



ES PROPIEDAD

LA HISTORIA DE LA TIERRA

CAPITULO PRIMERO

HISTORIA DE LAS TEORÍAS GEOLÓGICAS



La historia de la Tierra: su interés, su papel intermedio entre las ciencias históricas y las ciencias físicas.—Las tendencias opuestas del espíritu humano: actualismo, catastrofismo y evolucionismo; su relación íntima con todas las opiniones filosóficas, religiosas y científicas. El carácter quizá atávico de las dos últimas y su combinación en los sistemas de los griegos y de los hebreos.—Triunfo alternativo de estas tres teorías en la historia de las ideas geológicas. Evolucionismo de Babilonia, de Heráclito y de los pitagóricos. Catastrofismo de las religiones antropomórficas.—Reacción actualista del Renacimiento (Leonardo de Vinci y Palissy).—Los principios de Stenon.—Actualismo de Buffon.—Catastrofismo de Cuvier, de Orbigny y de Elie de Beaumont.—Evolucionismo de Lamarek y Darwin.—Actualismo de Lyell. Retorno actual al catastrofismo y á la saltación.

El papel de la ciencia geológica.—El espíritu humano no suele satisfacerse con el presente, demasiado breve y bien pronto desaparecido en la nada cuando se trata de fijarlo, porque una instintiva curiosidad le impulsa hacia

esas dos profundidades tenebrosas que preceden y que siguen su pensamiento efímero. El hombre quisiera averiguar todo lo que ha existido antes de él y aun ambicionaría más: prever lo que pasará después, si esto fuera posible. Tal es, en realidad, el doble fin de la Historia: conocer la sucesión de los acontecimientos pasados y deducir de ellos las leyes que habrán de determinar los sucesos futuros. Este porvenir, cuyo secreto se pedía antes á las sibilas, á los astrólogos, á los sonámbulos y á los quirománticos, pretendemos deducirle científicamente de la experiencia adquirida. De este modo la Historia se amplía, pues circunscrita al pasado, sólo satisfaría una pueril curiosidad. Los horizontes que la Historia nos abre sobre lo futuro la prolongan hasta el infinito.

En la historia de la Tierra antes del hombre, más aún que en la historia de los acontecimientos humanos, aparece directamente esta doble tendencia. Exploración del pasado, en cuyo sentido podemos considerarla histórica, como la arqueología ó la prehistoria; previsión de lo porvenir, en que casi se transforma en una ciencia física, puesto que se une íntimamente á todos los demás esfuerzos por los cuales se trata de interpretar físicamente la Naturaleza: mecánica, astronomía, química, etc. Proponiéndose la ciencia geológica reconstituir la parte realizada de esta historia, tiene también la temeridad de querer adivinar su continuación. Claro es que no habrá de adquirir el carác-

ter absolutamente científico hasta el día en que sus leyes estarán bastante bien asentadas para autorizarla á anunciar su consecuencia lógica, como se hace hoy con una reacción química ó con una experiencia física una vez comenzadas.

La historia de la Tierra de que ahora tratamos, es la de la materia bruta que nos rodea, y es también la de los seres vivos, á los cuales sirve de apoyo esta materia. Cuando buscamos temerariamente las leyes de esta historia, nuestra presunción nos lleva hasta el extremo de querer profetizar la evolución futura de la vida y de la materia. Todavía nos encontramos muy lejos de alcanzar semejante resultado, y nuestras ambiciones son mucho más modestas, por el momento; pero no por eso ha de estarnos prohibido, aunque sea en un porvenir muy vago, muy incierto, acariciar la esperanza de que habrá de llegar un día en que resulte posible alcanzar el máximum de interés filosófico, con los estudios pacientes y minuciosamente continuados sobre nuestros fósiles y sobre nuestros guijarros.

Esta historia de la Tierra, que hay necesidad por de pronto de escribir período tras período y punto por punto, antes de pensar en determinar sus leyes generales, no ofrece á nuestras investigaciones nada semejante á lo que existe en la historia humana. Ningún testigo directo, ningún antepasado interrogando á la tradición inmediata de los supervivientes, han podido señalarnos el menor

jalón. No hay relatos, ni recuerdos, ni archivos. Los documentos que necesitamos yacen esparcidos en el suelo como esos monumentos sin inscripciones que algunas veces encuentra el arqueólogo; pero, por su modo de estar enterrados, por el orden en que están superpuestos, nos permiten establecer entre ellos aproximaciones y hasta clasificaciones científicas.

Cuanto más lejos se penetra en la historia humana, mayor necesidad tenemos de recurrir á este género de materiales, y más el método arqueológico tiende á emplear los procedimientos de la geología. Se está ya en pleno dominio de esta ciencia cuando llegamos, en la profundidad del pasado, á esos períodos primitivos en que los hombres, desconociendo quizá su condición de seres humanos, se limitaban á vivir bestialmente y á luchar entre sí para desaparecer, sin dejarnos otras huellas de su paso por el planeta que algunos artefactos de pesca ó de caza y sus hachas de piedra sin pulir. Desde este momento, se penetra con facilidad en la noche de los tiempos en que el hombre no existía, para retroceder paso á paso hasta edades aún más remotas, en las cuales ni siquiera había surgido la vida, llegando, por último, á los períodos cósmicos, en que los propios elementos terrestres, perdidos en el espacio infinito, no habían alcanzado todavía, coordinándose y diferenciándose, esta especie de individualidad que hoy alcanza la materia.

