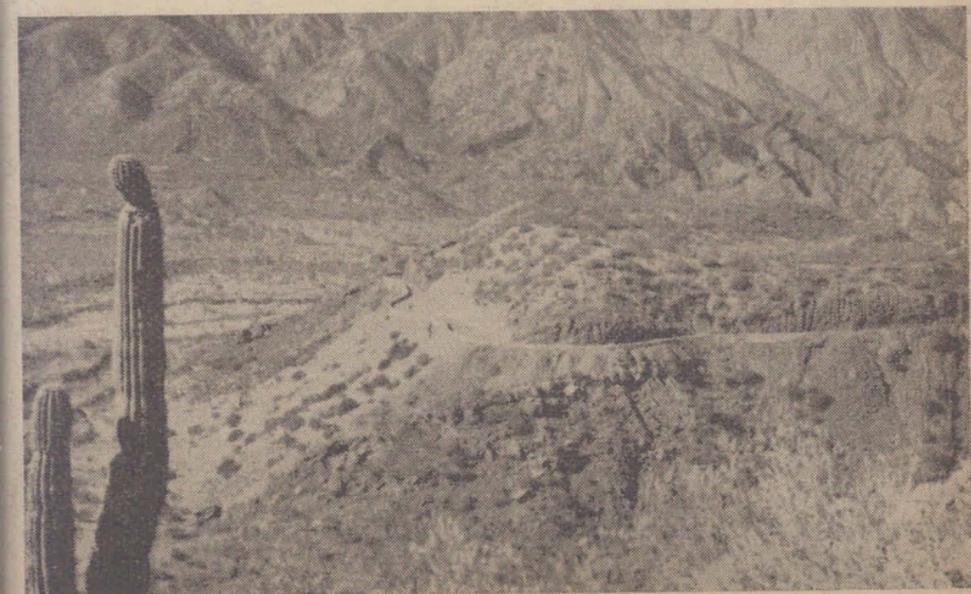


Fig. 231. — Cuesta de Miranda en el camino de Villa Unión (La Rioja).

**233. ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LAS SIERRAS PAMPEANAS.** — Con el nombre de *Sierras Pampeanas* se designan unos cordones largos de montañas, que desprendidos de la Cordillera en el Norte del país, forman sierras divergentes, para desaparecer finalmente debajo de las acumulaciones pampeanas: el rumbo general de este sistema se dirige aproximadamente del NW al SE.

Tres líneas principales forman las Sierras Pampeanas: 1.º En la línea más occidental se levantan las Sierras de Famatina, La Huerta y Pie de Palo, para continuar estos cordones en las Sierras de las Quijadas y del Gigante. 2.º La línea de elevaciones medias comprende las sierras Fiambalá, de Velasco, de Los Llanos, de Chepes, Ulapes y San Luis. 3.º La línea más oriental empieza con el Aconquija y continúa en la Sierra de Ancasti; más al Sur, y separada de éstas, se levanta la Sierra de Córdoba, que es la entidad más grande y más oriental de este sistema. Entre estas sierras se encuentran interpuestas unas depresiones conocidas con el nombre de *bolsones*.

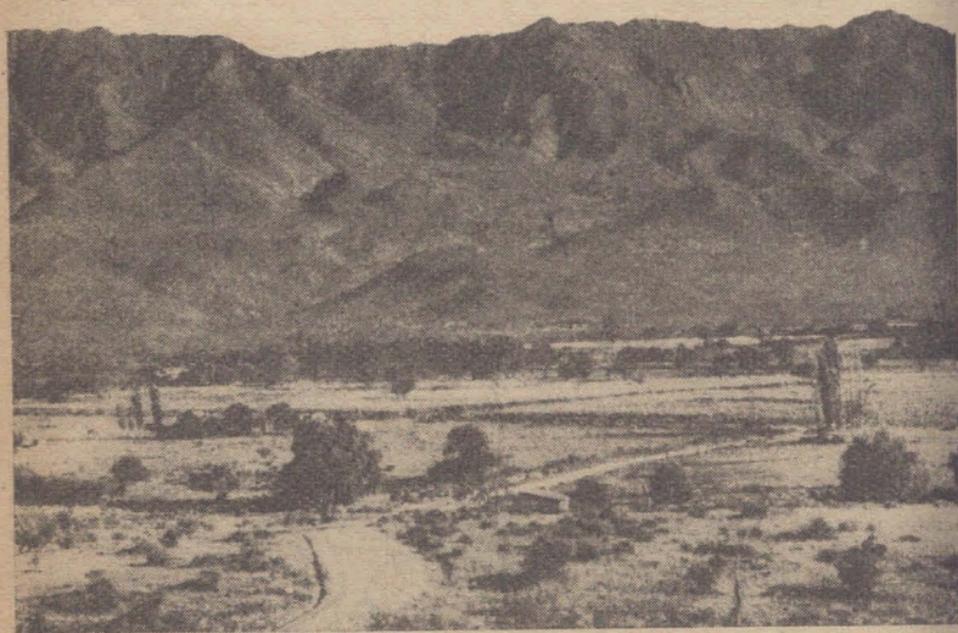


Fig. 232. — Sierra Grande de Córdoba.

Al estudiar la constitución geológica de este sistema se observa en primer término la existencia de un núcleo cristalino o semicristalino, formado por rocas arcaicas y precámbricas y del paleozoico inferior. Este núcleo está atravesado por enormes masas intrusivas de granitos, que penetraron en este complejo en la época de su plegamiento paleozoico o a consecuencia de este plegamiento, que no debe confundirse con el plegamiento de la Precordillera, por ser anterior a éste.

En las Sierras Pampeanas se observan sedimentos paleozoicos del cámbrico y silúrico, incluidos en su estructura interna por los aludidos movimientos orogenéticos. Pero su identificación tropieza con serias dificultades: 1.º, por la escasez de fósiles; 2.º, por el metamorfismo que ha transformado los sedimentos; 3.º, por la reducida extensión de los sedimentos paleozoicos.

lado que, durante el antracolíptico y el Gondwana (permo-triásico) existió un período de profunda denudación y erosión continental, que removió paralelamente estos depósitos (fig. 232).

Durante el Gondwana se extendió por encima de toda esta región una serie de sedimentos que se conservan ahora todavía a menudo en el subsuelo de los bolsones; pero que ha sucumbido casi totalmente por acción de la erosión dentro del perímetro de las diversas Sierras Pampeanas. Esta segunda destrucción de sedimentos se inició con los movimientos y desplazamientos verticales que dividieron la región en elevaciones y depresiones, que se dejaron sentir con gran fuerza al principio del neógeno. En los bolsones y en las áreas de donde posteriormente surgieron las Sierras Pampeanas se acumularon depósitos terrestres y lagunales (calchaquíes y araucanos). Pero la mayor intensidad de los desplazamientos corresponde al final del terciario y principios del cuaternario, según lo ponen de manifiesto las grandes dislocaciones que han experimentado los estratos del terciario superior (fig. 233).



Fig. 233. — Embalse del río San Roque (Córdoba).

El carácter de las Sierras Pampeanas continúa por la parte oriental de la gobernación de la Pampa en su zona central hasta el río Colorado; pero los bloques no adquieren suficiente altura para que se destaquen como sierras, y así conservan, por lo general, una cubierta de depósitos terrestres pliocenos. Las Sierras Pampeanas orientales, así como las de Córdoba, San Luis, Ambato, Ancasti y Aconquija, son bloques o conjunto de bloques de inclinación oriental predominante, cuyos frentes sobrellevados y laderas abruptas se encuentran en su ladera occidental. Las demás Sierras Pampeanas suelen estar limitadas por fracturas en ambos lados o sobre su ladera oriental (fig. 234).

**234. ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LAS SIERRAS BONAERENSES.** — Las Sierras Bonaerenses se hallan al Sur de la provincia de Buenos Aires formando dos grupos: el mayor en extensión ocupa el espacio comprendido entre Olavarría y Mar del Plata, y consta de una gran cantidad de pequeñas sierras, separadas por

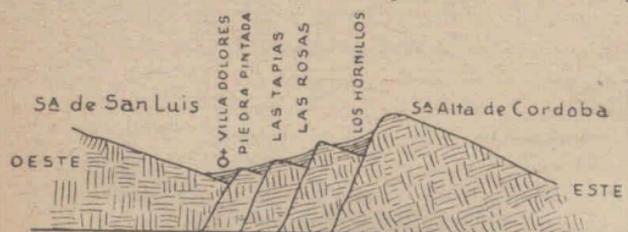


Fig. 234. — Fallas escalonadas entre las sierras de Córdoba y San Luis, según R. Beder.

trechos llanos de acumulación de depósitos cuaternarios. Las principales sierras de este grupo son: Sierra Chica, Olavarría, Sierra Baya, San Jacinto, Loma Negra, Azul y Tandil. El grupo más meridional ocupa menor extensión, pero contiene mayores elevaciones y está formado por las Sierras de Curú-Malal, Bravard, de la Ventana, Pillahuincó y de Las Tunas. Extractemos de Windhausen la estructura de estas sierras.

a) **Grupo meridional.** — Las pequeñas sierras de la porción norte están constituidas por basamento cristalino y sedimentos precámbricos, consistentes en esquistos cristalinos y en gneis granítico, particularmente en la Sierra de

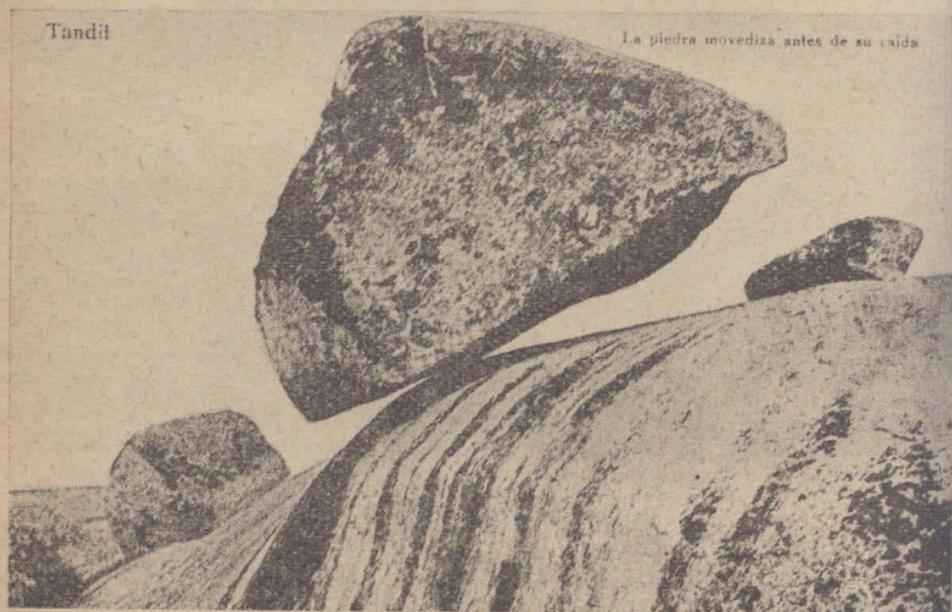


Fig. 235. — La piedra movediza de Tandil antes de su caída.

Tandil, entre Balcarce y Olavarría. Las rocas graníticas explotadas en numerosas canteras son de color rojo o azul-negro, con cuarzo, microlina, plagioclasa, hornblenda y, en general, muy poca mica. Estas rocas son bien conocidas por formar en gran parte el adoquinado de la ciudad de Buenos Aires. Su descomposición se produce en la forma particular de bolsas, cuyo resultado es la formación de grupos o montones de peñascos redondeados.

El exponente más conocido de este fenómeno de alteración de rocas graníticas por la influencia de factores atmosféricos fué la famosa *pedra moediza de Tandil*, que se derrumbó el 29 de febrero de 1912 (fig. 235).

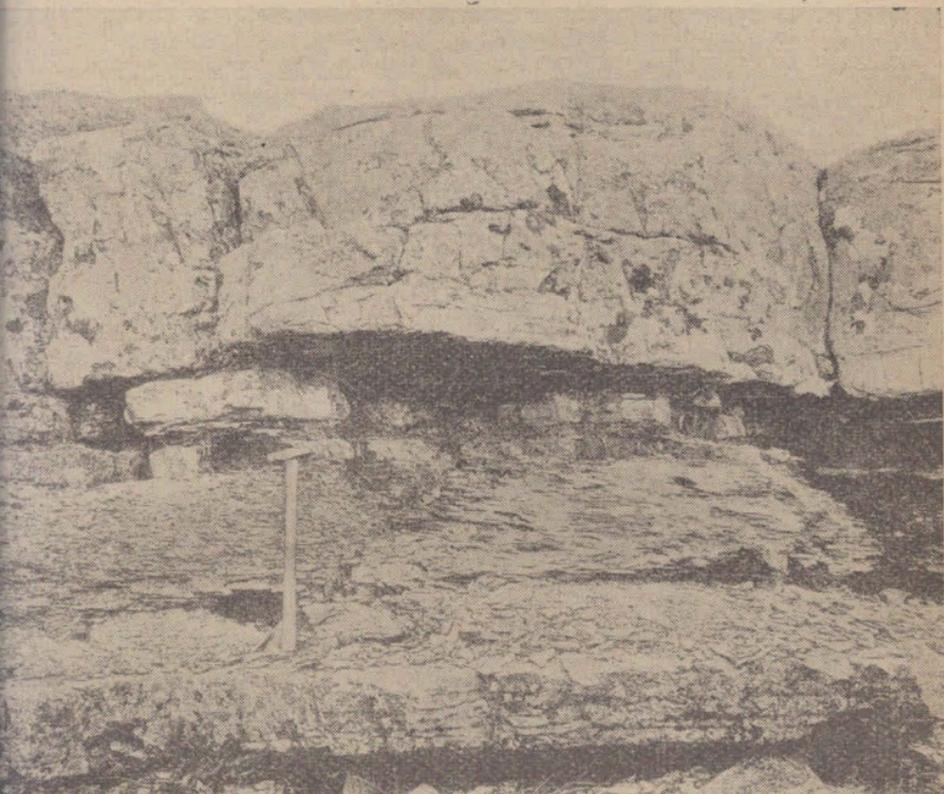


Fig. 236. — Horizonte cuarcífero inferior en el núcleo austral de la Sierra Baya (Buenos Aires).

En la Sierra Baya aflora el silúrico en un espesor total de 140 metros. En su base, encima del basamento algonkiense, se observa un conglomerado cuarcítico, y luego cuarcitas y areniscas con intercalaciones delgadas de esquistos arcillosos. Sigue hacia arriba dolomita, en un espesor de 55 metros, con interrupciones de arcillas abigarradas. Esta roca tiene una aplicación muy grande como piedra de ornamentación, hasta merecer contarse entre los materiales de construcción más hermosos del país. El tercer horizonte está formado por cuarcitas en un espesor de unos 30 metros. En lo que se refiere a la tectónica de esta Sierra se observan ciertas perturbaciones atribuidas a los movimientos de la época terciaria. La ondulación más acentuada corre de SE. a NW. Al estudiar detenidamente los perfiles de esa Sierra se recibe la impresión de haber intervenido en su estructura movimientos horizontales de gran extensión (figs. 236 y 237).

*b) Grupo austral.* — El grupo austral de Sierras Bonaerenses se compone de sedimentos de todo el paleozoico, y son muy escasos los afloramientos del basamento cristalino. En particular el terreno devónico se halla amplia-

mente representado en la sierra de la Ventana. Las entidades estratigráficas son conglomerados, areniscas y cuarcitas.

En la Argentina se ofrecen dos plegamientos primarios: uno en la Pre-cordillera de Mendoza, San Juan y La Rioja, y otro en el cordón austral de las Sierras Bonaerenses, donde existen, no sólo los mismos elementos estratigráficos, sino los mismos fenómenos tectónicos de extensos mantos de sobreescurrecimientos. En ambas regiones los movimientos tectónicos interpérmicos fueron dirigidos hacia el Este y hacia el Norte respectivamente, es decir hacia otros elementos estructurales más antiguos. Aparte de una analogía muy grande en los sedimentos paleozoicos, los movimientos del pérmico ligan la parte austral de las Sierras Bonaerenses (Sierras de la Ven-



Fig. 237. — Horizonte dolomítico plegado en el núcleo septentrional de la Sierra Baya (Buenos Aires).

tana y de Pillahuicó) con las montañas del Cabo de Sudáfrica, hasta el punto de poderse afirmar que los fragmentos de montañas pérmicas visibles en la Argentina son porciones homólogas de las sierras de El Cabo.

La forma actual de las Sierras Bonaerenses se debe a la segunda fase de los movimientos andinos: a una parte hundida en el Atlántico corresponde la elevación del arco de las Sierras Bonaerenses, que, arrasadas en el largo tiempo de la era mesozoica, volvieron a aparecer en la era terciaria como elementos orográficos, es decir, el bloque correspondiente entró en un movimiento de ascenso. Otros elementos estructurales se dirigieron en sentido opuesto, efectuando un movimiento descendente. Así fué como se hundió una área enorme de la boca del Río de la Plata hasta el pie de las Sierras de Catamarca y hasta más al Sur de las Sierras de San Luis. En esta área entró por la boca del Río de la Plata el mar de la formación enterrerriana.

## CAPÍTULO XIX

# TRABAJOS PRACTICOS DE PETROGRAFIA

SUMARIO: 235. Recolección de rocas. — 236. Análisis de las rocas. — 237. Reproducción sintética de las rocas. — 238. Granito. — 239. Diorita. — 240. Meláfiro. — 241. Basalto. — 242. Arena. — 243. Arenisca. — 244. Cuarzita. — 245. Arcilla. — 246. Calizas no fosilíferas. — 247. Calizas fosilíferas. — 248. Loes. — 249. Gneis. — 250. Esquistos cristalinos. — 251. Pizarras arcillosas.

**235. RECOLECCION DE ROCAS.** — El aspecto lindo de las rocas de una región sólo puede darlo el recolector que habita desde mucho tiempo en la comarca. El explorador geológico, en sus rápidos viajes, habrá de contentarse las más de las veces con recoger y transportar la punta sobresaliente de una roca, que golpea y rompe al pasar junto a ella. He aquí las reglas principales a que deberá ajustarse: 1.<sup>a</sup> Los fragmentos que se recojan deben romperse de rocas *in situ*, jamás de bloques sueltos, por grandes que sean. Como excepciones a esta regla cabe señalar las morrenas y los bloques de origen bien conocido. 2.<sup>a</sup> El ejemplar escogido debe tener, por lo menos, una de las caras de fractura en estado fresco, o de perfecta conservación; únicamente se recogerán rocas alteradas cuando se trate de averiguar el proceso de meteorización de la respectiva roca. 3.<sup>a</sup> De toda roca deberá hacerse constar lo antes posible, para no olvidarse, el sitio bien claro y preciso de donde procede.

Si el geólogo dispone de tiempo, deberá preocuparse de la buena presentación de las muestras de rocas recogidas. Uno de los tamaños más convenientes es la forma rectangular de 10 a 12 centímetros de largo, por 6 a 9 de ancho y 2 a 3 de espesor, y procurando, sobre todo, que sus caras no sean superficies limitantes de diaclasas o grietas, porque la meteorización, insinuándose por esas hendiduras, habrá alterado la roca hasta cierto espesor. Son bastantes las dificultades con que se tropieza al tratar de configurar los fragmentos de rocas. El sitio más a propósito para procurarse rocas de fractura fresca son sin duda las canteras.