Toda la historia del pasado, á pesar de la

diversidad de las ciencias que lo exploran y de las distintas categorías de sabios que desenterran restos en tal ó cuál recinto, forma, pues, un todo absoluto. En el principio de las cosas, con el auxilio de la Astronomía, y con el de la Física especialmente, y algo también con el de la Geología, podemos imaginarnos la agrupación, la coordinación primordial de los elementos terrestres. Más tarde, la Tierra así constituída se ha plegado, deformado y deshecho en fragmentos; los océanos se han paseado por su superficie, dejando en ella sus depósitos mezclados y confundidos al azar. Las montañas surgen para desaparecer bien pronto. Entonces, mientras que estos movimientos continúan sin cesar, la vida aparece, se desarrolla y evoluciona. El nacimiento y la extinción de faunas diversas, han marcado etapas distintas combinadas y mezcladas con aquellas otras que fijaban la elevación de las montañas ó los movimientos de las aguas. Desembrollar, elucidar esta serie de acontecimientos complejos, explicar su causa, su encañamiento y su modo de acción, constituyen la obra principal de la ciencia geológica (1).

Por último, en una etapa final, sobre esta Tierra en que aún no existían más que áto-

(1) No pudiendo dar aquí más que una ligera idea de la *Ciencia geológica*, remito al lector que desee más detalles á la obra que con este título he publicado (Paris, Armand Colin, 1905), donde he tratado de estudiar los métodos, los resultados y los problemas aún planeados y la historia de esta ciencia. Al mismo tiempo,

mos inertes ó seres vivientes incapaces de fijar sus recuerdos, se presenta un ser nuevo, que tenía el culto del pasado, que se dedicaba á registrar los incidentes de su existencia fugitiva, y que poseía, con la memoria, el instrumento preciso para perpetuarla. Desde este momento comienza para nosotros un dominio de investigaciones distinto, dominio en que la Historia propiamente dicha sucede á la Geología; pero á despecho de las apariencias, la Física, la Geología y la Historia prosiguen, si es permitido establecer una relación de continuidad entre las manifestaciones designadas por lo general con el nombre de materia, de vida y de pensamiento, el estudio de fases sucesivas en una misma evolución. Prolongando entre ellas por inducción la curva geométrica, con la que se puede pretender fijar la órbita ya descrita, estamos autorizados para imaginar el resto del camino futuro que queda por recorrer aún.

Pero, á pesar de la unidad de todos estos fenómenos, sobre la cual acabo de insistir, no habremos de tratar de la historia humana, que constituye un ligero, un breve episodio en la historia de la Tierra. La aparición del hombre, extremadamente reciente, señala, no una transformación en los fenómenos mismos, proseguídos con toda evi-

me excuso de haber reproducido ciertas conclusiones de esta obra, puesto que en tan breve intervalo no podían ser modificadas.

dencia de una manera análoga después como antes de este incidente, sino un mero cambio en los métodos que empleamos para estudiarlos. Para los pocos millares de años transcurridos desde que el hombre ha adquirido la personalidad humana, y, consciente ó inconscientemente, inscribió los movimientos más fugitivos, las menores variaciones de su ser y de su pensamiento, la historia se pierde en infinitos detalles, se esparce, se condensa en matices imperceptibles, se consagra, en una palabra, á registrar los cambios de un día ó de una hora, en tantas páginas como anteriormente dedicaba á decenas ó centenas de siglos, existiendo una desproporción absoluta entre la que podemos llamar historia de la Tierra antes del hombre, y la de la Tierra después de este período. Dejaremos, pues, esta última á un lado, y si hemos de estudiar con gran cuidado las formas actuales de la materia y de la vida, lo haremos sólo para encontrar en ellas los puntos precisos de comparación que habrán de guiarnos al través de las tinieblas del pasado.

Catastrofismo, evolucionismo y actualismo.— No siempre se ha considerado este conjunto de fenómenos de la misma manera que vamos á emplear nosotros, y acaso en lo porvenir se le dé una interpretación distinta. Reconstruir rápidamente la historia de la Ciencia geológica, será mostrar las concepciones diversas que el hombre se ha formado

sobre la historia misma de la Tierra, y quizá también explicar de qué modo ha ido asentándose nuestra teoría actual respecto á este asunto.

La primera idea del hombre, arrojado desnudo en medio de un mundo incomprendible, debió ser la de que este mundo había existido siempre y continuaría existiendo tal como se presentaba ante sus ojos. Como un niño, este ser ignorante se creyó el centro de la Creación, y desconociendo la existencia del tiempo y la del espacio mismo, todo lo relacionaba con su persona y lo ajustaba á su medida. Pero la necesidad de defenderse le obligó bien pronto á ser observador, y su primera observación fundamental fué la de la muerte, puesto que á su alrededor todo se destruía y aniquilaba á cada instante. Esta muerte irremediable y fatal, que espanta inconscientemente á los propios animales, se impuso demasiado pronto á su atención; el remolino fugitivo de las cosas es harto evidente: los nacimientos, las destrucciones y las disoluciones finales son accidentes que se manifiestan á todas horas, para que las ideas de principio y de fin (por lo menos aparentes) no asaltaran su ánimo y para que no tratara de explicarse estos comienzos y estos fines, como los que producía él mismo en las bestias ó en las plantas por la intervención de enormes gigantes parecidos á él y mal encubiertos en las manifestaciones de su fuerza, á los cuales designó con el nombre de dioses.

Por eso adoró, en primer término, la po-

tencia fecundante, el germen misterioso de que surge la vida, al mismo tiempo que se sintió temblar ante el principio del mal que produce la muerte. La idea de una lucha entre estos dos seres, el uno creando, destruyendo el otro: tal es la génesis del dualismo primitivo, que, más ó menos deformado, se perpetúa, por último, al través de todas las religiones. Y ya sea que se atribuya el mundo al principio de la vida, glorificándole, ó ya que, por una concepción más pesimista y sutil, se hiciese de este mundo la obra del principio malo, es lo cierto que el hombre debió imaginarse muy pronto «una creación» del Cielo y de la Tierra sucediendo al caos primordial, independientemente aún de todo lo que podría asemejarse á una observación física ó geológica. Tenemos, por tanto, la primera noción de eternidad, de perpetuidad, sustituida después por la idea más justa y más precisa de que la Tierra tenía una historia, que había partido de un punto determinado y que, por consecuencia, según toda deducción lógica, que estaba destinada igualmente á tener un fin. Historia que en su origen se imaginaba, por supuesto, como muy simple, compuesta de algunos incidentes elementales, tormentas ó tempestades, análogas á las que vemos constantemente y encuadrada en sus dos términos entre dos cataclismos: creación y destrucción.

No obstante, si ciertos espíritus simplicistas podían satisfacerse con semejante explicación, en otros no tardó en presentarse la

idea de una mayor complejidad. Los fenómenos naturales más constantes, los más manifiestos, los más fácilmente perceptibles, traían en sí un correctivo á aquella concepción sumaria de divisiones en el tiempo, que repugna de igual modo al instinto primitivo como á nuestra filosofía refinada. En lugar de un comienzo y de un fin absolutos, tan difíciles, tan penosos de concebir, la idea del cielo, idea que domina todo el mundo físico, facilitaba para todos los fenómenos más sutiles, en que el cielo no se manifiesta á primera vista, la sugestión de una hipótesis semejante. La tempestad ruge, después el azul reaparece, el Sol se pone y sumerge el cielo en tinieblas, pero es para renacer irradiando nuevos rayos al cabo de pocas horas; el invierno detiene la marea ascendente de la savia y cubre el suelo de escarcha; pero la primavera llega algunos meses después, y vuelven á germinar las flores y á cantar los pájaros en sus nidos. ¿Cómo no adorar entonces el poder solar que disipa las sombras á cada aurora? ¿Cómo no extasiarse con alegría ante la resurrección anual de Adonis, de Proserpina, de Osiris? Ciertamente es que sucumben los hombres continuamente; pero no están muertos, sino invisibles, como lo estaba en su vida misma el pensamiento que impulsaba su cuerpo y que constituía su personalidad real, la Psiquis ideal, en una palabra. Puesto que los nacimientos corresponden á los muertos, ¿no hay emigración desde la tumba á la cuna? En vez de marchar por una curva más ó me-

nos complicada de un punto á otro, ¿la creación no describe círculos que sin cesar la vuelven á conducir al mismo punto? El símbolo eterno, ¿no es, por ventura, según una antigua imagen, la serpiente enroscada que se muerde la cola? A los cataclismos, ¿no habrá que sustituir la idea de movimiento continuo de la evolución? Al antropomorfismo de los buenos y de los malos gigantes imponiendo repentinas sentencias, ¿no sucederá el panteísmo de leyes inmutables, arrastrando en pos de sí manifestaciones variadas, aunque periódicas?

Estas dos hipótesis fundamentales, que se pueden considerar como independientes de toda observación natural precisa y concebidas por simple deducción metafísica, por simple tendencia innata del espíritu, dominando aquí ó allá, según las razas, resultan de tal modo necesarias, y son además las únicas capaces de facilitar una interpretación general de los fenómenos, que no se debe extrañar que desde el alba del pensamiento humano, ó por lo menos desde el primer día en que hemos llegado á tener un conocimiento cualquiera de este pensamiento, las veamos aparecer con toda claridad, y que hasta en los momentos actuales continúen imperando, bajo una forma menos grosera, más ó menos combinadas una con otra, disputándose por igual todos los espíritus preocupados del más allá. Como veremos bien pronto, ya una ó ya otra de ambas hipótesis adquieren la ventaja en el campo especial de inves-

tigaciones que ahora nos interesa, y las dos, á medida que la Ciencia se desarrollaba y exigía mayor precisión, se ven obligadas á apoyarse sobre observaciones é interpretaciones contradictorias. Siempre han existido, y quizá continuarán existiendo en lo porvenir, espíritus que se fijan especialmente en las divisiones, otros que se dejan impresionar por los acontecimientos inesperados, y algunos á quienes seduce el encadenamiento ingenioso de las continuidades. Ambos sistemas pueden defenderse. De una manifestación cualquiera á otra, se pueden siempre (y éste es el peligro) descubrir transiciones; la luz y la sombra constituyen un mismo hecho, aunque parecen existir entre ellas demarcaciones, que se imponen con toda evidencia cuando se establece el contacto entre términos extremos. Según se agrupen en un sentido ó en otro los elementos de la serie, tal ó cual conclusión resulta ineludible. Y si, por ejemplo, tomamos el fenómeno cuya gravedad aparente domina á los demás, si consideramos la muerte, podemos no ver en ella otra cosa más que el cambio repentino que transforma un ser vivo y pensante en un cadáver helado y rígido, ó seguir en sus transiciones progresivas el retorno de los elementos disgregados que formaban este ser, á otros seres vivientes y activos, por el intermediario de aquella cosa sin nombre de que nos habla Bossuet. Por eso unos pensadores se fijan en el detalle y otros en el conjunto, de modo que la preferencia por el catastrofismo ó el

evolucionismo, por el antropomorfismo y el panteísmo se verifica más bien por cierta tendencia del espíritu, por cierto instinto innato, que por un razonamiento realmente sincero y riguroso. Quizá entre los hombres actuales se opera esta preferencia espontáneamente y con la ilusión de una certeza, pero es que habla en ellos la voz de los antepasados más remotos; antepasados partidos de dos puntos opuestos del mundo, con concepciones distintas, que constituían la substancia de dos razas. Quizá también, aunque esta hipótesis pueda parecer muy atrevida la primera distinción claramente marcada, se encuentra ya en los hombres de la edad de piedra en su manera de honrar á los muertos. Unos, los que desean eternizar al individuo efímero, se dedican á momificarle, aislándole en su tumba; los otros apresuran, por el poder misterioso del fuego, la disolución de sus átomos un momento agrupados, para que entren de nuevo en el torbellino incesante y continuamente renovado de los seres...