La clase de rocas que deben recogerse depende principalmente del objeto que haya de llenar la colección. Si se trata de reunir la serie de rocas

completas de una comarca, deberán buscarse ejemplares de todas ellas, incluso de la parte central de los filones y de las bandas de contacto con las rocas próximas.

También suele revestir cierto interés la recolección de fragmentos de rocas que contengan alguna modalidad de los fenómenos dinámicos de la corteza terrestre, siempre que los ejemplares tengan tamaño prudencial, como serían ejemplos de pliegues, desgarros, fallas, inflexiones, aguzamientos y rellenos filonianos y otros accidentes producidos por la naturaleza en pequeña escala. Las rocas incoherentes, como tierras, arena, etc., se recogen en bolsitas de tela o en cartuchos de papel fuerte, barnizado con una sustancia impermeable al agua.

Para embalar todos los ejemplares recogidos y trasladarlos al punto de destino se emplearán cajas de madera bien resistente, en las que se colocarán las rocas, de canto y en hileras, después de envueltas en dos hojas de papel de diario, asegurándose bien de la imposibilidad de que se muevan y golpeen. Si alguna hilera no llegara de pared a pared de la caja, o ésta no quedase ocupada totalmente, se rellenarán los huecos con heno, virutas de madera, papeles o materias análogas, pero nunca con aserrín.

**236. ANALISIS DE LAS ROCAS.** Comprende la serie de operaciones ideadas para llegar a la determinación de sus componentes. Las rocas destinadas al análisis deben someterse a una cuidadosa selección, primero en el campo y luego en el laboratorio.

a) **Preparación de las rocas.** — Por de pronto, las superficies de los fragmentos destinados al análisis deben ser frescos, es decir recién cortados con el martillo y cincel, y llevar una etiqueta que indique con exactitud la localidad de donde se ha tomado. Si se trata de rocas sencillas y se tiene cierta práctica, se podrá llegar a su determinación en el mismo campo, sobre todo si se dispone de una pequeña lente, de un cortaplumas de acero duro, de una barra imantada y de un frasquito con ácido clorhídrico diluido, o mejor todavía de ácido cítrico en polvo. Pero en muchos casos tendrá que procederse a una serie de operaciones en el laboratorio para llegar a reconocer la estructura íntima de la roca, su naturaleza, la proporción y calidad de sus elementos minerales, las inclusiones que encierra, etc. Los procesos ideados se designan con los nombres de mecánico, químico, microquímico y micrográfico.

b) **Análisis mecánico.** — Comprende el apartado, el tamizado y el levigado.

1. El *apartado* se reduce a pulverizar groseramente la roca y separar con unas pinzas las partes de distinta naturaleza, sirviéndose en caso necesario de una lente, para establecer de esta manera la proporción existente entre las partes térreas, vítreas, lapídeas y metálicas. Por medio de un poderoso electroimán es dado separar los minerales con hierro al estado de protóxido, como el peridoto, la augita y la hornblenda. Fundándose en la diferencia de densidad de los elementos de las rocas, se los puede separar de su polvo mediante la sedimentación en el agua en momentos sucesivos, pero si la diferencia de densidades no es muy grande, deben emplearse para aislar los minerales, líquidos densos de peso específico bien determinado.

2. El *tamizado* consiste en separar de las rocas trituradas las partes que quedan pulverizadas en distinto grado, según su naturaleza, mediante un fino tamiz de seda. Este método de análisis es aplicable a rocas en cuya composición entran substancias lapideas o vitreas, que se pulverizan fácilmente, y substancias metálicas no reductibles a polvo menudo con facilidad.

3. La *levigación* o *lavado* se practica con la roca previamente triturada en una vasija llena de agua, y consiste en agitar el líquido con una varilla y dejarlo reposar, decantando en seguida. Este procedimiento se emplea para separar substancias de densidades muy distintas, y aun cuando en geología tiene poca aplicación, se emplea, en cambio, bastante en agronomía para analizar las tierras de labor.

El lavado puede practicarse también en un plano inclinado, sobre el cual se extiende la roca pulverizada, sometiéndola a una corriente de agua, que al acarrear los elementos en proporción a su densidad los dejará depositados en forma de bandas sucesivas y paralelas. Asimismo, puede practicarse en el instrumento de vidrio ideado por Thoulet, que consiste en un tubo ancho con un tubo de menor calibre soldado en su parte lateral superior y terminado inferiormente con una llave que pueda cerrarse o abrirse a voluntad; un tubo central de menor diámetro, sujeto por un tapón de caucho soldado, lo atraviesa en toda su longitud.

c) **Análisis químico.** — El análisis químico completo y preciso de las rocas requiere material de laboratorio que no suele encontrarse en los laboratorios petrográficos, y así se deja a los analistas de profesión. En general, el geólogo se contenta en su laboratorio con el tratamiento por un ácido clorhídrico o nítrico) para reconocer si el material es una caliza, por la efervescencia que produce, y hasta su grado de pureza por el residuo que deja. Mediante la efervescencia con los ácidos se descubre también hasta dónde ha penetrado la alteración de algunas rocas, como la dolerita, cuyos silicatos cálcicos originarios han sido descompuestos por el agua de infiltración y parcialmente convertidos en carbonato cálcico.

Al método químico pertenecen los ensayos pirométricos, que suelen practicarse con fragmentos de roca de 1 a 2 milímetros de largo por 1 de ancho y lo más delgados posible, que se someten al soplete sujetos a un fino alambre de platino; cuando los principios colorantes de una substancia son carbonosos, se queman, y la roca se decolora, como sucede con las areniscas bituminosas; otras substancias, en cambio, hay que, alterándose por calcinación, adquieren color o se oscurecen, como sucede a la siderosa, que toma un tinte negruzco por su conversión total o parcial en magnetita.

d) **Ensayos microquímicos.** — Se practican sometiendo las rocas en finísimas láminas y bajo el microscopio, a la acción del ácido clorhídrico. La solubilidad de algunos minerales o el precipitado gelatinoso que dan otros son caracteres que pueden observarse fácilmente con el microscopio. El reactivo se coloca sobre la preparación con el auxilio de una pipeta capilar, con lo cual se traslada el líquido a un vidrio de reloj; por este medio pueden distinguirse ciertos minerales clorurados, de otros que no lo son.

e) **Análisis micrográfico.** — Tiene por objeto principal la determinación de las partes componentes de las rocas. Si estas partes pueden apreciarse a simple vista, las rocas se llaman *fanerómeras*; pero si estas partes no se

distinguen a simple vista, las rocas se llaman *criptómeras*, y en este último caso es preciso recurrir al empleo del microscopio.

A este fin se preparan placas finísimas de las rocas, en las cuales casi todas las partes componentes se hacen transparentes, a excepción de unas pocas de carácter metálico. En estos casos se emplean dos prismas de Nicol, uno de los cuales se coloca debajo de la platina del microscopio y el otro entre el objeto y el ojo, a fin de poder examinar y determinar las partes componentes con luz polarizada. La diferencia entre los cuerpos amorfos (pasta vítrea) y los de doble refracción se aprecia inmediatamente por su diverso comportamiento a la luz polarizada.

Varios procedimientos se siguen para obtener láminas muy delgadas de las rocas. La operación puede efectuarse a mano con polvo de esmeril o bien con máquinas especiales más o menos perfeccionadas; el espesor de la preparación petrográfica debe oscilar entre 1 y 3 centésimas de milímetro. La preparación micrográfica se fija al portaobjetos con bálsamo del Canadá y su examen micrográfico importa de ordinario dos operaciones: primero un examen previo con lupa, ya que para orientarse basta un aumento de 10 diámetros, y luego el examen microscópico con aumentos de 80 a 150 diámetros, pues sólo excepcionalmente se utilizan en la microscopia petrográfica aumentos de 800 diámetros y mucho menos de 1800 a 2000, empleados frecuentemente en histología.

Mientras con el microscopio se llega al reconocimiento de los elementos integrantes de las rocas, pueden descubrirse otros caracteres no menos importantes para la explicación de su génesis: por ejemplo, el orden de cristalización de los minerales de una determinada roca, las fases sucesivas de este fenómeno, el porqué de las inclusiones sólidas, líquidas o gaseosas de ciertos minerales; hechos eminentemente demostrativos de las condiciones y de modo como apareció la solidificación de toda la roca.

**237. REPRODUCCION SINTETICA DE LAS ROCAS.** — Para conocer el proceso probable de la formación natural de las rocas sirve su reproducción sintética en los laboratorios, pero débese distinguir entre las rocas sedimentarias y las rocas ígneas. Por esto hablaremos separadamente de las dos clases de rocas.

**a) Reproducción de rocas sedimentarias.** — En la reproducción de rocas sedimentarias no se suelen tener en cuenta las de sedimentación mecánica sino química, como ser las rocas procedentes de soluciones por procesos químicos y físicos, como la caliza, la dolomita y la anhidrita, que se precipitan en forma finamente cristalina, casi amorfa, en las soluciones acuosas, para transformarse luego, bajo presión o por calentamiento, en rocas cristalinas.

Se ha logrado una reproducción artificial de la dolomita calentando con ácido carbónico o el bicarbonato cálcico en solución acuosa de magnesio a 100°. Se ha obtenido anhidrita en una solución saturada de cloruro de sodio o de cloruro de potasio al unirlos por difusión con otra solución de cloruro de calcio y sulfato de magnesio. Es que las soluciones salíferas favorecen la secreción de composiciones más pobres en agua. De esta manera una solución de cloruro de sodio puede quitar toda el agua al yeso, transformándolo en anhidrita, mientras que, por otra parte, una solución de cloruro de sodio en contacto con otra de sulfato de calcio puede secretarse directamente como anhidrita.

b) **Reproducción de rocas ígneas.** — Fué iniciada por Jaime Hall a fines del siglo XVIII y llevada a gran perfección a partir del año 1878 por los franceses Fouqué y Lévy. Estos autores se sirvieron para semejantes síntesis de cápsulas de platino que sometían a temperaturas elevadísimas, aunque sin llegar a la fusión de este metal, y los materiales empleados fueron sílice y alúmina, obtenidas por precipitación, y carbonatos de potasio, sodio, calcio, magnesio, etc. Otras veces partían de minerales pulverizados. La reproducción sintética de cualquier roca ígnea implica: la de los minerales constituyentes, su compenetración y las diversas estructuras petrográficas características.

Con el empleo de procedimientos sintéticos artificiales se ha llegado a obtener, no sólo dos tipos definidos de consolidación, con cristales de dimensiones muy diferentes formados en dos fases, sino muchos más, según se observa en algunas rocas naturales, como en las ofitas, en que el elemento feldespático se halla con frecuencia englobado por grandes placas de piroxeno. Todas las observaciones sintéticas hasta ahora practicadas demuestran que en el orden de consolidación de los minerales de una roca existe una relación inversa de fusibilidad: primero cristaliza el mineral más refractario y luego los minerales que se mantienen fundidos a temperaturas más y más bajas.

**238. GRANITO.** — El granito (del latín *granum*, grano) es una roca compuesta esencialmente de cuarzo, feldespato y mica, que con frecuencia encierra otros minerales accesorios, como topacio, turmalina, apatito, magnetita, oligisto y pirita. La mica de los granitos es, por lo común, biotita o mica negra, pero en ocasiones se presenta juntamente con ésta la *muscovita* o mica blanca, y la roca se denomina entonces granito de dos micas.

a) **Propiedades.** — En el granito se presentan bajo formas cristalizadas la ortosa y la mica; en cambio, el cuarzo rellena los huecos dejados por los otros dos elementos. El color del granito depende del que tenga la ortosa, que es el mineral predominante; y así hay granitos blancos, pardo-amarillentos, azulados, verdes y rojos. Según el tamaño de sus granos, puede ser esta roca finamente granuda, de grano medio o de estructura basta. A veces son tan grandes los elementos cristalinos del granito, que se ha dado el caso de ocupar toda una cantera un solo cristal de ortosa. La gran dureza del granito proviene de su estructura granudo-cristalina y de la fuerte trabazón de sus granos.



Fig. 238. — Sección microscópica de un granito.

b) **Varietades.** — Entre las muchas variedades del granito cabe señalar:

1.º *Granito pegmatítico*, con escasa mica y elementos de grandes dimensiones; 2.º *granito gráfico*, cuando el cuarzo ha penetrado con cierta regularidad en los cristales de ortosa, hasta el punto de que en las uniones de éstos los fragmentos de cuarzo recuerdan, por su figura y disposición, la es-

critura hebraica; 3.º *granito gneísico*, si los tres elementos, en lugar de estar uniformemente repartidos, han tendido ligeramente a orientarse en capas o estratificaciones (fig. 238).

c) **Yacimientos.** — Suele hallarse como base sobre la que se apoyan las demás rocas o terrenos, pero también atravesando terrenos relativamente modernos. Con todo, las masas graníticas no llegaron en su erupción a rebasar la superficie del suelo; y si hoy hallamos esta roca al descubierto en dilatadas áreas, formando cordilleras y grandes macizos, se debe a la desaparición de las capas superiores.

d) **Aplicaciones.** — Desde los tiempos antiguos el granito ha sido empleado como piedra de construcción por su dureza, su fraccionamiento natural y por su resistencia a la acción de la intemperie. De granito son las agujas u obeliscos de Cleopatra, de más de 20 metros de altura, uno de los cuales se llevó a Londres y el otro a Nueva York; el obelisco de Luxor (Egipto), de 24 metros, se encuentra en París; todos los cuales son bloques de una sola pieza. Modernamente se utiliza también el granito en grandes bloques para columnas y edificaciones monolíticas conmemorativas. Asimismo, tallado en sillares, se emplea para zócalos y basamentos de las construcciones urbanas, en puentes y en otras obras públicas, para el adoquinado de las calles y caminos, etc. El granito alterado, pero no completamente desposeído de caolin y feldespato, constituye un abono muy conveniente para determinados suelos.

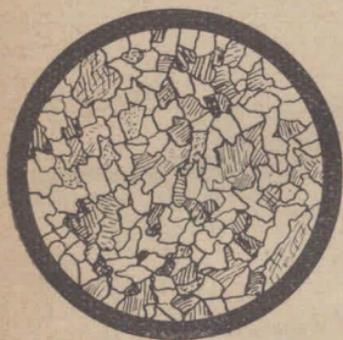


Fig. 239. — Sección microscópica de una diorita.

e) **Temas de observación.** 1. Obsérvense en los edificios, monumentos y adoquines lavados por la lluvia, y en las colecciones de los museos, las coloraciones, naturaleza mineralógica y grosor de la estructura del granito. - 2. Apremiar en el granito alterado su blandura e incoherencia, y recoger material para observar con la lupa el estado de la ortosa, el de la mica y la inalterabilidad de los granos de cuarzo. - 3. Comparar el basalto con el granito y mirar con una lupa si hay rellenos amigdaloides y cristales de olivino.

**239. DIORITA.** — Es una roca compuesta principalmente de feldespato, plagioclasa y hornblenda, y con frecuencia lleva mica y cuarzo.

a) **Varietades.** — La diorita se divide en dos grandes grupos, según que lleven o no cuarzo. 1. *Diorita cuarcífera*: es una roca cuarcífera muy parecida al granito anfibólico, del que se distingue, sin embargo, por la falta de grandes fenocristales de ortosa; suele ser de color verde oscuro por la abundancia de hornblenda en placas irregulares; el feldespato se halla en forma de cristales alargados y el cuarzo rellena los intersticios dejados por los otros minerales. - 2. *Diorita verdadera no cuarcífera*: lleva casi siempre como elementos accidentales piritita, apatito y magnetita. El elemento oscuro puede ser la dialaga (fig. 239).

Atendiendo al elemento ferromagnésico, las dioritas se dividen en *micáceas*, que forman las *kersantitas*; *anfíbólicas*, que forman las dioritas orbiculares o *corsita*; *piroxénicas*, que forman las *epidoritas*, en las que el piroxeno pasa a anfíbol.

b) **Yacimiento.** — Las dioritas se hallan vinculadas al granito y sienita como rocas de transición, de suerte que a menudo se ofrecen como una facies local de aquéllas. La diorita se observa, además, en forma de filones de grande espesor. Abunda en el Tirol (Alemania) y en Rusia. Las dioritas piroxénicas forman el zócalo sobre el que descansan los volcanes de las islas Canarias.

**240. MELAFIRO.** — Es una roca eruptiva, llamada también *basaltita* y *pórfido negro*.

a) **Composición y caracteres.** — Los componentes del meláfiro no alterado, que con frecuencia sólo pueden reconocerse con el microscopio, son: plagioclasa y augita, esta última descompuesta en clorita. Frecuentemente se encuentra también en los meláfiros olivino (a veces transformado en serpentina o en limonita), magnetita, apatito y una materia vítrea, que es la que principalmente distingue los meláfiros de las diabasas. Como componentes accesorios pueden hallarse también en los meláfiros la mica, el cuarzo y la enstatita. Los núcleos, a veces muy grandes, del meláfiro amigdalino, son de ágata, amatista y en algunos casos también de calcita, clorita y raras veces de zeolita.

El meláfiro se descompone fácilmente por acción del aire, dando lugar a la formación de limonita y de carbonato cálcico. Merced a esta descomposición pierde el color negro que tiene cuando no está alterado, tomándolo rojizo o pardo, y adquiere la propiedad de dar efervescencia con los ácidos; adelantando más la descomposición, se convierte en una tierra parda.

b) **Yacimiento.** — El meláfiro se encuentra formando capas o estratos y aun mantos de grandes dimensiones, especialmente en el precámbrico y en el antracólítico. Son notables los meláfiros amigdaloides precámbricos de Norteamérica en la región del Lago Superior, por la presencia en ellos de plata y cobre nativo.

**241. BASALTO.** — Es una roca que consta esencialmente de plagioclasa, augita, olivino y magnetita, en estructura tan compacta a veces que, a primera vista, parece una roca simple.

a) **Propiedades.** — La íntima trabazón de los elementos del basalto determina una dureza tan extraordinaria que la hace desprender chispas al ser golpeada con el eslabón. Además, como contiene gran proporción de hierro, posee un peso específico (cerca de 3) superior al de las demás rocas eruptivas. Precisamente por esta gran proporción de hierro, la aguja imanada, pasada por el polvo de Basalto, se cubre de partículas férreas, y la misma roca suele tener acción sobre la aguja imanada (figs. 240 y 241).

El color del basalto es gris oscuro, casi negro, y si abunda en ella el olivino, el color es verde muy apagado. Los gases y vapores del magma fundido dejan a veces en esta roca oquedades, en las que luego penetran las

aguas mineralizantes y depositan cristales de los cuerpos que llevan disueltos. Estos rellenos suelen estar constituidos por cuarzo, ágata, aragonito y varios silicatos, y como tienen forma de almendra, se llaman *amigdaloides*, y la roca que los posee *amigdaloides*.

b) **Yacimiento.** — El basalto no se encuentra, como el granito, formando montañas o grandes macizos subterráneos, sino tan sólo cerros redondeados, cimas cónicas de paredes abruptas, venas, mantos y corrientes.

Se presenta dividido en prismas gigantescos, de contorno generalmente exagonal, unas veces horizontales, otras perfectamente verticales y en ocasiones con disposición radiada. La dirección de los prismas es siempre normal a la superficie de enfriamiento y desecación del dique o de la cúpula o cerro. Este fenómeno del cuarteamiento prismático se observa en otros muchos materiales, como en el barro de una charca desecada, en la arcilla de un ladrillar, en la pintura consolidada en el fondo de un bote; en estos casos los materiales se cuarteán, es decir se dividen en un sistema de grietas entrecruzadas en porciones de contorno poligonal y algo regular y constante.

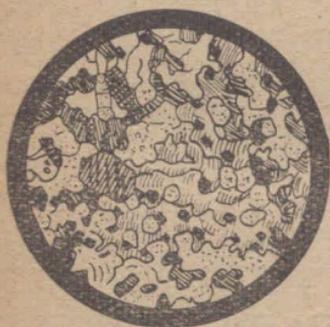


Fig. 240. — Sección microscópica de un basalto leuítico.

c) **Aplicaciones.** — Se emplea para toda clase de construcciones en los países donde abunda esta roca. Su fractura natural facilita la preparación de adoquines; pero el pavimento formado por ellos resulta excesivamente liso y resbaladizo, y además bastante jiboso cuando, al cabo de algún tiempo, se redondean los bordes de las piezas. En cambio, el basalto resulta un excelente material de acopio o pedregullo para preparar el firme de los caminos y para las losas de cemento armado, porque a su mucha duración une la gran ventaja de producir poquísimo polvo. Por su fácil fusión sirve también el basalto como fundente en algunas industrias metalúrgicas.



Fig. 241. — Sección microscópica de un basalto augítico.

242. **ARENA.** — Con el nombre de *arena* se comprende el conjunto de partículas, por lo general de tamaño menor que el de un guisante, procedentes de las rocas descompuestas y disgregadas por acción de la lluvia y de los demás meteoros. Según el tamaño de sus granos, las arenas reciben diversas denominaciones, tales como: arena gruesa, arena mediana, arena fina y arena muy fina; según su procedencia se dividen las arenas en: arena de río, de mar, de mina o de hoyo, etc. Los granos unas veces son redondeados y otras veces angulosos. Pueden producir partículas de arena los más variados minerales y hasta los corales y conchillas al romperse. Según la naturaleza de sus elementos, las arenas resisten la acción disolvente de los agentes atmosféricos o cambian gradualmente su

constitución bajo la influencia de aquéllos. Las arenas que se mantienen invariables son las de cuarzo.

a) **Variedades.** — Según su constitución, las arenas se dividen en cuarzosas, calizas, ferruginosas y volcánicas.

1. Las *arenas cuarzosas* suelen contener de 8 a 20 por ciento de detritus de otros minerales, como feldespato, mica y caliza. A menudo estas arenas son ferruginosas, lo cual se conoce porque entonces los granos se presentan recubiertos de una capa de óxido férrico. Las arenas cuarzosas tienen a menudo mezcladas piedras preciosas, como diamante, rubí, granate o jacinto, y metales, como oro, platino y estaño.

2. Las *arenas calizas* se componen de granitos sueltos de materia calcárea, y se presentan comúnmente bajo la forma de arenas movedizas, de origen a veces coralino. Estas arenas se encuentran a menudo mezcladas con restos de animales muy desmenuzados, como conchitas y huesos.

3. Las *arenas ferruginosas* son aquellas en cuya composición predomina el hierro magnético, mezclado con augita, granate, zircón, rubí y cuarzo y a veces también con platino y oro. Son generalmente producto de la disolución de la ganga térrea de otros minerales ricos en magnetita, que se depositan en tenues capas en el fondo de los arroyos y de los rios o en los terrenos cristalinos o volcánicos.

4. Las *arenas volcánicas* se encuentran con frecuencia en gruesas capas sedimentarias de las cercanías de los volcanes, y se componen de pedacitos de lava o también muchas veces de cristales enteros o fragmentos de ellos procedentes de minerales cristalizados de la lava, como augita, leucita, sanidino, granate, etc. Los granos más gruesos correspondientes a la arena de guija son los *lapilli*, y los más finos, semejantes por su tenuidad y ligereza al polvo, constituyen lo que se llama *ceniza volcánica*.

b) **Yacimiento.** — Las arenas se presentan con más frecuencia en los terrenos de formación reciente. Con todo, se encuentran también a veces formando gruesas capas en terrenos antiguos, como el cretáceo y hasta el silúrico. Algunas arenas, como la de las playas de la Prusia Oriental, emiten al pisarlas un sonido agudo particular, sobre todo cuando al bajar la marea queda la playa al descubierto y se ha secado rápidamente, merced a la acción del sol y del viento. El mismo fenómeno se observa en el desierto y en las montañas parlantes del Mar Rojo y del Sinai; es que las arenas son allí exclusivamente silíceas o calizas, y cuando están bien secas y las agita el viento o se remueven a propósito con la mano o con el pie, emiten al rozar unas con otras un sonido grave, a manera de murmullo, que dura un minuto y a veces más, semejante al ruido producido por una dinamo en marcha, y muy distinto, por consiguiente, del que hacen las arenas de las playas.

c) **Aplicaciones.** — La arena cuarzosa pura, sin mezcla de hierro, sirve para la fabricación del vidrio, y otras variedades para el moldeo en las fundiciones y diversos usos industriales. Bien conocida es también de todos la aplicación que de ella se hace en los ferrocarriles y tranvías para aumentar la adherencia de las ruedas a los rieles, impidiendo que patinen. Pero la aplicación más importante y antigua de la arena es a las construcciones en los morteros y cementos para trabar los ladrillos y materiales pétreos,

y modernamente para el hormigón o cemento armado. Las arenas que con este objeto se emplean deben ser limpias, lo cual se reconoce lavándolas, porque no deben ensuciar el agua ni formar masas al apretarlas con la mano, pero si crujir entre los dedos.

**243. ARENISCA.** — Es una roca constituida por granitos de arena reunidos mediante una materia mineral aglutinante, que puede ser de naturaleza calcárea, férrica, arcillosa o silicea. El tamaño de los granos de arena es muy variable, y así resulta que hay areniscas de estructura fina y de estructura basta.

**a) Propiedades.** — El color más frecuente de las areniscas es el amarillo o gris blanquecino, pero también pueden presentarse de color rojo, pardo, verde, con rayas y fajas de diferente coloración y algunas veces completamente blanca. Estas coloraciones son debidas a los óxidos de hierro del cemento que traba los granos de arena.

Casi todas las propiedades físicas y químicas de las areniscas, como dureza, permeabilidad al agua, resistencia a la acción de la intemperie, dependen de la substancia mineral aglutinante de los granos de arena. Las areniscas de cemento silíceo son las más duras y resistentes, por estar constituidas casi exclusivamente de silice; siguen a éstas en consistencia y solidez las areniscas arcillosas, que son las más abundantes, y finalmente las de cemento calizo, que dan efervescencia con los ácidos y así pueden ser fácilmente disgregadas.

**b) Yacimiento.** — La arenisca es una roca de sedimentación mecánica, formada por arenas, que arrastradas por los ríos a los mares interiores y a los océanos, se han ido depositando en el fondo de las aguas, en capas sucesivas de espesor o potencia variable. Los granos suelen estar más o menos redondeados, y al quedar yuxtapuestos y superpuestos en el fondo de las aguas se tocan sólo por algunos puntos y dejan entre sí huecos.

Pero en los lagos y mares hay al mismo tiempo sedimentaciones finas de materiales arcillosos, calizos, ferríferos, etc., aportados también por los ríos, y disolución de otros; o sea que, al mismo tiempo que se ajustan en el fondo los granos de arena, cae sobre ellos abundante precipitación de aquellos materiales, que penetran por los huecos existentes. Tal es el origen del cemento aglutinante de las areniscas. La trabazón resulta a fuerza de años y por las presiones ejercidas por el agua y las capas sedimentarias superpuestas.

Cuando por los movimientos de la corteza terrestre se retiran las aguas, quedan al descubierto los grandes bancos de arenisca, y con el tiempo se pliegan y levantan en montañas.

**c) Aplicaciones.** — La arenisca constituye un excelente material de construcción en toda clase de obras y de monumentos; con todo, estos últimos suelen con el tiempo deteriorarse bajo la acción de la intemperie. Las variedades duras y de grano fino se emplean como muelas de molino y piedras de afilar. Las areniscas arcillosas son impropias casi siempre para la construcción, pero en cambio suelen utilizarse como material refractario en los altos hornos.

d) **Temas de observación.** — 1. Tomar un fragmento de arenisca, examinar con la lupa la forma y naturaleza de sus granos y deducir la clase de cemento, sirviéndose de ácido clorhídrico. 2. Tomar arena fina, como la que a veces se usa para secar los escritos, mezclarla con lechada de cal o con una pasta acuosa impregnada de arcilla y dejarla secar; con esto se tendrá una arenisca artificial de aglutinante calizo o arcilloso. 3. Observar fragmentos de losas de cemento armado hechas con pórtland, arena y gravilla y se comprobará que es un conglomerado artificial.

**244. CUARCITA.** — Viene a ser una arenisca formada de granos de cuarzo, tan íntimamente incorporados dentro del cemento silíceo, que no pueden distinguirse sus cristales. Ofrece textura granujienta, fractura astillosa y lustre craso. Se emplea en la construcción de edificios y caminos, y en metalurgia para soleras de hornos y para fundente de minerales de ganga caliza o arcillosa.

**245. ARCILLA.** — Se da el nombre genérico de *arcilla* a productos naturales, complejos, constituidos principalmente por silicato de aluminio hidratado, por lo general mezclado íntimamente con sílice, óxido de hierro, óxido de manganeso, carbonatos de calcio y hierro y en mezcla menos perfecta con diminutos fragmentos de cuarzo, feldespato, mica, etc., procedentes de la descomposición meteórica de las rocas y en especial de los feldespatos.

a) **Propiedades.** — Dada la variabilidad de las sustancias constitutivas de las arcillas, es imposible poderlas caracterizar de un modo definitivo. Con todo, presentan ciertas propiedades que les son comunes, como su gran avidez por el agua cuando están secas, razón por la cual se adhieren a la lengua; el desprender olor particular característico, llamado arcilloso o de tierra mojada, cuando se les echa el aliento o se las humedece; el reblandecerse cuando están húmedas, formando una masa tenaz, modelable; el formar, cuando se les echa mucha agua, un barro blando que se pega más o menos fuertemente a los cuerpos con los cuales se ponen en contacto; el desprender agua, contraerse y agrietarse cuando se las calienta; el volverse duras, sonoras y perder la plasticidad cuando se las somete a la temperatura del rojo.

b) **Yacimiento.** — La arcilla puede encontrarse en el mismo sitio donde se ha formado o más o menos lejos de él. Cuando el producto del desdoblamiento de las rocas feldespáticas, en mezcla con restos de las mismas no descompuestos todavía, permanece en el mismo sitio de formación, recibe el nombre de *arcilla de yacimiento*, *caolín* o *tierra de porcelana*; en cambio, cuando a consecuencia de lluvias o inundaciones es arrastrada y se sedimenta en otros sitios próximos o lejanos, entonces forma los *yacimientos secundarios de arcilla*, denominados también de sedimentación, y en esta última forma es como se encuentra más extendida la arcilla en la naturaleza.

c) **Aplicaciones.** — Varían según la calidad de los cuerpos que la integran. La más pura o caolín es la primera materia para la fabricación de la porcelana; en farmacia se usa como excipiente para la preparación de píldoras con substancias que se alteran fácilmente cuando se ponen en contacto con materia orgánica, como nitrato de plata y permanganato potásico.

La llamada *arcilla esméctica* es muy usada para quitar manchas de grasa de los papeles y para desengrasar paños, y una variedad de esta arcilla, llamada *tierra de vino*, sirve para clarificar los vinos y otros líquidos alcohólicos.

La *arcilla plástica* da muy buen resultado en la fabricación de tejas, ladrillos, baldosas y de toda clase de cacharrería; los escultores la emplean para modelar, y desempeña un papel importantísimo en agricultura, por cuanto constituye las capas impermeables por donde corren los ríos, y mezclada con otras tierras les comunica tenacidad e impermeabilidad.

**246. CALIZAS NO FOSILIFERAS.** — *Caliza* es el carbonato de calcio cuando se presenta en masas suficientemente importantes para comprenderla entre las rocas. Sus variedades son muchas, unas fosilíferas y otras no; entre estas últimas cabe señalar las tobas calizas, la caliza sacaroidea, la caliza compacta y la marga.

a) **Tobas calizas.** — Son depósitos terrosos compactos, ordinariamente porosos y de estructura celular, que se presentan donde hay aguas cargadas de carbonato cálcico. Siempre que las aguas procedentes de infiltraciones y cargadas de carbonato cálcico, disueltas en forma de bicarbonato, llegan a salir al exterior, pierden anhídrido carbónico y dejan carbonato de calcio neutro, insoluble, en forma de un depósito liviano y cavernoso de consistencia térrea, habitualmente alrededor de algas, musgos y plantas diversas, que sirven de núcleo o centros de concentración al multiplicar las superficies de evaporación de las aguas.

Las tobas calizas, cuando son del todo puras, se presentan blancas, más o menos cristalinas o mates, y de estructura compacta, terrosa o granujenta. Una de las variedades más conocidas es el *travertino*, que es una toba caliza dispuesta en forma de estratos en el interior de los terrenos por donde circulan aguas incrustantes. Otra variedad es el *alabastro oriental*, que viene a ser caliza estalactítica o estalagmítica, de color blanco o amarillento, traslúcida en su masa. Entre las tobas suelen comprenderse también las *oolitas* y *pisolitas*, cuando el carbonato cálcico de las aguas, en vez de depositarse por filtración, se agrupa alrededor de una burbuja de aire, de algún grano de arena o de un cuerpo orgánico; en los puntos en que las aguas están agitadas se forma primero un núcleo que va engrosando por capas y da origen a las oolitas si los granos son muy pequeños (como huevos de pescado), y a las pisolitas, si son de bastante tamaño (como el de guisantes), en forma de capas concéntricas; la aglutinación de pisolitas y oolitas constituye calizas que se distinguen con los nombres de *caliza pisolítica* y *caliza oolítica*. Virlet d'Aoust en 1857 aseguró ante la Sociedad Geológica de Francia haber presenciado en el lago Texcoco (México) la formación de carbonato cálcico alrededor de cada uno de los huevos que en número prodigioso depositan en el fondo de las aguas ciertos insectos hemípteros (*Corixa femorata* y *Notonecta unifasciata*).

b) **Caliza sacaroidea.** — Se llama así la caliza con estructura granudo-cristalina, por estar formada por la aglomeración de partículas cristalinas, generalmente de color blanco y con brillo vítreo muy marcado, hasta parecerse en su configuración al azúcar de pilón. Con todo, a veces va mezclada con otras substancias, siendo entonces más o menos coloreada. Este

es el mármol por excelencia. En la antigüedad el mármol más notable era el de Paros (Grecia), y de ese mármol están hechas varias de las estatuas de Venus de la Grecia pagana. En la actualidad el mármol más apreciado es el de Carrara (Italia), cuyas canteras se están explotando desde hace más de 2.000 años.

c) **Caliza compacta.** — Es la caliza formada por una pasta fina, de fractura astillosa y a veces algo concoidea, mate o algo brillante, de color variable, según sea la substancia que la impurifica. Esta clase de caliza da los *mármoles comunes*, muy usados en la ornamentación por el hermoso pulimento de que son susceptibles y por las diversas coloraciones con que se presentan. Una variedad de caliza compacta es la *pedra litográfica*, de grano muy fino, fractura concoidea y de color blanco-amarillento o grisáceo, que se presenta en planchas gruesas de fácil pulimento, muy aptas para la litografía. El país clásico de la piedra litográfica es Baviera (Alemania). Al mismo grupo de calizas compactas pueden agregarse las *calizas comunes o de construcción*, que por tener el grano fino y apretado se emplean en las edificaciones; su color suele ser gris o blanco-amarillento.

d) **Marga.** — Es la caliza con una cantidad de arcilla superior al 20 por ciento. Cuando la proporción de arcilla oscila entre 60 y 70 por ciento, las margas se llaman *cales hidráulicas*, por la propiedad que poseen de endurecerse más o menos rápidamente dentro del agua, según la proporción de arcilla.

**247. CALIZAS FOSILIFERAS.** — Son las constituidas por restos fósiles unidos entre sí con cemento de naturaleza caliza. Las principales son: la creta, caliza nummulítica, lumaquelas y calizas coralígenas.

a) **Creta.** — Es una variedad terrosa de caliza, de color blanco grisáceo o amarillento, constituida por partículas discoidales o esferoidales de carbonato cálcico, llamadas *coccolitos*, de origen orgánico dudoso, y por caparazones de foraminíferos, restos de briozoos, de moluscos y crustáceos. Como variedades de creta se consideran: la *creta glauconítica* o *creta tuff*, liviana, formada casi exclusivamente por restos de coral, de briozoos y de foraminíferos finamente pulverizados; la *creta lacustre*, liviana, blanda, que en yacimientos poderosos se encuentra a veces en el fondo de algunos lagos, como por ejemplo en Suiza; la *creta marina*, que forma el depósito fangoso de las profundidades de los mares.

En el comercio suele expendirse levigada, con los nombres de *creta preparada* y de *blanco de España*. Para efectuar la levigación se tritura primero en apatatos a propósito, luego se deslie en agua y, después de permanecer la mezcla algún tiempo en reposo, se decanta el líquido lechoso que lleva las partículas finas, separándolas así del sedimento formado por los trozos gruesos y pesados. Los líquidos que llevan las partes finas se dejan en reposo y con el sedimento que se obtiene, una vez desecado hasta cierta consistencia, se forman planchas, barras, cilindros, etc., según el uso a que se destinan.

La creta preparada sirve para pintura a la aguada, como fondo para el dorado, para limpiar y pulimentar metales, para la obtención de anhídrido carbónico, para neutralizar ácidos, y en tintorería como espesante de varias

substancias colorantes, para quitar manchas, etc. La creta preparada, cortada en barras cilíndricas, cónicas o rectangulares se emplea para escribir en los encerados con el nombre de *tiza* o *clarión*.

b) **Caliza nummulítica.** — Son agregados de caparazones calizas de foraminíferos pertenecientes a la familia de los nummulíticos, unidos por un cemento también calizo. Los nummulites presentan unas veces forma lenticular y otras casi esférica, cuyo diámetro oscila entre 2 y 60 milímetros: la superficie es generalmente lisa, pero a veces se presenta adornada con líneas onduladas. Los nummulites fueron los primeros foraminíferos que llamaron la atención por su tamaño y abundancia. Estrabón y Herodoto, en la antigüedad, señalaron ya su existencia, y durante la Edad Media se los dibujó y describió diferentes veces, con los nombres de *pedras lenticulares* y *pedras nummulares*, que quiere decir "formadas de monedas", pero sin entender su procedencia. La primera buena descripción de los nummulites se debe a Archiac y Haime en 1853. Las calizas nummulíticas sirven para la construcción y aun para la decoración como mármoles, pues en ocasiones admiten buen pulimento. A veces estas calizas constituyen espejores de centenares de metros.

c) **Lumaquelas.** — Las *lumaquelas*, del italiano *lumachelle*, que quiere decir caracolillo, son los mármoles conchíferos, esto es constituidos principalmente por caparazones de moluscos fósiles. Estos mármoles, por los dibujos que a veces presentan una vez pulimentados, son altamente decorativos.

d) **Calizas coralígenas.** — Son formaciones calizas debidas a los animales llamados corales. El esqueleto de estos seres marinos está formado de caliza tomada de la misma agua del mar, donde se encuentra al estado de bicarbonato. Al cesar de vivir las zonas más inferiores de la colonia, la substancia que compone el esqueleto se va acumulando, hasta dar origen a amontonamientos de restos calizos, cuyos espacios son luego rellenos con pequeños fragmentos de coral, que el oleaje arranca de las zonas superiores. Finalmente, todas estas diferentes partes se unen en una masa maciza por la cementación de las mismas aguas, hasta formar los grandes bloques compactos, conocidos con el nombre de caliza coralígena.