Al lector le parecerá, sin duda, que me he separado del objeto principal de este libro por una larga digresión; pero toda vez que en ella se trata de la filosofía de la ciencia geológica, acaso no resulte completamente inútil mostrar por de pronto el carácter real y las filiaciones lejanas de las dos tendencias principales, catastrofismo y evolucionismo, que, como vamos á ver, se han manifestado y dominado alternativamente, bajo diversas formas, en la historia de esta ciencia.

Habría precisión de añadir aún, para completar la lista, la disposición de espíritu de aquellos que, ya sea por pereza y pobreza de imaginación, ó ya por una reacción prudente contra vagas hipótesis, escapan ó pretenden escapar á esta necesidad de considerar el porvenir y el pasado de la manera que dejo dicho. Para algunos geólogos resulta, en efecto, que sólo el presente existe, por extraño que pueda parecer esto á otros. «El pasado y el porvenir, dicen los primeros, no son más que sombras; contentémonos con examinar el presente. El mundo siempre ha sido lo que ahora es; causas semejantes á las que vemos obrar diariamente han producido siempre iguales fenómenos: basta el presente, sin modificación alguna, para explicar el pasado; en cuanto al porvenir, poco importa; nuestros descendientes se encargarán de verlo.» Cuando empezó este modo de razonar en la historia de la ciencia geológica, ya porque los hombres fuesen demasiado ignorantes para percibir las cosas que no les interesaban de cerca, ó ya porque el abuso de las teorías sin fundamento habían producido por natural reacción la necesidad de detenerse sobre un terreno más sólido, el hecho es que se vió reinar, en vez de las dos explicaciones filosóficas (catastrofismo y evolucionismo) indicadas anteriormente, el actualismo ó el uniformitarismo, los cuales, empezando por eliminar el problema en sí, se evitan el trabajo de buscar su solución.

Pero si el actualismo exclusivo puede re-

saltar casi pueril, cuando un Leymerie, por ejemplo, se imagina explicar los volcanes haciendo quemar trozos de piritita en su laboratorio, cierta dosis de actualismo, combinada con teorías generales de mayor alcance, constituye la única base sólida en una ciencia de observación. Pronto hemos de ver cómo los mayores progresos de la geología fueron realizados por aquellos que se consagraron en primer término á observar bien los fenómenos actuales, para deducir de ellos una primera explicación de los fenómenos antiguos, apoyándose implícitamente en la hipótesis de que los mismos efectos han sido producidos siempre por las mismas causas.

En suma: las tres teorías principales con las cuales todas las demás se relacionan, pueden, por lo tanto, exponerse de este modo: 1.º El mundo ha nacido, se ha modificado y perecerá por cambios bruscos, atribuidos algunas veces á los decretos de una voluntad soberana, otras veces á la lucha entre dos principios opuestos, de cuyo triunfo ó de cuya derrota surgen periódicamente las catástrofes y las creaciones sucesivas (catastrofismo); 2.º El mundo, cualquiera que sea su origen, se ha transformado progresivamente por el efecto de leyes inmutables y fijas desde su comienzo (evolucionismo); 3.º El mundo ha sido y será siempre lo que es hoy (actualismo).

Estas teorías generales, cuyo sentido profundo he tratado de definir, mejor entran en el dominio de lo que antes se llamaba la filosofía natural que en el de la Ciencia propia-

mente dicha. Tales son las deducciones independientes de la observación, ó fundadas, por lo menos, sobre aquellas observaciones ligeras que la práctica corriente de la vida sugiere al espíritu más superficial. No ha comenzado á existir, bajo forma rudimentaria, una especie de ciencia geológica hasta el día en que en vez de razonar *a priori* en las escuelas y bajo los pórticos, se han salido los sabios al aire libre para observar el suelo y reconocer en él las huellas de los fenómenos antiguos, los cuales, por comparación con los efectos de los fenómenos actuales, es decir, por un empleo razonable del actualismo, se podía tratar de reconstituir. Entonces las hipótesis generalizadoras y las vastas síntesis cosmogónicas han encontrado, para establecerse y fundarse, el terreno de los hechos, terreno que el tiempo ha hecho cada vez más sólido, acumulando en él los materiales recogidos por una falange innúmero de trabajadores. Examinar y analizar por de pronto, deducir, sintetizando este análisis después: tal es el método general de todas las ciencias naturales, método cuya aplicación más particular á la geología indicaré pronto.

Historia de la ciencia geológica.—Al principio, las observaciones geológicas no pudieron menos de ser sumarias y completamente localizadas, aplicándose á manifestaciones aún en boga, en las cuales había entrado por mucho la costumbre. Era, pues, inevitable

que todas ellas se interpretasen en el sentido más actualista. El asombro, que es el punto de partida de toda exploración científica, domina más en el sabio que en el ignorante. Este último, como el niño, tiene tantas ocasiones de asombrarse, de admirar, que prodiga su admiración con cualquier motivo. Un salvaje, llegado á París, se sorprende menos del teléfono ó la telegrafía sin hilos que con ver salir el agua girando un grifo, ó con ver brotar la luz frotando una cerilla. Por eso los primeros observadores que investigaron los más remotos hechos geológicos se conformaron con dar de ellos una explicación muy simple. Si veían restos marinos sobre la tierra firme, á cierta distancia de las costas, se imaginaban que el mar había llegado hasta este lugar por el influjo de una marea más viva que las otras; las arenas y los guijarros les probaban de un modo evidente la subida de las aguas; si la distancia del mar á las costas era demasiado grande, se explicaban los fósiles por un hecho sobrenatural, suponiendo en las piedras una fuerza, una virtud secreta que las permitía revestir las formas de animales ó de plantas. No obstante, en los casos de difícil explicación, como los temblores de tierra ó la ascensión de la lava de los volcanes, los razonadores más temerarios invocaban ya el catastrofismo, mientras que otros, al fijarse en las invasiones y retrocesos sucesivos de las aguas, comenzaron á imaginar los ciclos y una evolución lenta.

Toda la antigüedad, lo mismo que la Edad Media, no pasaron de este primer grado, aunque creando ya, según los casos, los primeros bosquejos de las tres teorías fundamentales, cuyo papel he relatado en las líneas que anteceden. Esta opinión puede comprobarse con sólo fijarse un poco en los dos pueblos, el griego y el hebreo, que han moldeado nuestro pensamiento actual.

En los griegos, la religión y la filosofía son, en principio, catastrofistas; el antropomorfismo domina en ellas; la observación de la Naturaleza es muy limitada. El Heleno se paga principalmente de palabras elegantes, combinadas con ingenio, más bien que de los hechos escuetos; la opinión, por lo tanto, hace intervenir para explicar todas las observaciones geológicas, ya al actualismo más restringido, ó ya á las misteriosas voluntades de sus dioses. Más tarde, el Romano, labrador, ingeniero ó soldado, se confinará aún más en este actualismo; pero otra corriente existe también en el mundo helénico importada quizá de otro país lejano de Asia, de Babilonia, ó acaso de la India (1); país en el cual las ideas de evolución, de panteísmo y de *devenir* parecen ser innatas. Basta, para convencerse de ello, con leer esos mitos

(1) El Asia antigua, de donde proceden los Celtas, los Germanos, los Slavos, los Griegos y los Italiotas, está colocada en el Afganistán. El Asia es por regla general politeísta, como el Semita es monoteísta. Por el contrario, el Babilonio y el Indio están impregnados de evolucionismo.

soberbios que forman la teogonía de Hesiodo, el episodio del nacimiento de Cipris, transformado después en un hecho vulgar. La escuela de los filósofos jónicos, la de Pitágoras, de Epicuro y de Lucrecio, invoca ya principios, fuerzas universales, cuya acción, sin el auxilio de ninguna voluntad exterior, es suficiente para producir las formas mudables de los seres y las cosas. El atomismo de Demócrito y el juego de acciones y reacciones imaginado por Empédocles, son verdaderos ensayos para interpretar la formación de la materia y la estructura terrestre, independientemente de todo capricho divino, por el influjo de un principio único, anterior á la materia y que provoca en ella una lenta y constante evolución. Más evolucionista todavía, la doctrina pitagórica, que considera el nacimiento y la muerte como simples cambios de forma, crea asimismo los cielos sucesivos, llevando al mismo punto las montañas al mar é inversamente. Y en Platón, como en Aristóteles, se encuentra también esta idea de los períodos, merced á la cual alternan sucesivamente las creaciones con las destrucciones. ¡Con cuánta grandeza se celebra entre los griegos de Asia el maravilloso símbolo de Adonis, el joven dios que renace en primavera!

De igual modo aparece esta doble corriente entre los hebreos. De un lado, el Dios Omnipotente, mezclado sin cesar en su creación, que hace subir las aguas del diluvio, deseca el mar Rojo, ó detiene al Sol en su ca-

rrera; de otro lado, esta hermosa tradición naturalista del Génesis, quizá importada de Babilonia, en la que el soplo del Señor, principio de fuerza y de vida, conmueve en el comienzo el caos primordial, para producir en seguida la luz y las formas sucesivas de la vida en un orden casi idéntico al que deducimos de nuestras observaciones, por una gradación progresiva equivalente á la evolución (1).

La Edad Media, sin observar nada por sí misma, vive exclusivamente de estas antiguas concepciones hebraicas ó helénicas, que levantaba y transmutaba, sin embargo, lentamente el fermento de las levaduras bárbaras. El dualismo, que domina en todos los pueblos descendidos más tarde del Altai, de las estepas turcomanas y de Persia, penetra cada vez más en el cristianismo, aunque sin su ortodoxia y sus herejías. Las vagas observaciones primitivas sobre la estructura de los terrenos y sobre los movimientos de las olas, evidenciados por los restos marinos esparcidos por todas partes, adquieren en este período el carácter natural de una lucha entre los dos principios contrarios, al propio tiempo que las influencias astrales, propagadas

(1) En la interpretación admitida generalmente, la exposición cosmogónica, por la cual comienza el Génesis, es obra de un elohista. El jehovista, por el contrario, de quien procede el pesimismo constante, supone al hombre anterior á las plantas y á los animales. Este último es también el que saca á la mujer de la costilla del hombre.

por los caldeos, adoptadas por Aristóteles, y desarrolladas por los alejandrinos empiezan á adquirir un papel preponderante. En suma, la Edad Media se nos presenta, en conjunto, como catastrofista.

Sin embargo, quizá tengamos que hacer una excepción en favor de aquellos alquimistas tan calumniados, y que son en realidad, por lo menos los del siglo XIII y XIV, los verdaderos fundadores de la ciencia moderna. Generalmente se los considera como dedicados de manera exclusiva á descubrir la piedra filosofal ó el agua de Juvencio, cuando verdaderamente lo que pretendían era constituir una ciencia experimental y una ciencia de observación. Demasiado teóricos, sin duda, cuando trataban ante todo de llevar la materia á sus principios esenciales, y considerándola una en su esencia, intentaban, por medios infantiles, verificar la transmutación de sus formas diversas. Pero, no obstante, no se puede negar que entre los químicos bizantinos ó árabes, y los sabios del Renacimiento, se estableció un verdadero lazo de continuidad, y que ellos prepararon el advenimiento de los Leonardo de Vinci ó de los Palissy.