248. **LOES.** — Se da este nombre a una especie de tierra muy calcárea, de color gris claro, pardusco o amarillento, depositada al final del periodo diluvial y caracterizada por su gran porosidad y por la presencia de finos canículos, semejantes a raicillas ramificadas y revestidas de una delgada película de carbonato cálcico.

a) **Propiedades.** — El loes, a consecuencia de su estructura capilar, absorbe las aguas de lluvia, y esto hace que en su seno no se formen manantiales, a no ser en el límite inferior, donde haya rocas impermeables. El loes carece, por lo general, de estratificación y tiene gran tendencia a agrietarse y formar acantilados. Es, además, de estructura terrosa muy deleznable, y en él se encuentran siempre granos de cuarzo sumamente diminutos, que constituyen a veces hasta el 50 por ciento de su masa, y además partículas de mica, feldespato, caolín, oligisto, magnetita, etc. A trechos y superficialmente, el loes, por disolución del carbonato cálcico en las aguas pluviales, adquiere el aspecto arcilloso.

b) **Yacimiento.** — El loes se encuentra en las anchas cuencas de algunos ríos, en las vertientes poco inclinadas de determinadas montañas y en las mesetas planas. En Alemania forma capas de 10 a 15 metros, en las cuencas del Rin y del Danubio; en la Argentina ocupa grandes extensiones de la pampa; pero donde alcanza su máximo desarrollo es en el interior de Asia, en la Mogolia y el Tibet y, sobre todo, en China, con espesores de hasta 500 metros: es la llamada por los chinos *tierra amarilla*, que da nombre al Río Amarillo y al Mar Amarillo.

c) **Su origen.** — No todos los autores explican de la misma manera la formación del loes. Según Richthofen se trata de una formación eólica: los vientos intensos habrían llevado a regiones continentales esteparias, desprovistas de desagüe, los productos de descomposición de las rocas circundantes. El polvo, al caer sobre una comarca cubierta de vegetación, habría sido retenido por ésta, contribuyendo, andando el tiempo, a la elevación del suelo.

Frente a esta teoría de la formación eólica existe la de su formación aluvial y glacial, que lo supone formado por la acción de los ríos o de las aguas en fusión de los glaciares, o de ambas cosas a la vez. Esta divergencia de pareceres puede ser debida a haberse confundido el verdadero loes con otras formaciones análogas a él, pero debidas a la acción de las inundaciones y a la acción de los vientos.

d) **El loes argentino.** — Es la formación característica de la zona oriental, es decir fuera de los conos de deyección al pie de las montañas.

Pero, según Stappenbeck, al lado del loes de origen eólico, con estructura típica porosa producida por restos de plantas, no falta loes de origen acuático, como lo dan a entender su estratificación y las capas de arena o ripio. Rasgos característicos del loes argentino es la presencia de cenizas volcánicas y de tosca. La tosca, además de carbonato cálcico, contiene cierto porcentaje de sílice, en forma de agujas finas, cuyo origen ha de buscarse en el material volcánico. Stappenbeck explica los extensos bancos de tosca como producto de evaporación de aguas que ascendieron a raíz de procesos capilares y dejaron esas costras al evaporarse. En cambio, Bade los supone procedentes de las aguas infiltradas en el loes desde la superficie, que precipitaron una parte de su carbonato cálcico (fig. 242).

En su conjunto la masa del loes argentino es considerada como producto de diferentes factores; como producto de la descomposición de rocas ígneas y sedimentarias, como residuo de cenizas volcánicas y como producto de lodo fluvial, lacustre o glacial; pero, si bien los depósitos glaciares contribuyeron a la formación del loes, no se advierten correlaciones entre el loes argentino y el fenómeno de la glaciación del pleistoceno.

249. **GNEIS.** — Es una roca constituida por los mismos minerales que el granito, esto es: cuarzo, feldespato y mica; pero así como en esta roca dichos elementos se hallan en completo desorden, en el gneis se presentan

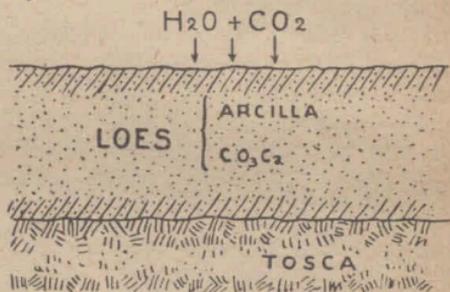


Fig. 242. — Corte esquemático de un terreno con tosca, según Cury.

dispuestos en capas. Como elementos accesorios el gneis contiene turmalina, granate, hornblenda y, a veces, potentes filones metalíferos.

a) **Propiedades.** — La estructura estratificada da al gneis cierta pizarrosidad. Generalmente predomina en él el feldespato, por lo cual tiene esta roca color rojizo o gris claro, y como también abunda el cuarzo, es material pétreo bastante duro (fig. 243).

b) **Yacimiento.** — El gneis es una de las rocas más profundas que conocemos de la corteza terrestre, si bien no puede asegurarse que fuese de las primeras. Por tanto, constituye la base y armazón de los grandes sistemas montañosos.

c) **Aplicaciones.** — Si el gneis presenta fácil esquistosidad se emplea para embaldosar patios y aceras, cubrir techumbres y hasta, en algunos países, para revestir la parte externa de las casas, que presentan así un brillo particular, debido a la cristalinidad de la roca. Cuando el gneis tiene bastante cuarzo y, por consiguiente, suficiente adherencia y dureza, sirve, como el granito, para todos los usos de la construcción.

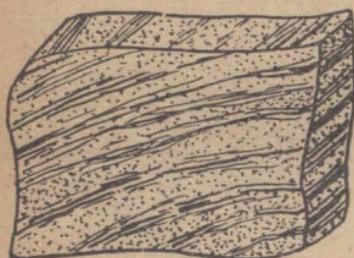


Fig. 243. — Fragmento de gneis.

transformación más o menos profunda. Los esquistos cristalinos son muchos, pero los tipos principales que pueden considerarse son las micacitas, las anfibolitas y las cloritocitas.

a) **Micacitas.** — Son esquistos compuestos de cuarzo y mica, con frecuentes asociaciones de ortosa, turmalina y granate. Estas rocas representan el primer término después del gneis, según lo demuestran los frecuentes tránsitos que entre ellas se establecen. En la micacita, común el cuarzo y la mica aparecen distribuidos con uniformidad; en la cuarzosa-feldespática, las dos especies alternan con la mica; lo mismo sucede con la turmalinífera y granatífera. Las micacitas se encuentran preferentemente en los terrenos paleozoicos, pero no es raro verlas en el jurásico y aun en algunos volcanes antiguos.

b) **Anfibolitas.** — Son esquistos compuestos generalmente de anfíbol verde o negro y cuarzo, con algo de feldespato a veces. La coloración oscura de estas rocas, junto con el peso notable que alcanzan, distinguen fácilmente esta especie de todas las del grupo. Se presentan en grandes masas lenticulares entre las pizarras metamorfoseadas,

## 250. ESQUISTOS CRISTALINOS. —

Son rocas que derivan, bien de rocas magmáticas, bien de sedimentos, que han estado sujetos, a cierta profundidad de la corteza terrestre, a la acción del metamorfismo. Los factores principales de este metamorfismo son una temperatura elevada y presión fuerte, combinadas con una acción de tiempo muy larga, lo que produce una disolución lenta y recristalización gradual de los componentes minerales, es decir una

c) **Cloritocitas.** — Son esquistos formados de clorita y cuarzo, como elementos esenciales, y además de granates, hierro y otras substancias, como accesorios. La presencia de la cloritocita a esta roca le da un tinte verdoso. Esta pizarra es frecuente en los terrenos silúrico y devónico, llegando en algunos puntos hasta los terrenos secundarios.

**251. PIZARRAS ARCILLOSAS.** — Son rocas de contextura pizarrosa, constituidas de partículas finísimas de arcilla, diminutas hojuelas de mica, cuarzo extraordinariamente pulverizado y trocitos de feldespato.

a) **Propiedades.** — Esta roca se caracteriza por su color gris oscuro o casi negro, debido a la interposición de materias carbonosas, que desaparecen cuando la pizarra se calienta fuertemente, pues entonces se destruye la materia orgánica carbonizada. La pizarra arcillosa se distingue por la propiedad de dividirse en hojas paralelas entre sí, de superficies bastante lisas y algo brillante; este fenómeno se llama *pizarrosidad*, si bien es propio también de otras rocas.

Aun cuando la dureza de la pizarra no es muy grande, sin embargo es lo suficiente para poder trabajarla y separar, en sentido de su hojiosidad con cinceles o cuchillos o bien con el martillo, hojas de gran extensión y láminas de dos o tres milímetros de espesor. Debido a su fuerte exfoliación, en los sitios donde la pizarra ha sido cortada transversalmente, como en los túneles, desmontes, barrancos, etc., la pared natural produce el efecto de madera vieja, astillosa y aserrada normalmente a la dirección de las fibras.

b) **Yacimiento.** — La pizarra arcillosa es una roca originada por la sedimentación mecánica en la siguiente forma: los productos de la descomposición de las rocas feldespáticas fueron arrastrados por los vientos y las aguas hacia los niveles inferiores; los cantos gruesos quedaron en las partes altas de los torrentes, al perder el agua su fuerza de arrastre; los guijarros y la grava se depositaron después en el cauce de los ríos, y las finísimas partículas arcillosas, los granitos de cuarzo y las escamitas de mica llegaron en suspensión a los grandes depósitos de agua, o sea a los lagos y mares, y en éstos fué donde se efectuó lentamente, durante millones de años, la sedimentación de aquel limo casi impalpable.

De esta suerte se constituyeron, a expensas de las rocas macizas, las rocas sedimentarias o estratificadas de origen ácuco, entre las que descuellan las pizarras arcillosas, propias de los lagos interiores y de las zonas laterales de los grandes mares. Luego, bajo la presión del agua y de los materiales suprayacentes, las capas de pizarra arcillosa fueron comprimiéndose y adquiriendo solidez, hasta que más adelante, por efecto de fortísimos empujes y movimientos de la corteza terrestre, quedaron al descubierto más o menos plegados y con la pizarrosidad característica. Los planos de pizarrosidad son unas veces paralelos a los planos de las capas, pero otras los cortan oblicuamente, y en este caso hay tal laberinto de junturas que se hace difícilísimo en el campo averiguar la dirección de las capas sedimentarias.

c) **Aplicaciones.** — Con la pizarra arcillosa poco dura y de tono gris oscuro uniforme se fabrican los tableros de escribir o *pizarras*, que sujetas con un marquito de madera usan los escolares. De los fragmentos más blandos y fáciles de cortar en prismas y luego de redondear en cilindros,

se hacen los *pizarrines* para escribir y dibujar en las pizarras. La variedad de hojas finas, lisas y sonoras, que no absorben el agua, constituye un excelente material para cubrir los edificios. Las techumbres formadas con estas pizarras son livianas y de muchísima duración. Con todo, modernamente, en vez de pizarra se usa, sobre todo para galpones, chapas artificiales a base de cemento, que se conocen con distintos nombres, por ejemplo, de *uralita*.

d) **Temas de observación.** — 1. Examinar una pizarra de las corrientemente usadas para escribir y comprobar su dureza y textura. 2. Con un cortaplumas tratar de partir un fragmento de pizarra en hojas más finas.

## CAPÍTULO XX

# CUESTIONES GENERALES DE GEOLOGIA

SUMARIO: 252. Desenvolvimiento histórico de la geología. — 253. Resultados teóricos de las síntesis petrográficas. — 254. Explicación del fenómeno paleotermal. — 255. Causas de los fríos de la era cuaternaria. — 256. Métodos ideados para evaluar la duración de las eras geológicas. — 257. Porvenir de la tierra según la geología. — 258. Término extremo a que puede llegar el planeta.

**252. DESENVOLVIMIENTO HISTORICO DE LA GEOLOGIA.** — La historia de la geología no se remonta a muy lejanos tiempos, pues todo lo que tanto nos ha legado la antigüedad clásica de los griegos y romanos se reduce a someras observaciones más o menos geológicas, aisladas.

a) **Camino por donde se llegó a la fundación de la geología.** — La ciencia geológica se ha formado hasta nuestros días por dos vías muy distintas. Por una parte la curiosidad por comprender el mundo hizo establecer hipótesis generales sobre la formación del universo, sobre el lugar de la tierra en el espacio, sobre su fluidez primitiva, sobre su movimiento y estructura. Por otra parte contribuyeron observaciones más modestas y localizadas, provenientes a veces de necesidades prácticas, sobre la presencia de los metales en los filones, sobre el modo de distribución de los minerales útiles, sobre los movimientos de las aguas en la superficie, su fuerza erosiva y su acción de transporte, sobre el lugar de los manantiales, la existencia de caparazones de animales marinos en el interior de las tierras, los terrenos encontrados al construir pozos de agua, las canteras de piedra, las erupciones volcánicas, los terremotos y las fuentes termales. Todas estas observaciones prácticas, acumuladas en un principio por un largo empirismo, fueron después poco a poco coordinadas por la geología.

El hombre empezó por imaginarse que la tierra, tal como la veía, había sido siempre la misma, desde que Dios la criara; que el sitio de los mares, continentes y de las montañas había quedado inmutable, siéndole necesario un gran esfuerzo para despojarse de esta concepción primitiva.

Otro modo de investigación fueron los trabajos de los mineros o las apreciaciones de algunos observadores sobre los depósitos de aluviones y

sobre los terrenos fosilíferos. En la historia antigua se manifiesta la suposición, más o menos exacta, de un calor interno y se hacen destilar los metales a través de las hendiduras del suelo. En lo que concierne al estudio de los sedimentos se admitió que la tierra podía proceder del mar y que podía ser producida por el trabajo de los ríos.

Entrado el siglo XVIII, Hooker defendió en 1726 la naturaleza orgánica de los fósiles, la extinción de las especies, la temperatura tropical de que antes debió disfrutar el globo, los efectos de la acción volcánica, los levantamientos y hundimientos de la tierra. En 1735 Swedonborg presentó numerosas hipótesis y hechos sobre la teoría nebulosa del sistema solar, la fluidez primitiva del planeta, la sucesión de los diversos grupos de animales y plantas. En 1752 Guettard construyó las primeras cartas geológicas conocidas y señaló observaciones muy exactas sobre los volcanes apagados de América.

**b) La geología científica.** — Como fundador de la geología científica se señala comúnmente a Werner, por haber sido el primero en proponer un sistema completo y bien elaborado. Dividió las formaciones todas en neptónicas y volcánicas, atribuyendo a las primeras la parte esencial de la corteza terrestre y a las segundas un papel secundario. El sistema de Werner consideraba al agua como el agente universal, y todas las rocas, desde el granito a las capas más modernas, eran para él sedimentos abandonados por las aguas. En cambio, suponía que los volcanes eran de reciente fecha y que no habían representado ningún papel en la historia antigua de la tierra. De aquí que se llamasen *neptunistas* los partidarios de Werner y que se aplicase la denominación de *vulcanistas* a los geólogos que atribuían a ciertas rocas un origen ígneo.

Los neptunistas se agruparon bajo la bandera del Dr. Hutton, defensor acérrimo de la teoría neptuniana, la cual puede resumirse en estas tres proposiciones: 1.<sup>a</sup> Las rocas más antiguas son restos de otras que existieron antes y han sido destruidas por la lenta acción de los agentes atmosféricos; estos detritus fueron arrastrados por los ríos a los océanos y allí se han estratificado y consolidado, y luego han sido levantados y fracturados por la misma fuerza. 2.<sup>a</sup> Las rocas metamórficas en su origen eran depósitos sedimentarios, análogos a los terrenos secundarios, pero que se han modificado por la acción continuada del calor, hasta tener el aspecto que hoy presentan. 3.<sup>a</sup> El granito estaba en estado de fusión ígnea cuando ha cristalizado y esta cristalización ha tenido lugar bajo presión y calor considerables.

El ingeniero Guillermo Smith fué el primero en aplicar la paleontología a la estratigrafía (1794) y fundó la cronología geológica; pero Cuvier en 1811 dió a estos estudios un carácter de precisión que hasta entonces no habían logrado. En efecto, la exacta determinación de las especies animales extinguidas permitió a los geólogos establecer la cronología de los diversos terrenos y formaciones, y reconocer su edad relativa, a pesar de todos los trastornos sufridos por la corteza terrestre. Por entonces, diversos investigadores se dedicaron a la confección de mapas geológicos de conjunto, como base precisa en que apoyar las consideraciones teóricas.

**c) Institutos geológicos.** — Vienen a representar la ciencia geológica oficializada y están destinados a ordenar y redactar los mapas geológicos del respectivo país, formar las colecciones científicas de los estudios geográficos y la ejecución de perforaciones para las investigaciones geológicas.

Uno de los primeros y más célebres institutos de este género es sin duda el Instituto Geológico de Prusia, fundado en 1873 e incorporado a la Academia de Minas en 1875. Francia cuenta desde 1867 con el Servicio de la Carta Geológica de Francia, que se ocupa en la redacción del mapa geológico de la metrópoli y sus colonias. España tiene, desde 1883, la Comisión del Mapa Geológico, Norteamérica tiene asimismo su Servicio Geológico fundado en 1879; dígame otro tanto del Japón (1876), de Austria (1849), de Suecia (1858), de Dinamarca (1887), de Inglaterra, Portugal, Suiza, etc. En la Argentina comenzó la participación del Gobierno Nacional en la exploración geológica del país el año 1905, al fundarse la Sección de Geología en la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología.

**253. RESULTADOS TEORICOS DE LAS SINTESIS PETROGRAFICAS.** — Los procedimientos sintéticos hasta ahora empleados para la reproducción de rocas han dado excelentes resultados tratándose de rocas básicas, como el basalto; no así para la reproducción de rocas ácidas, como es el granito, que hasta ahora han resultado insuficientes. Se trata, en general, de rocas con cuarzo, ortosa, albita, mica blanca, mica negra y anfíbol. Es que, según parece, en su formación intervienen elementos volátiles bajo presión.

Con todo, se ha llegado a deducir de todas estas investigaciones de síntesis que las rocas ígneas deben su origen a las acciones de una fusión, seguida de un lento y pausado enfriamiento, siendo el modo y las condiciones del enfriamiento de una importancia capital sobre los resultados de la estructura obtenidos en las rocas sintéticas. Con enfriamiento brusco, sucediendo a una elaboración insuficiente del magma fundido, da formas cristalinas, mientras que si el magma ha sido mantenido durante cierto tiempo a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión, produce una costra cargada de esos pequeños cristales microscópicos, llamados *microlitos*, que constituyen los elementos esenciales de las rocas volcánicas.