Un rudimento más serio de geología aparece ya en el siglo XVI con los dos observadores últimamente citados, y con otros menos conocidos, como Fracastoro y Alejandri, que llegaban simultáneamente á consecuencias análogas. Entonces nace nuestra Ciencia, adquiriendo ante todo un carácter actualista,

por algunas observaciones sobre los fósiles, sobre los aluviones y sobre la actividad de las aguas. En seguida estalla la lucha contra los catastrofistas, para demostrar que un diluvio único, sucediendo á una creación divina, resulta una explicación insuficiente, y que hubo necesidad de movimientos mucho más numerosos en las aguas; movimientos locales atribuidos á causas todavía en acción, evaporación de lagos ó relleno de los valles por los aportes torrenciales, cambio de lugar correlativo de los lechos fluviales, etc. Algo por ignorancia, y algo también por horror á la teoría de los cataclismos, llegó hasta desconocerse en aquel momento lo que sirve de base á la geología: las transformaciones completas de la estructura terrestre en el curso de las edades, las revoluciones internas evidenciadas por su inclinación, el plegamiento, la inversión de los depósitos horizontales primitivamente; y en fuerza de querer relacionarlo todo con el hombre, y de explicarlo por su experiencia directa, casi se llega á suponer implícitamente que la Tierra no tiene historia.

El primero que realmente comprobó estos cambios de terrenos, y que dió la explicación natural del fenómeno (1669), fué el dinamarqués Nicolás Stenon, el verdadero padre, por consecuencia, de nuestra geología moderna, quien en presencia de tales accidentes, llegó á combinar el actualismo de detalle, base indispensable de toda observación seria, con la acción de cataclismos demasiado especu-

lativos para explicar los hechos generales. Stenon es claramente, y muchas veces hasta exageradamente, actualista, cuando al examinar la constitución de los terrenos propone los cuatro principios fundamentales de la geología:

«1.º Las capas de la Tierra son producidas por una sedimentación en el agua.

2.º Una capa que recubre á otra, es posterior á ésta.

3.º Una capa que contiene moluscos marinos, ha sido depositada en el mar.

4.º Todo depósito marino ha comenzado por depositarse horizontalmente. Si hoy vemos alguna capa inclinada, es que ha sufrido grandes alteraciones después de haberse depositado; si esta capa inclinada está recubierta por otra capa marina horizontal, es que su alteración ha sido anterior al retorno del mar, que ha dejado este último depósito.»

Pero cuando Stenon sale de estas observaciones locales, es para invocar con su amigo Descartes espantosos hundimientos producidos por la brusca salida de mares internos aprisionados bajo la corteza, ó es para identificar la serie de movimientos semejantes, que se imagina reconocer en Toscana, cuya sucesión pretende determinar, con los días del Génesis. No hay necesidad siquiera de advertir que estas grandes teorías generales, hacia las cuales nos inclinamos todos, y que constituyen el objeto final de una ciencia, tenían que venir después de las observaciones locales. Inmenso es el número de ellas que había precisión

de comprobar para dar una base sólida á las hipótesis; ¿pero hay razón para renunciar á éstas hasta el día en que el número de las observaciones resulte suficiente? Indudablemente no, porque una observación que no va guiada por alguna idea general, y que no tiene por objeto el comprobar sus consecuencias por una especie de experimentación, resulta muerta al nacer. Pero esto significa, como he indicado antes, que en la elección de tal ó cual teoría, la tendencia instintiva desempeña y desempeñará durante largo tiempo aún, un papel preponderante.

El actualismo que acabamos de ver amalgamarse en Stenon, con teorías en las cuales los cataclismos ocupan un lugar importante, adquiere con Buffon, al final del siglo XVIII, una forma análoga, pues las hipótesis cosmogónicas de este sabio no tienen más fundamento que las formuladas un siglo antes por Descartes ó Leibnitz. Por consideraciones idénticas á las suyas, pretende Buffon escribir una primera Historia de la Tierra, en que los períodos sucesivos están evaluados en años. No obstante, este último sabio acosa, en general, al actualismo, hasta el punto de olvidar las observaciones capitales de Stenon, y, sobre los dos problemas fundamentales de la geología, el desplazamiento de los mares y la elevación de las montañas, adopta, por temor de incurrir en hipótesis fantásticas, explicaciones exageradamente simplicistas, interpretando la inclinación de las capas por el depósito sobre un fondo desigual, y

la producción de las montañas por la combustión en las profundidades de la Tierra de piritas ó de hulla.

Faltaba hasta entonces á la geología su base fundamental para desarrollarse; á saber la comprobación de que los animales no habían sido siempre los mismos sobre la superficie de la Tierra, y que, por consecuencia, la fauna de un terreno caracteriza siempre su edad. Este descubrimiento, que constituye toda la paleontología y que fué realizado hacia fines del siglo XVIII y en los comienzos del siguiente, por William Smith, Cuvier, Brongniart, etc., arrastraba fatalmente en pos de sí la necesidad ineludible de escribir, fuera de toda hipótesis, una Historia de la Tierra un poco más complicada que la del Génesis, resultando de ello, durante cerca de medio siglo, y gracias al genio de sus fundadores, los Cuvier, los d'Orbigny, un triunfo extraordinario del catastrofismo. En todo este período, excepto algunos transformistas aislados, como Lamarck, los geólogos admiten, casi sin discusión, que la fauna terrestre había sido formada y rehecha después no sé cuántas veces, por una serie de creaciones sucesivas, alternando con otras tantas catástrofes que aniquilaron la fauna precedente, y son precisamente estas catástrofes (á las cuales se atribuye también los cambios en el género de vida y en la estructura de los animales) las que naturalmente han facilitado los primeros datos, en apariencia de una precisión muy rigurosa, de la ciencia geológica.

En la complejidad real de los hechos, la historia de la vida sobre la superficie del planeta no está ligada necesariamente á la estructura terrestre, y la relación admitida entre ambos fenómenos varía mucho según las diversas teorías, sin que en la actualidad se haya llegado en este punto á un acuerdo completo. Resultan, pues, en la Historia de la Tierra dos series de datos independientes entre sí, ó por lo menos cuya correlación no se impone forzosamente. Como ahora sólo nos ocupamos en reseñar las etapas recorridas, importa únicamente manifestar cuál de aquellas soluciones alcanza á su vez el triunfo.

Para Cuvier y d'Orbigny, por ejemplo, de 1820 á 1850, el catastrofismo es absoluto; diez, veinte veces en la sucesión de las edades (tantas como faunas diversas se encuentran), la creación es destruída y recomenzada; mares furiosos, venidos no se sabe de dónde, invaden la superficie del globo, y dejan en ella sus depósitos para desaparecer en abismos ignorados. Hay, por lo tanto, de un extremo á otro de la Tierra, paralelismo, sincronismo absolutos. De aquí que resulta excesivamente fácil determinar en un punto cualquiera la edad precisa del terreno, por la naturaleza de un solo fósil descubierto, siendo bastante este único fósil para caracterizar todo el conjunto.

Á pesar de esto, bien pronto había de nacer una ciencia llamada la tectónica ó la orogenia, que al estudiar en sí mismos los movimientos del suelo, donde se imaginaba en-

contrar la huella de catástrofes súbitas, había de acabar por reconstituir la historia real de estos movimientos, demostrando que son independientes de las transformaciones de los organismos, cuyo desarrollo se iba á explicar también por la doctrina de la evolución.

La teoría de Hutton, que es anterior á la de Cuvier y d'Orbigny (1795), aunque permaneció largo tiempo desconocida, y cuya influencia real se dejó sentir mucho más tarde, resulta, en la mayor parte de sus conclusiones, de más alcance, puesto que lleva en sí el germen de las ideas evolucionistas que tanta influencia ejercen sobre nosotros y que influyen aún sobre los modernos catastrofistas.

«Las fuerzas vitales, dice Hutton, luchan contra las fuerzas de la muerte; pero la ley de destrucción es una de aquellas leyes que no sufren excepción. Los elementos han sido libres y sin lazo de unión entre sí, y volverán á serlo.»

A Hutton se debe, además de la distinción tan necesaria de los terrenos sedimentarios (depositados por las aguas) y de las rocas ígneas (formadas por el fuego), la primera noción clara de lo que ahora llamamos una paleo-geografía ó geografía antigua, y con ella la primera afirmación también de cambios operados en el transcurso de los tiempos en la distribución de los mares y de los continentes sobre la superficie del globo, así como el redescubrimiento de esos movimientos sucesivos en la corteza, causa primordial

de las montañas, vislumbrados por Stenon, entonces completamente olvidado. Para admirar toda la novedad de estas ideas hay que tener en cuenta que el contemporáneo famoso de Hutton, el sajón Werner, explicaba al mismo tiempo la causa de todos los depósitos marinos por un inmenso mar que había empezado por cubrir el globo, habiéndose evaporado paulatinamente, dejando sus depósitos más ó menos inclinados y más ó menos espesos, según la forma del fondo primitivo ó según sus convexidades ó concavidades. A los ojos de los discípulos de Werner, que en unión de los de Cuvier, dominaron la Ciencia al comenzar el siglo XIX, las hipótesis de Hutton resultaban tan ridículas como las de Lamarek. Por actualismo immoderado Werner, y por catastrofista Cuvier, se mostraron igualmente hostiles á las ideas de evolución y transformismo.

Al propio tiempo que la doctrina catastrofista se imponía á las dos ramas de la geología llamadas la estratigrafía (ó ciencia de la superposición de los terrenos) y la paleontología, ésta alcanzó también en el mismo período un éxito igual cerca de aquellos geólogos que estudian la formación de las rocas ígneas, las manifestaciones volcánicas y las concentraciones de los metales. No se hablaba en todas partes de otra cosa más que de movimientos repentinos, de cataclismos instantáneos, que dejaban impresa claramente su huella, ya en su dirección ó en su naturaleza, como en estratigrafía, por ejemplo, en el

tipo de sus fósiles. El genial creador de la tectónica ú orogenia (es decir, la ciencia que estudia la historia de las montañas) y de la metalogenia (ó ciencia de las formaciones metalíferas), Elie de Beaumont, iba empujado al catastrofismo hasta el extremo de pretender señalar la edad de una montaña ó la de un filón, y prever la abundancia de este último por el ángulo de su dirección con el Meridiano. La Historia de la Tierra se reducía á sus ojos á las deformaciones geométricas de un poliedro, producidas, según una ley inmutable (aquí aparece ya el determinismo), por episodios bruscos.

Y los adversarios violentos de estos grandes hombres, los enemigos de la ciencia oficial, que calificaban sus concepciones de ensueños, reobraban, por otra parte, con tal exceso contra la intervención de las hipótesis en la Ciencia, que caían á su vez en todas las exageraciones del actualismo.