Por aquí ha sido posible dividir la historia de toda roca eruptiva en cuatro grandes períodos. El *primer período*, denominado por Rosenbusch *período prehistórico de las rocas*, comprende el espacio de tiempo en el cual la substancia se ha formado por oxidación e hidratación de una aleación metálica en las profundidades de la tierra, hasta quedar en último término transformada en una solución de silicatos. En la actualidad la petrografía no dispone de medios para conocer este primer proceso ni conocemos roca alguna en el primer período, si no sólo por el estudio de los meteoritos, por las experiencias sobre soluciones de silicatos y aleaciones en fusión y por especulaciones físico-químicas podemos formarnos idea probable de esta primera fase del proceso petrogenético.

El *segundo período*, llamado *intratélúrico*, se refiere a aquel tiempo en que se desarrollaron cristales en la solución ígnea silicatada; esta primera formación de las granulaciones sólidas y cristalinas tiene lugar en el interior de la tierra, aunque a menos profundidad que la formación de la solución ígnea.

El *tercer período*, llamado *efusivo*, empieza con la ascensión de la fusión silicatada hacia la superficie y termina con su completa cristalización. Con todo, esta fusión ígnea no comprende a todas las rocas ígneas, pues varias de ellas, como granitos, sienitas, dioritas y gabros, se han solidificado completamente en el interior de la corteza terrestre. En cambio, toca de lleno a las que forman diques y corrientes, como los pórfidos y los basaltos.

El *cuarto periodo*, llamado *de alteración*, es aquel en que las rocas sufren modificaciones físicas y químicas, cambios de estructura, textura, tenacidad, dureza y composición química, que en conjunto tienden a destruirlas.

**254. EXPLICACION DEL FENOMENO PALEOTERMAL.** — Es un hecho bien comprobado que la tierra ha sufrido en el transcurso de los tiempos geológicos profundas modificaciones. En la era primaria el clima fué uniforme y caliente en toda la tierra, desde el ecuador hasta los polos; en la era secundaria, sobre todo a partir del periodo cretáceo, comenzó a iniciarse la diferenciación de estaciones y de climas, diferenciación que fué acentuándose en la era terciaria, hasta llegar a la cuaternaria con el régimen especial y alternativo de épocas de frío y de calor, que dieron lugar a los periodos glaciares e interglaciares.

Las causas de estas mudanzas de clima son muy difíciles de precisar, por lo cual no es de maravillar que se hayan propuesto numerosas hipótesis encaminadas a explicar la uniformidad de clima cálido durante la era primaria. Las principales hipótesis son: disminución del calor solar, la intervención del calor interno de la tierra, la precesión de los equinoccios, la contracción solar y la deriva de los continentes.

a) **Hipótesis de la disminución del calor solar.** — Se ha querido explicar el fenómeno paleotermal por la mayor intensidad de la radiación solar en los tiempos primarios. Pero esta hipótesis queda descartada por las consideraciones siguientes. El aumento de calor en las regiones polares debería hacer subir su temperatura 30° y 40° sobre la actual; este incremento se hubiera dejado sentir en la zona tórrida en forma tal que hubiera imposibilitado completamente la vida. Por consiguiente esta hipótesis no explicaría la uniformidad en el repartimiento de la temperatura, que es el carácter más distintivo de los tiempos primarios, así como tampoco las intermitencias en el régimen de los frios cuaternarios.

Además, aquel incremento en la radiación solar hubiera traído a la tierra no sólo aumento de temperatura, sino también de luz, y precisamente se ha notado que las plantas más antiguas, cuales son los helechos y los primeros insectos aparecidos, pertenecen a especies que viven preferentemente en lugares sombríos.

b) **Hipótesis que hace intervenir el calor interno.** — Se ha pretendido explicar el fenómeno paleotermal por el menor espesor de la corteza terrestre durante los tiempos primarios, lo cual permitía atravesarse al exterior el calor del fuego central. Pero tampoco puede admitirse esta hipótesis, porque los terrenos primitivos ya entonces existentes contaban con un grosor de varios miles de metros, y dada la poca conductibilidad de los gneis y micacitas, sus principales rocas componentes, se hacía enteramente imposible cualquier influjo del calor interno en la superficie del planeta. Arago calculó que, a lo sumo, el aumento de temperatura por el influjo del calor central sería de 1/30 avas parte de grado.

c) **Hipótesis fundada en la precesión de los equinoccios.** — Se llama *precesión de los equinoccios* el fenómeno por el cual el equinoccio de primavera se adelanta cada año algunos segundos, debido a cierto movimiento del eje de la tierra, que da una vuelta completa cada 22.000 años. Fundán-

dose en esto Adhémar supuso que cada 11.000 años los hielos tenderían a acumularse alternativamente en proporciones extraordinarias sobre aquel polo para el cual el solsticio de invierno coincidiese con la máxima distancia de la tierra al sol, que en la actualidad correspondería al hemisferio austral.

Pero esta teoría sólo daría cuenta, a lo más, de las épocas glaciares, mas no explicaría el fenómeno paleotermal de los tiempos primarios. Esta hipótesis, si bien es admitida por algunos para dar cuenta de las invasiones de hielos en las regiones septentrionales, L'Apparent la combate por no saber ver en la actual distribución de hielos de los dos hemisferios fundamento suficiente para aquella explicación.

d) **Hipótesis de la contracción solar.** — Fué ideada por Blandet y defendida más tarde calurosamente por L'Apparent. Según esta hipótesis, y en conformidad con la teoría cosmogónica de Faye, las evoluciones de la tierra habrían sido más rápidas que las del sol; de suerte que cuando aquella comenzaba a consolidarse, se ofrecería éste como una nebulosa de dimensiones inmensamente superiores a las del sol actual. Entonces los rayos solares no serían prácticamente paralelos, como ahora, sino divergentes, y bañarían toda la tierra con su luz y calor; quedarían suprimidas las interminables y frigidísimas noches de las regiones polares, y una temperatura uniforme, a la vez que elevada, reinaría por toda la redondez de la tierra.

Con esto quedaría resuelto al mismo tiempo el arduo problema de la conservación de la energía solar, porque entonces la disminución de volumen del sol permitiría el almacenamiento de cantidad bastante de calor para compensar las enormes pérdidas de aquel astro por efecto de la radiación de energía. Pero, como esta hipótesis de la contracción del sol sólo explica el fenómeno paleotermal, ha sido preciso idear otras hipótesis para dar cuenta de los periodos fríos de la era cuaternaria.

e) **Hipótesis de la deriva de los continentes.** — Un mayor conocimiento de la paleontología de los tiempos primarios ha obligado a reformar la concepción primera de un clima tropical uniforme en toda la tierra, en aquellas remotas edades. En efecto, se han comprobado restos de glaciaciones cámbricas en Noruega, China y acaso en Africa meridional, y restos de glaciaciones devónicas en Australia y en la India. Más aún, se pudo comprobar que un mismo lugar había pasado sucesivamente, a través de los periodos primarios, por diversas condiciones climatológicas. Las faunas y floras de las islas de Spitzberg, por ejemplo, que tienen un carácter claramente intertropical en el carbonífero inferior, son subtropicales hacia el final del paleozoico, semejantes a las templadas de la Europa central de hoy, durante el jurásico y cretáceo, para llegar paulatinamente al riguroso clima que en la actualidad sufre la región, sumergida como está bajo una capa constante de hielos.

Estos hechos llevaron a la idea de un cambio de posición de los polos, y por consiguiente del ecuador terrestre. Pero todavía subsistían ciertas dificultades que en parte fueron anuladas con la hipótesis de la deriva de los continentes ideada por Wegener. Las grandes glaciaciones del antracólico reconocidas en el hemisferio austral, se explicarían con Wegener, emplazando el polo sur en el punto de unión del Africa meridional, la Antártida, Australia, Madagascar y la India, que entonces estarían unidas y no separadas como ahora. Pues bien, bajo esta hipótesis el autor pudo señalar

la aureola de glaciares que lo rodeaban y trazar con notable precisión el ecuador en aquella época, jalonado por una serie de grandes depósitos hulleros del clima intertropical. El polo norte se encontraría a la sazón en pleno Pacífico, pero el lugar exacto de su emplazamiento nos sería desconocido por la carencia de condiciones geológicas deladoras de su climatología.

**255. CAUSAS DE LOS FRIOS CUATERNARIOS.** — Todos los autores están acordes en admitir que las invasiones de los hielos durante la era cuaternaria no se deben a una causa única, sino a multitud de concausas, más o menos probables, que determinaron un descenso medio de 5° en la temperatura media anual de Europa y Norteamérica con respecto a la actual. Las principales causas, pues, que se aducen son las siguientes:

1.<sup>a</sup> El fenómeno de la *precesión de los equinoccios* y los *cambios de excentricidad de la órbita terrestre*. Esta hipótesis se debe al inglés Croll, quien la defiende en los siguientes términos. Actualmente la diferencia entre el perihelio y el afelio es de 8 millones de kilómetros; pero, según Croll, en ocasiones habría llegado a 26 millones. De donde concluye que el hemisferio para el cual el invierno coincidiese con una distancia tan enormemente aumentada de la tierra al sol, los fríos habrían de ser rigurosísimos.

2.<sup>a</sup> La enorme *actividad volcánica* durante el cuaternario antiguo, que determinó abundantes precipitaciones de lluvias y asimismo de nieves, por el descenso de temperatura que aquéllas habrían provocado. Esta hipótesis defendida por Lapparent, es rechazada ahora, al comprobar que algunas erupciones notables de los tiempos modernos, como las del Étna y de la Martinica, han sido seguidas más bien de disminución que no de aumento de lluvias.

3.<sup>a</sup> La *distinta repartición de las tierras y mares*. Así la gran corriente marina del Golfo no recorrería el Atlántico en la forma de ahora; las arenas del Sahara estarían invadidas por el agua del mar y, por consiguiente, no podrían enviar a Europa los vientos calurosos conocidos con el nombre de *Sirocco*.

4.<sup>a</sup> El levantamiento de las grandes cordilleras, como los Pirineos, Alpes, Andes, Montañas Roqueñas e Himalaya. Según esto, las épocas glaciares no habrían sido sincrónicas en toda la tierra, sino que se habrían efectuado sucesivamente poco después de las elevaciones de cada una de las citadas cordilleras. Así, pues, los primeros glaciares serían los de la Península Ibérica (España), a los que habrían seguido los de la Europa Central, después los de América y finalmente, los de Asia, por haber sido el Himalaya la última de las grandes cordilleras emergidas.

**256. METODOS IDEADOS PARA EVALUAR LA DURACION DE LAS ERAS GEOLOGICAS.** — Muchos métodos han sido ideados para determinar la duración absoluta de las eras geológicas, pero pueden reducirse a los cuatro grupos siguientes: geológicos, físicos, biológicos y radioactivos.

a) **Métodos geológicos.** — Unos se refieren a la edad de los estratos terrestres y otros a la antigüedad de los mares. Los métodos referentes a la edad de los estratos terrestres se fundan en los más variados fenómenos de la geología dinámica, como ser, la denudación de los macizos montañosos, la erosión costera y fluvial, la disolución química o alteración meteórica de las rocas, la sedimentación marina o fluvial, la acumulación de la turba,

la formación de estalactitas y estalagmitas en las grutas, el avance o retroceso de los glaciares, el crecimiento de los arrecifes de coral, la acumulación de yacimientos salinos, el hundimiento o elevación de las costas, etc., etc. Muchos de estos métodos, por su naturaleza misma, sólo proporcionan datos locales.

El método referente a la edad de los océanos se funda en la averiguación del tiempo que habrá sido necesario para que se acumulase en el agua de los mares la cantidad actual de sales sódicas en ellos existentes, suponiendo que todas estas sales proceden de las que de continuo llevan en disolución los ríos.

b) **Métodos físicos.** — Se refieren a dos clases de fenómenos: 1.º, al tiempo que debió transcurrir desde la formación por enfriamiento de una capa sólida suficiente para la vida de los animales y plantas; y 2.º, al valor del acortamiento del radio terrestre, deducido de los plegamientos de la corteza terrestre.

c) **Métodos biológicos.** — Se fundan en la evolución de las especies, o sea en el tiempo que habrá sido necesario para que los seres vivientes adquirieran el desarrollo con que han ido apareciendo en el transcurso de las edades geológicas. En este sentido han efectuado algunos ensayos Matthew y Dacqué, pero como parten de un fundamento tan discutible, aun en el caso de ser verdadero, cual es el de la evolución de las especies, no es de maravillar que los resultados hayan sido totalmente nulos.

d) **Métodos radioactivos.** — Es un hecho bien comprobado que todos los minerales radioactivos contienen helio y plomo. Suponiendo, pues, que estos productos provienen de transformaciones radioactivas, se aprecia en seguida la posibilidad de determinar la edad de los terrenos, ya sea por el helio, ya por el plomo.

Por el *helio* se ha llegado a los siguientes resultados. Se sabe que un gramo de uranio da al año una cienmilésima de milímetro cúbico de helio, y un gramo de torio da 3 millonésimas de milímetro cúbico. Ahora bien, se ha encontrado que la *torianita* de Ceilán (11 por ciento de uranio y 68 por ciento de torio) encierra 8'9 centímetros cúbicos de helio por gramo de metal; luego se han necesitado 270 millones de años para producirse, suponiendo que nada de helio se ha escapado. Strauss, por este procedimiento, ha averiguado que el *esfene* del Ontario (Canadá) tiene 710 millones de años de antigüedad.

Por el *plomo* se han obtenido también diversos valores. Holmes, determinando la cantidad de plomo de la uranita de Ceilán, ha deducido que este mineral se remonta a 1.640 millones de años. Este método no tendría ningún valor si no se pudiese saber cuándo el plomo es radioactivo y cuándo no lo es. Afortunadamente se dispone de un medio para salir de dudas en cada caso, y es el peso atómico. En efecto, el peso atómico del plomo-torio es 208'4; el del plomo-polonio es de 206'5, y el del plomo ordinario 207'2.

**257. PORVENIR DE LA TIERRA SEGUN LA GEOLOGIA.** — Tres causas se señalan que pueden producir el aniquilamiento de los seres vivos que pueblan la tierra, a saber: una total inundación, la falta de agua o un riguroso frío.

a) **Muerte por inundación.** — Los continentes se van desgastando, ya en las costas, merced al embate de las olas, ya en el interior de las tierras por medio de las aguas corrientes. Varios geólogos, como Geikie y Lap-parent, han determinado la cantidad de materiales arrebatados anualmente por las aguas a los continentes y la altura media de éstos, que es de 700 metros, y han concluido que se necesitarían unos 40 millones de años para su completa desaparición, suponiendo que no sobrevengan movimientos orogénicos que establezcan el equilibrio mecánico estratigráfico.

Cuando el trabajo de las aguas haya terminado, la tierra será un vasto océano, cuyo fondo, supuesto llano, alcanzaría la profundidad de 3.500 metros, pues las tierras de los continentes sólo habrían podido elevarlo 150 metros. Entonces los seres vivos continentales desaparecerán necesariamente, porque se extinguirán las plantas con clorofila y sin ellas no podrán subsistir por más tiempo los demás vegetales y animales, por necesitar del auxilio de aquéllas para asimilar el carbono.

b) **Muerte por falta de agua.** — Quizá la inundación general no llegue nunca por haber desaparecido antes el agua. Cierto que existen enormes reservas de este elemento en los mares; pero las rocas la van tomando para combinarse con ella, y así va desapareciendo de continuo agua utilizable para los seres vivientes. La masa actual de rocas no bastaría para consumir las exorbitantes cantidades de agua si se tiene en cuenta, además, que la masa incandescente interna no puede absorber el agua por efecto de su elevada temperatura. Pero como la tierra se va enfriando y su corteza adquiere paulatinamente mayor espesor, el agua continuará sin cesar combi-nándose con las nuevas rocas formadas.

Con esto la masa de los océanos disminuirá progresivamente; las lluvias que fecundan los continentes serán cada vez más escasas y los desiertos adquirirán mayores proporciones. La flora y la fauna cambiarán de aspecto, amoldándose a las nuevas condiciones, hasta ofrecer el porte raro que actualmente se observa en los desiertos de México y los Estados Unidos. Es que habrá llegado ya la era de los cactus y lagartos.

c) **Muerte por frío.** — También puede provenir la muerte de la tierra por frío. El calor de que ahora disfrutamos nos lo proporciona el sol; mas como sus energías son limitadas, vendrá día en que se agotarán. Al presente, según los cálculos de Pouillet, cada metro cuadrado de superficie solar emite por segundo tanto calor que convertido en fuerza motriz alcanzaría el valor de 77.000 caballos de vapor. Comparando el sol con las demás estrellas, se deduce que debe incluirse entre las de color amarillo, cuya evolución decreciente se halla ya muy avanzada, como que se acerca al tipo de las estrellas rojas. Al pasar el sol a este último estado, la vida en la tierra ya no será posible, pues el frío, aun en las regiones más cálidas, se parecerá al actual de los inviernos más rigurosos de Siberia. Los mares se mantendrán indefinidamente helados, la humedad del aire se habrá condensado en nieve que recubrirá todo el globo y los vientos no perturbarán ya el silencio de aquella no interrumpida noche que sobrevendrá cuando el sol haya extinguido sus últimos fulgores.

**258. TERMINO EXTREMO A QUE PUEDE LLEGAR NUESTRO PLANETA.** — Ha sido creencia de los antiguos pueblos y astrónomos que la tierra perecería por colisión con algún astro, especialmente cometa. Los

estudios realizados sobre estos cuerpos celestes han hecho desaparecer todo temor de la gente ilustrada.

Además de la casi imposibilidad de semejante choque, los cometas no poseen masa suficiente para ocasionar en nuestro planeta ninguna catástrofe. Otra cosa sería si a su longitud de centenares de miles de kilómetros y a su velocidad de hasta 550 kilómetros por segundo, juntasen el formar un cuerpo rígido; porque entonces, si encontraran normalmente a la tierra, que ya de suyo recorre 29 kilómetros por segundo, no la dividiría en pedazos, sino que de los dos astros se originaría uno solo, pues el calor desarrollado a expensas de la fuerza viva de entrambos sería suficiente para reducir a vapor aun los cuerpos más refractarios de nuestro globo.

Mas ya que no parece posible la colisión de la tierra con algún astro, los descubrimientos de Poincaré acerca de la inestabilidad del sistema planetario han hecho probable otro fin de la tierra y aun del universo. Al acumularse los efectos de esta inestabilidad, los planetas alargan el tiempo de su rotación, hasta igualar al de su revolución, como ha sucedido con la Luna y Venus y muy probablemente con Mercurio. Además de esto, la resistencia del medio en que se mueven los hará precipitar finalmente en el sol. De modo que estos cuerpos, que la cosmogonía moderna supone emanados del sol, volverán a él un día, en virtud de leyes ineluctables. Por otra parte, si el sol es a su vez satélite de otra estrella más potente, sufrirá la misma suerte, y si se siguiesen los destinos de todos los astros del universo, se los vería confundirse en uno solo y único cuerpo.

Como se deja entender, todo esto no es otra cosa que puras hipótesis más o menos aventuradas y que si no pasan más allá y admiten la existencia de un Dios criador que con su infinita sabiduría rige los destinos del mundo, pueden sustentarse sin detrimento de la fe, ya que las Sagradas Escrituras nada nos dicen sobre el particular, sino tan sólo que la humanidad perecerá algún día víctima de espantoso cataclismo y que, con la resurrección que le seguirá, se iniciará una nueva vida, feliz o desdichada, según haya sido al morir el estado del alma de cada uno de los hombres.





# ÍNDICE ALFABÉTICO

(LAS REFERENCIAS INDICAN NUMEROS MARGINALES)

## A

Abanico (Pliegue en): 130.  
 Abisal (Zona): 96.  
 Abisales (Rocas): 5.  
 Aborregadas (Rocas): 145.  
 Absoluta (Duración): 171.  
 Academia de Córdoba: 215.  
 Acantilados: 113.  
 Acarreo (Facies de): 122.  
 Accesorios (Minerales): 13.  
 Accidentes de los glaciares: 144.  
 " " " rios: 137.  
 Acción del agua: 104, 106.  
 " " aire: 104.  
 " " calor: 104.  
 " " frío: 104.  
 " " oleaje: 112.  
 " eólica: 106.  
 " erosiva: 137.  
 " de los glaciares: 145.  
 " " " seres vivos: 104.  
 Acidas (Rocas): 18.  
 Acionagua: 218.  
 Acostado (Pliegue): 130.  
 Acclimatación: 39.  
 Actividad (Volcanes en): 160.  
 Activos (Volcanes): 159.  
 Actual (Época): 98.  
 " (Terreno): 188.  
 Acuáticas (Faunas): 94.  
 Achatamiento terrestre: 73.  
 Achelense: 190.  
 Acheula: 222.  
 Adhémar: 254.  
 Adoquines: 241.  
 Aerinita: 34.

Aerolitos: 70.  
 Africa: 82.  
 Afloramiento (Fuentes de): 138.  
 Agentes de las rocas: 44.  
 " " metamorfismo: 61.  
 " " transformación: 17.  
 " geológicos: 98.  
 Aglomerados volcánicos: 59.  
 Agnotozoico (Grupo): 172.  
 Agnotozoicas (Formaciones): 194.  
 Agrías (Aguas): 164.  
 Agrupamiento (Fallas en): 134.  
 Agua (Acción del): 104, 106.  
 " (Modo de actuar el): 136.  
 " de los mares: 112.  
 " marina: 206.  
 Aguas agrías: 206.  
 " corrientes: 44, 137.  
 " dulces: 97.  
 " freáticas: 211.  
 " minerales: 212.  
 Aguirre: 215.  
 Agujeros de los glaciares: 144.  
 Aire (Acción del): 104.  
 " (Composición del): 79.  
 Alabastro: 246.  
 Albertita: 209.  
 Albuferas: 113.  
 Algonkiense: 172.  
 Alimentación (Cuencas de): 144.  
 Aliotriomorfos (Cristales): 15.  
 Alotectonia: 118.  
 Alpino (Piso): 93.  
 Alpinos (Lagos): 146.  
 " (Movimientos): 187.  
 Alteración (Período de): 253.  
 " (Zona de): 138.

Alternativos (Movimientos): 153  
 Altiplano boliviano: 216, 231.  
 Altura de la atmósfera: 79.  
 „ „ los continentes: 82.  
 „ „ „ estratos: 124.  
 Alturas terrestres: 84.  
 Aludes: 143.  
 Aluvial (Sedimentación): 108.  
 Amarilla (Tierra): 248.  
 Ameghino (Carlos de): 217.  
 „ (Florentino): 217.  
 América: 82.  
 Amigdaloides (Basalto): 241.  
 „ (Meláfiro): 32.  
 Ammonites: 181.  
 Análisis de las rocas: 6, 9, 236.  
 Anderson: 72.  
 Andes (Geología de los): 231.  
 Andesita: 35.  
 Andesitas: 208.  
 Andesítica (Serie): 197.  
 Anfibolita: 67, 250.  
 Anfiteatro morrénico: 145.  
 Angular (Discordancia): 127  
 Anhídrido carbónico: 104.  
 Anomalías de la gravedad: 79.  
 Antártico (Océano): 85.  
 Anticlinal: 129.  
 Antigüedad de la zona abisal: 96.  
 Antiguas (Rocas): 29.  
 Antracolítico (Sistema): 179.  
 Apagados (Volcanes): 159.  
 Aparición del hombre: 189.  
 Apartado: 236.  
 Aplanamiento terrestre: 73.  
 Aplicación (Rocas de): 208.  
 Aplita: 27.  
 Arago: 73, 254.  
 Araucana (Formación): 187.  
 Araucano: 197, 224.  
 Araucarias: 220.  
 Araucarioxylon: 214.  
 Arcaico (Sistema): 173.  
 Arcilla: 49, 245.  
 Arcillosas (Rocas): 251.  
 Archeopterix: 183.  
 Ardientes (Fuentes): 164.  
 „ (Nubes): 163.  
 Areas de dispersión: 86, 89.  
 Arena: 242.  
 Arenas: 48.  
 „ de Entre Ríos: 227.

Arenisca: 243.  
 Areniscas: 48, 208.  
 „ guaraníticas: 214, 227.  
 Aristóteles: 72, 157.  
 Argentina (Geología): 192.  
 Armadillos: 197.  
 Artesianas (Napas): 139.  
 Artica (Zona): 90.  
 Artico (Océano): 85.  
 Arrecifes de coral: 119.  
 Ascendentes (Aguas): 139.  
 Asfaltita: 209.  
 Asimétrico (Pliegue): 130.  
 Asperones: 48.  
 Astático (Péndulo): 156.  
 Astrolitos: 70.  
 Asturiense: 190.  
 Atlántico: 85.  
 Atmósfera terrestre: 79.  
 Atolones: 119.  
 Aurignaciense: 190.  
 Australia: 82.  
 Australiana (Región): 91.  
 Autoctonia: 118.  
 Avalanchas: 143.

## B

**Bacillus amylobacter:** 118.  
 Bade: 248.  
 Bálsamo del Canadá: 8, 236.  
 Bananas (Zona de las): 90.  
 Banco de arena: 113.  
 Bancos: 124.  
 „ de ostras: 56.  
 „ oceánicos: 83.  
 Baritina: 207.  
 Barra: 114.  
 Barreras (Arrecifes): 119.  
 Barros marinos: 115.  
 Basaltita: 240.  
 Basalto: 40, 241.  
 Basamentos: 238.  
 Báscula (Movimientos de): 153.  
 Base (Conglomerados de): 154.  
 Básicas (Rocas): 18.  
 Batial (Zona): 96.  
 Batolito patagónico: 218.  
 Batolitos: 19, 168.  
 Beder: 220, 234.  
 Belemnites: 181.  
 Benton: 95.

lo: 206.  
 sel: 73.  
 geografía: 86-97.  
 lógicos (Métodos): 256.  
 t: 73.  
 nco de España: 247.  
 ncos (Elementos): 12.  
 ndet: 254.  
 nda: 205.  
 ques continentales: 81, 82.  
 ,, erráticos: 145.  
 enbender: 217, 220.  
 idos: 70.  
 sas: 211.  
 siones: 233.  
 mbas volcánicas: 42, 163.  
 naerense (Piso): 198, 220, 225.  
 naerenses (Sierras): 234.  
 ra: 114.  
 rde continental: 81.  
 ronatrocalcita: 207.  
 tánica (Geografía): 86.  
 ackenbusch: 215, 216.  
 asilia: 192, 225, 231.  
 asilides: 192.  
 vard: 214.  
 echas: 47.  
 nce (Edad de): 189.  
 ijula de geólogos: 124.  
 enos Aires (Geología de): 225.  
 nsen: 16.  
 rkhardt: 217.  
 rmeister: 214.  
 zamiento: 124.

## C

Caballeras (Piedras): 20.  
 abecera del agua: 139.  
 chalongo: 206.  
 ida de meteoritos: 70.  
 ja de filón: 168.  
 cáreas (Rocas): 56, 208.  
 cáreo (Ciclo): 119.  
 cáreos (Sedimentos): 116.  
 cedonia: 206.  
 lderas oceánicas: 83.  
 ledonianos (Movimientos): 175.  
 ledónico (Plegamiento): 191.  
 ledónicos (Pliegues): 177.  
 les hidráulicas: 246.  
 liza: 51, 56.

Calizas (Arenas): 242.  
 ,, fosilíferas: 247.  
 ,, no fosilíferas: 246.  
 Calor (Acción del): 104.  
 ,, central: 100, 151-168.  
 ,, interno: 254.  
 ,, para los seres vivos: 87.  
 ,, solar: 254.  
 Cambios de estructura: 61.  
 Cámbrico (Sistema): 176.  
 Canchales: 145.  
 Cantos erráticos: 188.  
 ,, estriados: 145.  
 ,, rodados: 47.  
 Caolin: 49, 208, 245. ✓  
 Caolinización: 141.  
 Capa acuífera: 138.  
 Caparazones silíceos: 120.  
 Capas ionizadas: 79.  
 Capciense: 190.  
 Capital Federal (Geología de la): 224.  
 Característicos (Minerales): 13.  
 Caracterización de los terrenos: 135.  
 Carbonatadas (Rocas): 45.  
 Carbonato cálcico: 116.  
 Carboníferos (Mantos): 209.  
 Carbonosas (Rocas): 45, 118.  
 Carlos III: 198.  
 Carpinchos: 197.  
 Cascadas: 137.  
 Casiterita: 204.  
 Cataclismo: 149.  
 Catarata: 137.  
 Causa de las diaclasas: 132.  
 Causas de los terremotos: 157.  
 Cautiva (Agua): 139.  
 Cavernas: 141.  
 ,, (Vida en las): 92.  
 Cavernícola (Fauna): 92.  
 Cementación (Zona de): 138.  
 Ceniza volcánica: 242.  
 Cenizas volcánicas: 42, 163.  
 Cenozoicas (Formaciones): 197.  
 Cenozoico (Grupo): 185.  
 Central (Calor): 100.  
 Centro de conmoción: 156.  
 Ciclo calcáreo: 119.  
 ,, de sedimentación: 123.  
 ,, del agua: 136-147.  
 ,, geodinámico: 101.  
 Ciclos orogénicos: 191.  
 Cinc (Minerales de): 205.

- Cineritas: 59.  
 Cipolino (Mármol): 69.  
 Circos de glaciares: 146.  
 Circulación (Filones por): 168.  
 Circulo de fuego: 166.  
 Circumpolar (Región): 91.  
 Clarión: 247.  
 Clases de filones: 168.  
 Clasificación de las rocas: 18, 45, 65.  
   "  "  los meteoritos: 70.  
   "  "  sedimentos: 110.  
 Clástica (Estructura): 10.  
 Clásticas (Rocas): 45, 46.  
 Clima terciario: 185.  
 Climas (Diferenciación de los): 181.  
 Climatéricos (Fenómenos): 207.  
 Clinómetro: 124.  
 Cloritocita: 67.  
 Cloritocitas: 250.  
 Clorurados (Sedimentos): 116.  
 Cloruro de sodio: 116, 207.  
 Cobre (Minerales de): 205.  
 Coccolitos: 247.  
 Columnatas basálticas: 40.  
 Combustibles: 209, 210.  
 Commoción (Centro de): 156.  
 Comodoro Rivadavia: 210, 222.  
 Compacta (Caliza): 246.  
 Compás de los marinos: 124.  
 Composición de las rocas: 11.  
   "  "  los meteoritos: 70.  
   "  del aire: 79.  
   "  mineralógica: 44.  
 Compresión: 151.  
 Comunes (Calizas): 246.  
 Concordante (Estratificación): 126.  
 Confluencia de glaciares: 145.  
 Conforme (Falla): 134.  
 Conglomerados: 47.  
   "  de base: 154.  
 Congreso Geológico: 18.  
 Coníferas (Zona de las): 90.  
 Cono de deyección: 137.  
 Constitución de la tierra: 78.  
 Construcción (Calizas de): 246.  
   "  (Piedras de): 208.  
 Contacto (Metamorfismo de): 62.  
 Continental (Facies): 122.  
 Continentales (Bloques): 81.  
   "  (Núcleos): 191.  
 Continente (Noción de): 81.  
 Continentes (Altura de los): 82.  
   "  (Deriva de los): 152, 1  
 Contracción (Pliegues por): 132.  
   "  (Teoría de la): 149.  
   "  solar: 254.  
 Coral (Arrecifes de): 119.  
 Coralígenas (Calizas): 247.  
 Cordier: 7.  
 Cordillera de los Andes: 199, 231.  
 Córdoba (Academia de): 215.  
 Cordones litorales: 113.  
 Corsita: 239.  
 Corrasión: 105.  
 Corrientes (Agua): 137.  
   "  (Geología de): 227.  
   "  de lava: 42.  
   "  marinas: 112.  
   "  subterráneas: 140.  
   "  volcánicas: 163.  
 Corteza (Mareas de la): 155.  
 Cosmogónica (Fase): 169.  
 Cosmopolitas (Especies): 86.  
 Costados de los pliegues: 129.  
 Costas (El mar en las): 113.  
 Cráter de volcán: 159.  
 Crestas oceánicas: 83.  
 Creta: 56, 119, 247.  
 Cretácea (Formación): 196.  
 Cretáceo (Sistema): 184.  
 Criptómeras (Rocas): 236.  
 Cristalinas (Pizarras): 67.  
 Cristalinos (Esquistos): 60, 250.  
 Cristalización (Orden de): 15.  
 Croll: 255.  
 Cro-Magnon (Raza de): 190.  
 Cromita: 203.  
 Crómlecs: 190.  
 Cronológicas (Divisiones): 171.  
 Cruzada (Estratificación): 126.  
 Cuarcífero (Pórfido): 30.  
 Cuarcita: 68, 244.  
 Cuarzo rosado: 206.  
 Cuarcosas (Arenas): 242.  
 Cuaternaria (Era): 188.  
 Cuaternarias (Formaciones): 198.  
 Cubeta tectónica: 134.  
 Cobre objetos: 8.  
 Cuenca de alimentación: 144.  
   "  hullera: 118.  
 Cuenas oceánicas: 83, 85.  
 Cuerquense: 190.

ury: 77, 82, 83, 96, 114, 124, 197,  
198, 248.  
uvier: 252.

## CH

Chaco-bonaerense (Llanura): 226.  
harnela de los pliegues: 129.  
hellense: 190.  
himenea de los volcanes: 159.  
hina (Loes en): 106.

## D

Dacita: 35.  
dana: 82.  
Darwin: 214, 216.  
Daubr e: 131, 132.  
Decalcificaci n: 44, 116.  
Delhaes: 220.  
Deltas: 114.  
Densidad de las rocas: 6.  
" " la tierra: 76.  
Denudación: 105.  
Depósitos pampeanos: 225.  
Depresión oceánica: 83.  
Depresiones de los glaciares: 146.  
Derecho (Pliegue): 130.  
Deriva de los continentes: 152, 254.  
Desembocadura de los ríos: 114.  
Desviaciones de la vertical: 55.  
Detrítica (Estructura): 10.  
" (Sedimentación): 108.  
Detríticas (Rocas): 45, 46, 110.  
Detríticos (Productos): 44.  
Deut genas (Rocas): 46, 111.  
Devónico (Sistema): 178.  
Deyección (Cono de): 137.  
Diabasa: 33.  
Diaclasas: 104, 132.  
Diagénesis: 44, 116.  
Diagonal (Falla): 133, 134.  
Diatomeas: 117, 120.  
Diatomita: 58.  
Diatrofismo: 83.  
Diferenciación de climas: 181.  
" del magma: 16.  
Digitaciones: 70.  
Diluvium: 225.  
Dimensiones de la tierra: 75.  
Dinámico (Metamorfismo): 63.

Dinosaurios: 183, 196.  
Diorita: 22, 239.  
Diorítico (Gneis): 66.  
Dipiro: 61.  
Diplodocus: 184.  
Diques: 29, 113, 115, 168.  
Dirección de los estratos: 124.  
Discordancia de estratificación: 127.  
Discordante (Estratificación): 127.  
Disminución del calor: 254.  
Disolución: 141.  
Dispersión (Area de): 86.  
Distribución hipsométrica: 93.  
" de las tierras: 80.  
" " los volcanes: 166.  
Disyunción de las masas: 132.  
Diversificación de los estratos: 125.  
División de Minas: 218.  
" del cuaternario: 190.  
Divisiones geológicas: 171.  
Doering: 197, 215.  
Dogger (Terreno): 220.  
Dolerita: 40.  
Dolicoc falo: 190.  
Dolina: 141.  
Dolomitizaci n: 44, 116.  
D'Orbigny: 193, 206, 214.  
Drenaje (Cambios de): 226.  
Dulces (Aguas): 94, 97.  
Dulcoqu colas (Seres): 97.  
Dunas: 106.  
Dunita: 24.  
Duración de las eras geológicas: 171,  
256.  
Dureza de las rocas: 6.

## E

Ecuatorial (Zona): 90.  
Edad geológica: 171.  
" de bronce: 190.  
" " hierro: 190.  
Efectos de los terremotos: 156.  
" del calor central: 158-168.  
Efusivas (Rocas): 5, 29.  
Efusivo (Período): 253.  
Eje del anticlinal: 129.  
" " sinclinal: 131.  
" terrestre: 75.  
Elementos de las fallas: 133.  
Elephas primigenius: 188.

- Elipsoide de referencia: 74.  
 Emanación (Filones por): 168.  
 Emanaciones de los volcanes: 164.  
 Empujes verticales: 149.  
 Endógenas (Rocas): 110.  
 Endógenos (Agentes): 98.  
 Endósfera: 78.  
 Ensenadense: 198.  
 Entre Rios (Geología de): 227.  
 Entrerriana (Formación): 187.  
 " (Ingresión): 197.  
 Eoceno: 186.  
 Eógeno (Sistema): 186.  
 Eólica (Acción): 106.  
 " (Sedimentación): 108.  
 Eólicas (Rocas): 44, 110.  
 Eólicos (Sedimentos): 106, 107.  
 Epidornis: 188.  
 Epidótita: 67.  
 Epidótitas: 239.  
 Epigénicas (Rocas): 43.  
 Epirogenéticos (Movimientos): 148, 153.  
 Epoca actual: 198.  
 Epocas geológicas: 171.  
 Equilibrio isostático: 131.  
 Era cuaternaria: 188.  
 " primaria: 175.  
 " primitiva: 172.  
 " secundaria: 181.  
 " terciaria: 185.  
 Eras geológicas: 171.  
 Eratóstenes: 75, 76.  
 Erosión: 104.  
 Erosiva (Acción): 145.  
 Erráticos (Bloques): 145.  
 Errores en las nivelaciones: 153.  
 Erupciones volcánicas: 160.  
 Eruptivos (Efectos): 158-168.  
 Escalera (Fallas en): 134.  
 Escalones compensados: 134.  
 Escudo del Brasil: 173, 194.  
 Esenciales (Minerales): 13.  
 Esfagno: 118.  
 Esfene: 256.  
 Esferolitos: 10.  
 Esméctica (Arcilla): 245.  
 Esmeril (Polvo de): 236.  
 Esmilodonté: 198.  
 España (Blanco de): 247.  
 Espejos de falla: 133.  
 Espesor de los estratos: 124.  
 " " " sedimentos: 171.  
 Espigas: 115.  
 Esquema de geosinclinal: 131.  
 " " plegamiento: 132.  
 Esquisto: 67.  
 Esquistos cristalinos: 60, 250.  
 Esquistosas (Arcillas): 49.  
 Estación de los seres vivos: 86, 87.  
 Estalactitas: 51, 141.  
 Estalagmitas: 51, 141.  
 Estaño (Minerales de): 204.  
 Estuario (Mármol): 69.  
 Estelar (Fase): 170.  
 Estenotermas (Especies): 95.  
 Estratificación: 110.  
 Estratigráficas (Divisiones): 171.  
 Estratigráficos (Caracteres): 135.  
 Estrato-cristalinas (Rocas): 60.  
 Estratos: 124, 125.  
 " de Pangazo: 218.  
 " " Jujuy: 228.  
 Estratosfera: 79.  
 Estriados (Cantos): 145.  
 Estromboliense (Tipo): 161.  
 Estructura de la Precordillera: 232.  
 " " " tierra: 79.  
 " " las rocas: 10.  
 " " los meteoritos: 70.  
 Estuarios: 114.  
 Estudio de las fallas: 133.  
 " sobre las rocas: 6.  
 Eufótida: 23.  
 Eurasia: 82.  
 Euritermas (Especies): 95.  
 Evolución de la tierra: 170.  
 Examen de las rocas: 6.  
 " micrográfico: 236.  
 Excentricidad de la tierra: 255.  
 Exógenas (Rocas): 110.  
 Exógenos (Agentes): 98.  
 Experiencias de plegamientos: 131.  
 Exploraciones argentinas: 213-222.  
 Explosión de especies: 185.  
 Externa (Geodinámica): 99.  
 Extinguidos (Volcanes): 159.

## F

- Facies (Noción de): 122.  
 Falta de agua (Muerte por): 257.  
 Falla (Noción de): 133.  
 Fallas: 138.  
 Fanerómeras (Rocas): 236.

angó (Volcanes de): 164.  
 base geológica: 161.  
 fauna: 88.  
 faunas acuáticas: 94.  
 lavre: 131.  
 laye: 254.  
 felsita: 30.  
 felsítico (Tipo): 14.  
 fenocristales: 10.  
 fenómeno paleotermal: 180, 254.  
 fenómeno de diagénesis: 116.  
 " " plegamiento: 150.  
 fenómenos geodinámicos: 101.  
 " " orogénéticos: 175.  
 ferruginosas (Arenas): 242.  
 " (Rocas): 45.  
 feruglio: 220.  
 filadio: 67.  
 filita: 67.  
 filones: 168.  
 filonianas (Rocas): 25.  
 fiordos: 146.  
 " pacíficos: 218.  
 firme (Tierra): 148.  
 físicos (Métodos): 256.  
 fisiografía: 1.  
 fitógenos (Sedimentos): 107.  
 fixismo: 152.  
 flancos de los pliegues: 129.  
 flechas: 115.  
 flora: 88.  
 floras acuáticas: 94.  
 flujo: 112.  
 foco de los volcanes: 159.  
 " sísmico: 156.  
 fondo (Morrenas de): 145.  
 fonolita: 36.  
 foraminíferos: 117.  
 forma de la tierra: 72.  
 formación de deltas: 114.  
 " " hulleras: 118.  
 " " icebergs: 147.  
 " " las dunas: 106.  
 " " las rocas: 15.  
 " " los pliegues: 131.  
 " " petróleo: 210.  
 " del loes: 106.  
 " geológica: 123.  
 " petrolífera: 228.  
 formaciones agnotozoicas: 194.  
 " cenozoicas: 197.  
 " cuaternarias: 88, 198.

Formaciones madreporicas: 119.  
 " mesozoicas: 196.  
 " paleozoicas: 195.  
 Fosa oceánica: 83.  
 Fosas tectónicas: 132.  
 Fosfatadas (Rocas): 57, 121.  
 Fosforita: 121.  
 Fósil: 135.  
 Fósiles: 109.  
 " argentinos: 198.  
 Fossilíferas (Calizas): 247.  
 " (Rocas): 43.  
 Fossilización: 135.  
 Fouqué: 237.  
 Freáticas (Aguas): 211.  
 " (Napas): 138.  
 Frecuencia de los terremotos: 156.  
 Frente del glaciar: 144.  
 Fricht: 106.  
 Frío (Acción del): 257.  
 Fríos cuaternarios: 255.  
 Frontal (Cordillera): 231.  
 Frontales (Grietas): 144.  
 Fuego (Círculo de): 166.  
 Fuentes: 140.  
 " ardientes: 164.  
 " hipógenas: 165.  
 " naturales: 138.  
 Fumarolas: 164.  
 Fundidos (Productos): 163.  
 Furdos: 146.

G

**Gabro:** 23.  
 Galena (Minerales de): 205.  
 Gaseosas (Emanaciones): 164.  
 Gases de los volcanes: 163.  
 Geikie: 257.  
 Gema (Sal): 53.  
 Geoclasas: 134.  
 Geocósmica (Hipótesis): 167.  
 Geodinámica: 1, 98-107.  
 Geodinámicas (Hipótesis): 167.  
 Geodinámicos (Agentes): 98.  
 Geognosia: 2.  
 Geografía botánica: 86.  
 Geohistoria: 1.  
 Geoide terrestre: 74.  
 Geología (Definición de): 1.  
 " (Dirección de): 218.  
 " argentina: 192.

- Geología de los Andes: 231.  
 " " Patagonia: 229, 230.  
 " histórica: 169-191.  
 " regional: 223-234.  
 Geológica (Fase): 169.  
 " (Formación): 123.  
 Geológicos (Agentes): 98.  
 " (Métodos): 256.  
 Geomorfología: 71-85.  
 Geotectónica: 125-135.  
 Geotermita: 100.  
 Geosinclinal (Noción de): 64.  
 " (Cordillera del): 231.  
 " andino: 218.  
 Géyseres: 165.  
 Gigantes (Marmitas de): 113, 137.  
 Glacial (Invasión): 188.  
 Glaciar (Sedimentación): 108.  
 Glaciares: 144.  
 Glauconítica (Creta): 247.  
 Gliptodonte: 198.  
 Gliptogénesis: 103.  
 Globigerinas: 117.  
 Glyptodon: 188.  
 Gneis: 66, 249.  
 Gondwana (Continente): 177, 193, 217.  
 Gradiente geotérmico: 100.  
 Gráfica (Pegmatita): 20.  
 Grahamita: 209.  
 Granate: 206.  
 Granatita: 67.  
 Grandes ondas: 156.  
 Granítico (Tipo): 14.  
 Granito: 20, 238.  
 " porfídico: 26.  
 Granitoide (Tipo): 14.  
 Granulita: 20.  
 Granulítico (Gneis): 66.  
 Grauwaca: 48.  
 Gravedad (Anomalías de la): 77.  
 " (Noción de): 76.  
 " terrestre: 99, 100.  
 Greda: 48.  
 Grietas de los glaciares: 144.  
 " " terremotos: 156.  
 Groeber: 192, 214, 220, 223, 226, 231.  
 Grupo agnotozoico: 172.  
 " cenozoico: 171.  
 " mesozoico: 181.  
 " paleozoico: 175.  
 Grupos geológicos: 171.  
 Grutas: 141.  
 Guano: 57, 121.  
 Guaranítica (Arenisca): 214, 277.  
 Guettard: 252.  
 Guijarros: 47.  
 Gunciense: 188.  
 Guyot: 82.

## H

## Habitación de los seres vivos: 86.

- Hall: 131, 237.  
 Halle: 218.  
 Hamadas: 105.  
 Harina fósil: 120.  
 Haug: 131.  
 Hausen: 227, 228.  
 Hauthal: 209.  
 Hawaiense (Tipo): 161.  
 Hayford: 74.  
 Heaviside: 79.  
 Heladizas (Rocas): 104.  
 Helechos (Zona de los): 90.  
 Heleros: 144.  
 Helio (Método del): 256.  
 Helmer: 74.  
 Hemisferios terrestres: 80.  
 Hercinianas (Montañas): 179.  
 Herciniano (Plegamiento): 191.  
 Hercinianos (Movimientos): 175.  
 Hermitte: 192, 216, 217.  
 Hervideros: 164.  
 Hiatos: 128.  
 Hidratación: 141.  
 Hidráulicas (Cales): 246.  
 Hidráulico (Material): 208.  
 Hidrología (División de): 218.  
 Hidroquímico (Metamorfismo): 61.  
 Hidrosfera: 78.  
 Hidrostático (Nivel): 138.  
 Hidrotermal (Fase): 201, 205.  
 Hielo: 44.  
 Hielos marinos: 147.  
 Hierbas (Malas): 88.  
 " alpinas: 90.  
 Hierro (Edad de): 190.  
 Hierros meteóricos: 70.  
 Hiladas: 171.  
 Hipocentro: 156.  
 Hipógenas (Fuentes): 165.  
 Hipótesis sobre el vulcanismo: 167.  
 Hipsométrica (Distribución): 93.  
 Historia de la geología: 252.

histórica (Geología): 169-191.  
 Holoceno: 188.  
 Hombre (Acción del): 89.  
 " (Aparición del): 189.  
 Hooker: 252.  
 horizontal (Estratificación): 131.  
 " (Sismógrafo): 156.  
 Hornblendita: 24.  
 Horst: 134.  
 Hulla: 118, 209, 218.  
 Humedad para los seres vivos: 87.  
 Hundimiento: 153.  
 " (Terremotos de): 157.  
 Hurónica (Cadena): 174.  
 Hurónico (Movimiento): 172.  
 " (Plegamiento): 191.  
 Hutton: 76, 252.  
 Huyghens: 73.  
 Hypnum: 209.

## I

Icebergs: 147.  
 Ichtiosaurios: 183.  
 Idiomorfismo: 15.  
 Idiomorfos (Cristales): 15.  
 Igneas (Rocas): 5, 15, 42, 237.  
 Iguanodonte: 184.  
 Ihering: 217.  
 Importancia de la sedimentación: 109.  
 " " las fallas: 133.  
 Inclinación de los estratos: 124.  
 Inclinado (Pliegue): 130.  
 Indiana (Región): 91.  
 Indico (Océano): 85.  
 Inferior (Piso): 93.  
 Infusorios (Tierra de): 58, 120.  
 Ingresión entrerriana: 197.  
 Inlandsis: 147.  
 Institutos geológicos: 252.  
 Interglaciares (Periodos): 254.  
 Intermitentes (Fuentes): 140.  
 Interna (Geodinámica): 100.  
 Interno (Calor): 254.  
 Intratelúrico (Periodo): 253.  
 Intrusivas (Rocas): 5, 19.  
 Inundación (Muerte por): 257.  
 Invasión glacial: 188.  
 Invasor (Médano): 220, 225.  
 Inversa (Falla): 134.  
 Invertida (Falla): 134.

Invertido (Pliegue): 130.  
 Inyección (Filones por): 168.  
 Ionósfera: 79.  
 Islas madreporicas: 119.  
 Isoclinal (Pliegue): 130.  
 Isostasia (Teoría de la): 151.  
 Isostática (Teoría): 157.  
 Isostático (Equilibrio): 131.

## J

Jaspe: 206.  
 Jolly: 6.  
 Juan (Jorge): 73.  
 Jujuy (Geología de): 228.  
 " (Petróleo de): 210, 222.  
 Jurásica (Formación): 196.  
 Jurásico (Sistema): 183.

## K

Kayser: 217.  
 Kennelly: 79.  
 Kersantitas: 28, 239.  
 Klaproth: 6.  
 Klein: 7.

## L

La Condamine: 73.  
 La Plata (Museo de): 217.  
 Labios de falla: 133.  
 Lacolitos: 19, 168.  
 Lacustre (Facies): 122.  
 Lagos alpinos: 146.  
 Lágrimas del Vesubio: 42.  
 Laguna de los Palacios: 182.  
 Lagunas estratigráficas: 128.  
 " litorales: 113.  
 Lamprófidio: 28.  
 Lapilli: 42, 163, 242.  
 Lapparent: 82, 84, 254, 255, 257.  
 Laurentino (Terreno): 173.  
 Lava: 41.  
 Lavado de las rocas: 236.  
 Lechuzo (Agua del): 212.  
 Lengua del glaciar: 144.  
 Lenticulares (Piedras): 247.  
 Lepidodendron: 177.  
 Ley de las transgresiones: 154.  
 Leyes de Guyot y Dana: 82.  
 " de Lapparent: 84.

Leucítico (Basalto): 40.  
 Levantadas (Playas): 102.  
 Levantamientos: 153.  
 " regionales: 218.  
 Levigación: 7, 236.  
 Lévy: 237.  
 Liásico: 183.  
 Lignito: 118, 209.  
 Limnobios (Seres): 97.  
 Limo: 49.  
 Línea de falla: 133.  
 Liparita: 38.  
 Líquidos combustibles: 210.  
 Listing: 74.  
 Lititos: 70.  
 Litófagos (Moluscos): 104.  
 Litogénesis: 107.  
 Litografía: 3.  
 Litográfica (Caliza): 246.  
 Litoral (Zona): 96.  
 Litorales (Arrecifes): 119.  
 " (Cordones): 113.  
 Litosfera: 78.  
 " (Corte ideal de la): 151.  
 Litosideritos: 70.  
 Localización de los plegamientos: 150.  
 Lodo (Volcanes de): 165.  
 Loes (Formación del): 49, 106, 188, 248.  
 " argentino: 198.  
 Longitudinal (Falla): 133, 134.  
 Longitudinales (Ondas): 156.  
 " (Grietas): 156.  
 Lumaquelas: 56, 247.  
 Luz para los seres vivos: 87.

## LL

Llanura chaco-bonaerense: 226.

## M

Macalubas: 164.  
 Macranchenia: 198.  
 Macrosismos: 156.  
 Madrépora: 119.  
 Madrepórica (Caliza): 56.  
 Madrepóricas (Formaciones): 119.  
 Magdaleniense: 190.  
 Magma: 5.  
 " (Composición del): 15.  
 Mainka (Sismógrafo): 156.  
 Malpaíses: 42.

Malvinas: 218.  
 Manganeso (Minerales de): 205.  
 Manganita: 205.  
 Mangrovas: 96.  
 Mantos carboníferos: 209.  
 Mar en las costas: 113.  
 Marcou: 193.  
 Maremotos: 156.  
 Mareas: 112.  
 " de la corteza: 155.  
 Mares (Distribución de los): 80.  
 Marga: 246.  
 Margas: 44, 49.  
 Marginales (Grietas): 144.  
 Marina (Sedimentación): 115.  
 Marinas (Corrientes): 112.  
 " (Zonas): 96.  
 Marinos (Hielos): 147.  
 " (Seres): 95.  
 Marmitas de gigantes: 113, 137.  
 Mármoles: 69, 246.  
 Masa (Rocas en): 5.  
 " de la tierra: 76.  
 Mascaret: 114.  
 Maskelyne: 76.  
 Mastodonte: 188.  
 Mataco: 198.  
 Matas alpinas: 90.  
 Materias de los volcanes: 163.  
 " en suspensión: 111.  
 Maupertuis: 73.  
 Meandros: 137.  
 Mecánico (Análisis): 236.  
 " (Metamorfismo): 61.  
 Mecánicos (Sedimentos): 107.  
 Mecanismo de las erupciones: 160.  
 Médano invasor: 220, 225.  
 Mediterráneo central: 191.  
 Megalíticos (Monumentos): 190.  
 Megaterio: 198.  
 Meláfido: 32, 240.  
 Mendoza (Petróleo de): 210, 222.  
 Menhires: 190.  
 Mesas de los glaciares: 144.  
 Mesopotámico: 224, 226.  
 Mesozoicas (Formaciones): 196.  
 Mesozoico (Grupo): 181.  
 Metálicos (Meteoritos): 70.  
 Metalíferos (Filones): 168.  
 " (Yacimientos): 201.  
 Metamórficas (Rocas): 6.

Metamorfismo: 61.  
 Meteoritos: 70.  
 Mezclas (Teoría de las): 16.  
 Mica: 208.  
 Micacita: 67.  
 Micacitas: 250.  
 Micasquisto: 67.  
 Micrográfico (Análisis): 236.  
 Microlitos: 253.  
 Microquímico (Análisis): 236.  
 Microscópica (Investigación): 8.  
 Microsismos: 156.  
 Milodonte: 198.  
 Minas (Dirección de): 221.  
 " (División de): 218.  
 Mindeliense: 188.  
 Minerales (Aguas): 212.  
 Mineralogía (Noción de): 2.  
 Mineralógica (Composición): 12.  
 Minet: 28.  
 Mioceno: 187.  
 Mirtáceas (Zona de las): 90.  
 Misiones (Geología de): 227.  
 Mixtos (Meteoritos): 70.  
 " (Sedimentos): 107.  
 Modernas (Rocas): 29.  
 Modificaciones de Lapparent: 82.  
 " del relieve: 141.  
 Mofetas: 164.  
 Molasa: 48.  
 " patagónica: 197.  
 Molasas: 44.  
 Molibdenita: 204.  
 Molibdeno (Minerales de): 204.  
 Monoclinal (Pliegue): 129.  
 Montano (Piso): 93.  
 Montserrat: 105, 186.  
 Monumentos megalíticos: 190.  
 Moreno: 217.  
 Morrenas: 145.  
 Movediza (Piedra): 234.  
 Movilismo: 152.  
 Movimiento de los glaciares: 144.  
 Movimientos: 149.  
 " orogenéticos: 191.  
 Muerte de la tierra: 257.  
 Mulita: 198.  
 Murray: 106.  
 Muscovita: 238.  
 Museo de La Plata: 217.  
 Musgos Sphagnum: 118.

## N

Nájera: 220.  
 Napas freáticas: 138.  
 Naturaleza del suelo: 87.  
 Neander: 191.  
 Neanderthal: 190.  
 Neártica (Región): 91.  
 Necton: 95.  
 Nefelítico (Basalto): 40.  
 Negros (Elementos): 12.  
 Neógeno (Sistema): 187.  
 Neolítico: 190.  
 Neotropical (Región): 91.  
 Neptúnic (Hipótesis): 167.  
 Neptúnicas (Rocas): 110.  
 Neptúnicos (Sedimentos): 106, 107.  
 Nereites: 176.  
 Nerítica (Zona): 96.  
 Neutras (Rocas): 18.  
 Newton: 73.  
 Nieves: 142.  
 Nífe: 78.  
 Nival (Piso): 93.  
 Nivel hidrostático: 138.  
 Nivelaciones de precisión: 153.  
 Nobel: 7.  
 Noción de facies: 122.  
 Nomenclatura geológica: 171.  
 Nordensk: 217.  
 Norita: 23, 37.  
 Normal (Falla): 134.  
 " (Pliegue): 130.  
 Normales (Porfiritas): 31.  
 Nubes ardientes: 113.  
 Núcleos continentales: 191.  
 Nummulares (Piedras): 247.  
 Nummulítica (Caliza): 56, 247.

## O

Obeliscos: 238.  
 Obermaier: 189.  
 Oblicua (Falla): 134.  
 Obsidiana: 41, 206.  
 Obsidius: 41.  
 Oceánicas (Cuencas): 83, 85.  
 Ocres: 208.  
 Oficalcia: 69.  
 Ofita: 34.  
 Ofítico (Tipo): 14.  
 Oleaje: 112.

Oligoceno: 186.  
 Ollas: 137.  
 Ondas sísmicas: 156.  
 Onix (Mármol): 69, 208.  
 Oolítica (Caliza): 246.  
 Oolítico: 183.  
 Oolitos: 116.  
 Opalos: 206.  
 Orbicular (Diorita): 22.  
 Orgánicas (Rocas): 45, 55.  
 Orgánicos (Sedimentos): 117.  
 Organismos vivos: 99.  
 Organos geológicos: 40.  
 Origen de los Andes: 199, 231.  
 " " " yacimientos: 201.  
 Ornamentales (Piedras): 208.  
 Oro (Minerales de): 205.  
 Orogenésis: 66, 102, 148.  
 Orogenéticos (Movimientos): 148, 149, 191.  
 Ortogonal (Red): 150.  
 Ortomagmática (Fase): 201, 203.  
 Oscurivola (Fauna): 92.  
 Oxidación: 141.  
 Oxígeno: 94.  
 " del aire: 104.

## P

**Pacífico** (Océano): 85.  
 Palafitos: 190.  
 Paleártica (Región): 91.  
 Paleolítico: 190.  
 Paleontología: 135.  
 Paleontológicos (Caracteres): 135.  
 Paleotermal: 254.  
 " (Fenómeno): 180.  
 Paleozoicas (Formaciones): 195.  
 Palmáceas (Zona de las): 90.  
 Pampa de las Piedritas: 229.  
 Pampeana (Formación): 198.  
 Pampeanas (Sierras): 233.  
 Pampeano: 224.  
 Pangazo (Estratos del): 218.  
 Pantalasa: 78.  
 Paquiruco: 197.  
 Paracласas: 133.  
 Paragneis: 66.  
 Paraná (Delta del): 114.  
 Patagonia: 193.  
 " (Geología de la): 229, 230.  
 Patagónico (Terciario): 197.

Pavimentación (Piedras de): 208.  
 Pegmatita: 20.  
 Pegmatítico-pneumatolítica (Fase): 201, 204.  
 Pelágica (Zona): 115.  
 Pelense (Tipo): 161.  
 Pelicosaurio: 179.  
 Pelíticas (Rocas): 45, 49.  
 Pelítico (Tipo): 14.  
 Pelíticos (Sedimentos): 111.  
 Peludo: 198.  
 Péndulos: 156.  
 Penk: 220.  
 Pentagonal (Red): 149, 150.  
 Perforaciones de la Capital: 224.  
 Pericontinental (Zona): 96.  
 Peridotita: 24.  
 Periodo actual: 220.  
 " algonkiense: 174.  
 " antracolíptico: 179.  
 " arcaico: 173.  
 " cámbrico: 176.  
 " cretáceo: 184.  
 " devónico: 178.  
 " eógeno: 186.  
 " jurásico: 183.  
 " neógeno: 187.  
 " paleolítico: 190.  
 " silúrico: 177.  
 " triásico: 182.  
 Periodos geológicos: 171.  
 Perlita: 41.  
 Perpetuas (Nieves): 142.  
 Persistentes (Nieves): 142.  
 Pétreos (Meteoritos): 70.  
 Petrografía: 2, 3, 235-251.  
 Petrográficas (Síntesis): 253.  
 Petrográficos (Caracteres): 135.  
 " (Minerales): 12.  
 Petróleos argentinos: 210.  
 Petrolíferas (Exploraciones): 222.  
 Peyloubet: 131.  
 Pie de Sierra: 229.  
 Piedra de molino: 48.  
 " " sapo: 208.  
 " " Tandil: 234.  
 " litográfica: 246.  
 " pómez: 41.  
 " tallada: 190.  
 Piedras caballerías: 20.  
 " de pavimentación: 208.  
 " preciosas: 206.

Piezométrica (Superficie): 138.  
 Pilar: 134.  
 Pirineicos (Movimientos): 186.  
 Piroclásticas (Rocas): 59.  
 Pírolusita: 205.  
 Piropos (Granates): 206.  
 Piroxenita: 24.  
 Piso (Noción de): 171.  
 Pisolítica (Caliza): 246.  
 Pitágoras: 72.  
 Pizarra anfibólica: 67.  
 " arcillosa: 50, 251.  
 Pizarras cristalinas: 60, 67.  
 " de tejar: 49.  
 Pizarrines: 251.  
 Pizarrosidad: 251.  
 Plagioclásico (Basalto): 40.  
 Planetaria (Fase): 170.  
 Planifolias (Especies): 93.  
 Plano de falla: 133.  
 Plantas leñosas: 90.  
 Plástica (Arcilla): 245.  
 Plata (Minerales de): 205.  
 Plataforma submarina: 192.  
 Plataformas continentales: 81.  
 Platino: 203.  
 Plauenita: 21.  
 Playas: 113.  
 " levantadas: 102.  
 Plaza Huincul: 210, 222.  
 Plegados (Estratos): 131.  
 Plegamiento (Zona): 149.  
 Plegamientos: 150.  
 " orogénicos: 191.  
 Pleistoceno: 188.  
 Plesiosaurios: 183.  
 Pliegues (Tipos de): 130.  
 " de los estratos: 129.  
 Plioceno: 187.  
 " argentino: 197.  
 Plomada: 76.  
 Plomo (Método del): 256.  
 " (Minerales de): 205.  
 Plutón: 5.  
 Plutónica (Fase): 169.  
 " (Hipótesis): 167.  
 Plutónicas (Rocas): 5.  
 Polar (Zona): 90.  
 Polvo de esmeril: 236.  
 Pómez: 41.  
 Porfídico (Granito): 26.

Porfido: 30.  
 " cuarcífero: 30.  
 " negro: 240.  
 Porfírica (Estructura): 10.  
 Porfirita: 31.  
 Porfiroide (Tipo): 14.  
 Porroca: 114.  
 Porta objetos: 8.  
 Porvenir de la tierra: 257.  
 Posición de los estratos: 125.  
 Potásicas (Sales): 54.  
 Potencia de los estratos: 124.  
 Pouillet: 257.  
 Pozo artesiano: 139.  
 Pratt (Teoría de): 157.  
 Precámbrico: 174.  
 Precesión de los equinoccios: 254, 255.  
 Preciosas (Piedras): 206.  
 Precordillera: 232.  
 Prehistoria: 189.  
 Prehistóricas (Razas): 190.  
 Preparación de las rocas: 236.  
 Preparada (Creta): 247.  
 Prepuna: 215.  
 Primitiva (Era): 172.  
 Primitivos (Terrenos): 172.  
 Principales meteoritos: 70.  
 Principios estratigráficos: 135.  
 Proceso de un geosinclinal: 131.  
 Productos de los volcanes: 163.  
 Profundidades oceánicas: 84.  
 Propagación de los sismos: 156.  
 Proporción de tierras: 80.  
 Psafíticas (Rocas): 45, 47.  
 Psafíticas (Sedimentos): 111.  
 Psamíticas (Rocas): 45, 48.  
 Psamíticos (Sedimentos): 111.  
 Psicozoica (Era): 188.  
 Psilomelano: 205, 206.  
 Pterosaurios: 183.  
 Pudingas: 47.  
 Puna de Atacama: 215, 219.  
 Punita: 41.  
 Puzzolana: 163.

Q

Quesnel: 218.  
 Química (Hipótesis): 167.  
 Químicas (Rocas): 45, 50.  
 Químico (Análisis): 236.  
 Químicos (Sedimentos): 107, 116.

## R

**Radioactivos** (Métodos): 256.  
 radiolarios: 117.  
 rafaélita: 209.  
 rápido de un río: 137.  
 Rasmuss: 220.  
 raza de Cro-Magnon: 190.  
 „ „ Neanderthal: 190.  
 razas prehistóricas: 190.  
 recolección de rocas: 235.  
 red ortogonal: 150.  
 „ pentagonal: 149, 150.  
 referencia (Elipsoide de): 74.  
 reflujo: 112.  
 regional (Geología): 223-234.  
 „ (Metamorfismo): 63.  
 regionales (Levantamientos): 218.  
 regiones de la atmósfera: 79.  
 „ „ los ríos: 137.  
 „ „ nieves: 142.  
 „ „ zoogeográficas: 90, 91.  
 registro de terremotos: 156.  
 regresiones marinas: 154.  
 regresiva (Estratificación): 127.  
 relativa (Duración): 171.  
 relieve (Modificaciones del): 141.  
 „ argentino: 192.  
 relieves terrestres: 82.  
 repartición de las tierras: 80.  
 reproducción de rocas: 237.  
 resurgentes (Fuentes): 140.  
 retinita: 41.  
 retroceso de un acantilado: 113.  
 retumbos: 160.  
 riolita: 38.  
 ríos: 137.  
 „ (Desembocadura de los): 114.  
 rissense: 188.  
 roca (Definición de): 4.  
 „ de Tandil: 104.  
 rocas (Recolección de): 235.  
 „ calcáreas: 119.  
 „ carbonosas: 118.  
 „ de aplicación: 208.  
 „ ígneas: 5.  
 „ silíceas: 120.  
 Rosenbusch: 253.  
 rubi: 206.  
 rumbo de los estratos: 124.  
 Rynchonella: 177, 181.

## S

**Sacaroidea** (Caliza): 246.  
 Sacaroideo (Mármol): 69.  
 Sal común: 116.  
 „ gema: 53.  
 Saladares: 53.  
 Saladas (Aguas): 94.  
 Salares: 207.  
 Salbandas: 168.  
 Sales (Yacimientos de): 207.  
 „ potásicas: 54.  
 Salinas grandes: 207.  
 Salta (Geología de): 228.  
 „ (Petróleo de): 210, 222.  
 Salto: 137.  
 „ de falla: 133.  
 Salvajes (Aguas): 137.  
 Salzas: 165.  
 Sapo (Piedra de): 208.  
 Sapropélicas (Substancias): 119.  
 Scheelita: 204.  
 Schiller: 218.  
 Sección de un glaciar: 143.  
 Secreción (Filones de): 168.  
 Secundaria (Era): 181.  
 Sedimentación: 83, 108-124.  
 „ marina: 115.  
 Sedimentarias (Rocas): 5, 43-59, 237.  
 Sedimentos: 107.  
 „ detríticos: 111.  
 „ orgánicos: 117.  
 Semipreciosas (Piedras): 206.  
 Semivítrea (Estructura): 10.  
 Separación de elementos: 15.  
 „ „ minerales: 7.  
 Seres marinos: 95.  
 „ vivos: 87, 89, 93, 104.  
 Serie andesítica: 197.  
 Series geológicas: 171.  
 Serpentina: 208.  
 Servicio hidrogeológico: 220.  
 Shottsberg: 218.  
 Sial: 78, 131, 132, 151, 152.  
 Sienita: 21.  
 Sienítico (Granito): 26.  
 Sierras Bonaerenses: 234.  
 „ Pampeanas: 233.  
 Sigillaria: 177.  
 Silicatificación: 104.  
 Silíceas (Rocas): 45, 58, 120.  
 Silúrico (Sistema): 177.

Sima: 78, 131, 132, 151, 152.  
 Simple (Discordancia): 127.  
 Sinclinal: 129.  
 Sinclinales (Teoría de los): 131.  
 Síntesis petrográficas: 253.  
 Sismógrafos: 156.  
 Sismogramas: 156.  
 Sismos: 156.  
 Sistema algonkiense: 174.  
 " antracolicó: 179.  
 " arcaico: 173.  
 " cámbrico: 176.  
 " cretáceo: 184.  
 " de Salta: 215, 228.  
 " devónico: 178.  
 " eógeno: 186.  
 " jurásico: 183.  
 " neógeno: 187.  
 " silúrico: 177.  
 " tetraédrico: 150.  
 " triásico: 182.  
 Sistemas geológicos: 171.  
 Smith: 252.  
 Soffioni: 165.  
 Solar (Calor): 254.  
 Sólidos (Combustibles): 209.  
 " (Productos): 163.  
 Soluciones densas: 7.  
 Solutrense: 190.  
 Sombrero de hierro: 202.  
 Sosneado (El): 222.  
 Sphagnum: 209.  
 Standard Oil Company: 222.  
 Stappenbeck: 211, 218, 248.  
 Stefenson: 113.  
 Stelzner: 193, 215, 216.  
 Stevens: 72.  
 Stub: 131.  
 Subalpino (Piso): 93.  
 Subandino (Terciario): 197, 228.  
 Subártica (Zona): 90.  
 Sublimación (Filones por): 168.  
 Submarina (Plataforma): 192.  
 Submarinas (Erupciones): 162.  
 " (Plataformas): 81.  
 Submontano (Piso): 93.  
 Subpisos: 171.  
 Subterráneas (Aguas): 137.  
 " (Corrientes): 140.  
 Subtropical (Zona): 90.  
 Suelo (Naturaleza del): 87.  
 " emergido: 192.

Sulfatados (Sedimentos): 116.  
 Sulfataras: 164.  
 Superficie (Fuentes de): 138.  
 " piezométrica: 138.  
 " terrestre: 74.  
 Surcos oceánicos: 83.  
 Surgentes (Aguas): 139.  
 Suspensión (Materiales en): 111.  
 Swedonborg: 252.

## T

**Talcita:** 67.  
 Talco: 208.  
 Talcoquisto: 67.  
 Tales de Mileto: 157.  
 Talud continental: 83.  
 Tallada (Piedra): 190.  
 Tamizado de las rocas: 7, 236.  
 Tandil (Piedra de): 104, 234.  
 Tandilia: 225.  
 Tangenciales (Empujes): 149.  
 Tapia: 220.  
 Tartagal: 222.  
 Tectónica (Noción de): 2.  
 " (Falla): 134.  
 Tectónicas (Fosas): 132.  
 Tectónicos (Terremotos): 157.  
 Tejar (Pizzara de): 49.  
 Teoría de Aristóteles: 157.  
 " " la isostasia: 151.  
 " " los geosinclinales: 131.  
 " " Tales de Mileto: 157.  
 " del equilibrio isostático: 131.  
 " " vulcanismo: 149.  
 " neptuniana:  
 Templada (Zona): 90.  
 Terciaria (Era): 185.  
 Terciarios (Formaciones): 197.  
 Terciario subandino: 197.  
 Terebrátulas: 181.  
 Termal (Metamorfismo): 61.  
 Termales (Fuentes): 165.  
 Término de la tierra: 258.  
 Termominerales (Aguas): 212.  
 Terrazas: 137.  
 Terremotos: 156.  
 Terrenos: 135.  
 Terrestre (Achatamiento): 73.  
 " (Atmósfera): 79.  
 " (Superficie): 74.  
 Terrígena (Zona): 115.

tetraédrico (Sistema): 150.  
 textura de las rocas: 10.  
 metys: 179.  
 noulet: 7.  
 erra (Constitución de la ): 78.  
 " (Densidad de la): 76.  
 " (Dimensiones de la): 75.  
 " (Forma de la): 72.  
 " amarilla: 248.  
 " de infusorios: 58, 120.  
 " " porcelana: 245.  
 " " vino: 245.  
 " firme: 148.  
 " vegetal: 49.  
 erras: 208.  
 " (Distribución de las): 80.  
 pos de erupciones: 161.  
 " " facies: 122.  
 " " fallas: 134.  
 " " pliegues: 130.  
 " " rocas: 14.  
 potérico: 197.  
 za: 247.  
 bas calizas: 51, 246.  
 " volcánicas: 59.  
 rca: 141.  
 rianita: 256.  
 rnalita: 22.  
 rrentes: 137.  
 rca: 51, 198.  
 odonte: 198.  
 óntido: 197.  
 abajo de los ríos: 137.  
 abajos de petrografía: 235-251.  
 ansformación de los yacimientos: 202.  
 ansformaciones de las rocas: 17.  
 ansgresiones marinas: 154.  
 ansgresiva (Estratificación): 127.  
 ansporte: 106.  
 " de los glaciares: 145.  
 " del agua: 106.  
 ansversa (Falla): 133, 134.  
 ansversales (Filones): 168.  
 " (Grietas): 144.  
 " (Ondas): 156.  
 aquita: 39.  
 aquítico (Tipo): 14.  
 avertino: 51, 208, 246.  
 iásica (Formación): 196.  
 iásico (Sistema): 182.  
 ilobites: 175, 180.  
 ipodonte: 197.

Trípoli: 58, 120.  
 Tropical (Zona): 90.  
 Tropopausa: 79.  
 Troposfera: 79.  
 Tucumán (Geología de): 228.  
 Tuff (Creta): 247.  
 Tungsteno (Minerales de): 204.  
 Tupungato: 222.  
 Turba: 118, 209.  
 Turberas: 118, 209.  
 Turmalina: 206.

## U

**Ullexita:** 207.  
 Ulloa: 73.  
 Uniformidad de la zona abisal: 96.  
 Uralita: 251.

## V

**Vaciante (Marea):** 112.  
 Valle (Fuentes de): 138.  
 Valles oceánicos: 83.  
 Vapor de agua: 104.  
 Variolita: 23.  
 Vauculianas (Fuentes): 140.  
 Vegetación (Zonas de): 90.  
 Vegetal (Tierra): 49.  
 Velocidad de los glaciares: 144.  
 Ventisqueros: 144.  
 Vertical (Desviaciones de la): 155.  
 " (Falla): 134.  
 " (Sismógrafo): 156.  
 Verticales (Empujes): 149.  
 Vida en aguas dulces: 97.  
 " " las cavernas: 92.  
 Vidrios volcánicos: 41.  
 Viento (Acción del): 106.  
 Vino (Tierra del): 245.  
 Vitrea (Estructura): 10.  
 Vivos (Seres): 89, 93, 104.  
 Volcanes: 159.  
 Volcánicas (Arenas): 242.  
 " (Manifestaciones): 200.  
 " (Rocas): 5, 59.  
 Volcánicos (Terremotos): 157.  
 Vulcaniense (Tipo): 161.  
 Vulcanismo: 83.  
 " (Hipótesis sobre el): 167.  
 " (Teoría del): 149.  
 Vulcanistas: 252.

## W

- Wegener: 254.  
Wernier: 252.  
Wichmann: 220.  
Wiechert (Sismógrafo): 156.  
Windhausen: 146, 192, 197, 199, 200,  
220, 222, 226, 231, 234.  
Wolframita: 204.  
Wurmiense: 188.

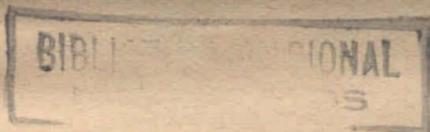
## Y

- Yacimientos argentinos: 201-212.  
" de sales: 207.  
" metalíferos: 201.

- Yacimientos petrolíferos: 210.  
Yeso: 52, 116, 207.

## Z

- Zócalo continental: 81, 82.  
Zócalos: 238.  
Zirconsiénita: 21.  
Zona de alteración: 138.  
" " cementación: 202.  
Zonas de plegamiento: 149.  
" " vegetación: 90.  
" marinas: 96.  
" litorales: 115.  
Zoógenos (Sedimentos): 107.  
Zoogeográficas (Zonas): 91.  
Zoológica (Geografía): 86.



BIBLIOTECA NACIONAL  
DE MAESTROS

no 48091  
13/11/85.



3  
551  
956