Un trabajo enorme de observación se realizaba, no obstante, de todos lados; los geólogos del siglo XIX habían aprendido de sus primeros maestros—los Hutton y los William Smith, en Inglaterra; los Saussure, los Dolomieu, los Cuvier, los Brongniart, los Desmarests, los Beaumont, en Francia; los Werner, los Humboldt, los Buch, en Alemania—á mirar de cerca los hechos y á inclinarse delante de ellos, hasta que llegase el día en que de todos estos hechos acumulados resultase la evidente conclusión de que las sistematizaciones de la generación anterior eran

muy cómodas como punto de partida, y de que todos estos bruscos movimientos, estos cataclismos simultáneos sobre el conjunto de la Tierra, estaban en flagrante contradicción con la complejidad real de los hechos.

Coincidiendo con un movimiento general que se había operado al propio tiempo y por causas análogas en todos los dominios de la Ciencia y del pensamiento, esta nueva tendencia encontró su síntesis, su punto de apoyo y su *credo* en el libro clásico de Darwin *El origen de las especies*, publicado en 1859, donde se encuentran expuestas y coordinadas por una ingeniosa hipótesis sus admirables observaciones. La Ciencia, cansada ya de tantas catástrofes, de tantas explicaciones misteriosas y de tantas inútiles intervenciones divinas, creyó encontrar entonces, en una sola ley, muy fácil de formular y de comprender, la explicación de las cosas, y se declaró evolucionista.

Á partir de esta fecha se miró con repugnancia todo lo que podía asemejarse á un hecho brusco, y la palabra cataclismo fué solemnemente desterrada de la Ciencia. Se adoptó, comentándole, ampliándole y extendiéndole á todo, el axioma antiguo *Natura non facit saltus*; y poco faltó para que se negase también que se pudiera hundir un puente ó estallar una caldera, pues ya no hubo más que efectos infinitamente lentos producidos por causas infinitamente prolongadas. Y aún se quiso que estas mismas causas fuesen cada vez más simples, cada vez más per-

ceptibles á nuestra observación, hasta que llegó el momento en que no fué permitido invocar en geología la intervenciónde otras fuerzas que aquellas inmediatamente visibles sobre la superficie del globo, ni suponer siquiera que estas fuerzas hubieran podido tener en el pasado una intensidad más grande. Hubo precisión de admitir también que la imperceptible corteza terrestre, en la cual penetran nuestros trabajos, en unión de la capa de atmósfera que se la superpone, eran las únicas que habían intervenido en los fenómenos geológicos de todos los tiempos, y que ni el interior de nuestro planeta, ni las influencias astronómicas lejanas habían podido realizar acción alguna. Por disgusto de las grandes teorías, por pretensión positivista de hacer entrar toda la Naturaleza en el dominio de la observación directa, casi se volvió al punto de partida de la Ciencia, en que el hombre, no conociendo nada más allá de los campos que circundaban su cabaña, explicaba el mundo entero por lo que ocurría en su pedazo de tierra, considerándose el centro del Universo y haciendo girar el Sol á su alrededor. Una contradicción singular, que explica, sin embargo, la reacción filosófica contra todo lo que podía asemejarse al antropomorfismo religioso, había traído, tomando por causa inicial la doctrina de transformismo y de evolución (de movimiento por consecuencia) entre 1870 y 1880, la idea de inmovilidad.

A todas estas teorías se vuelve hoy, pues

la rueda sigue girando. El actualismo ocupa su puesto entre las hipótesis necesarias, para dar una primera explicación aproximativa, pero aún insuficiente, de algunos hechos oscuros. El propio evolucionismo, bajo la forma que le había dado Darwin, ha perdido mucho terreno, y asistimos á un retorno ofensivo del catastrofismo, con los hundimientos de M. Suess, con la *saltación* de Cope ó la mutación de M. Vries. Pero se haría mal en deducir de ello que la ciencia geológica, después de haber descrito una circunferencia, vuelve á su punto de origen. Si hubiera necesidad de buscar una representación geométrica del camino recorrido, esta representación no sería un círculo, sino una hélice. Ciertamente encontramos la misma generatriz, pero un poco más arriba, y esta ascensión demuestra con toda evidencia, á pesar del ciclo descrito en el dominio de las grandes teorías, el progreso realizado en el conocimiento de los hechos. Ateniéndose cada vez más á estos hechos, sobre los cuales se funda el actualismo, y permaneciendo impregnados de la idea de la evolución, ciertos geólogos contemporáneos sólo admiten un catastrofismo atenuado. No se trata ya, en la historia de la estructura terrestre, de rápidos y universales accidentes, modificando de un momento á otro la forma de la Tierra, la distribución y los tipos de la vida; el carácter localizado de estos fenómenos es universalmente admitido; nadie niega en la actualidad que la distribución de los océanos ha varia-

do sin cesar, á consecuencia de movimientos atribuídos, por regla general, á deformaciones internas de la corteza, y quizás también á cierta especie de mareas de origen astronómico. Asimismo se considera como muy natural que estos cambios hayan tenido también de rechazo mucha influencia en las modificaciones de la fauna, y se admite de igual modo la localización de las emersiones de cadenas montañosas, levantadas poco á poco por acciones internas, amontonadas después y destruídas por erosión, ocupando sucesivamente las diversas partes de la Tierra. La idea de catástrofe, casi siempre muy discutida, interviene únicamente en la historia estructural del globo y sólo para ciertos hundimientos relacionados, sin duda, con plegamientos progresivos, considerados como origen de retrocesos marinos, á los cuales se atribuye casi la brusquedad de una bóveda desplomada, y en los cuales se observan «fechas características».

Del mismo modo, cuando se hace intervenir la *saltación*, la mutación, en los cambios de forma manifestados por la vida de una manera incontestable en el curso de los períodos geológicos, se considera generalmente como un modo de evolución, cuya curva representativa acusaría discontinuidades exclusivamente. También se inclinan los sabios á admitir que estos cambios, en lugar de operarse poco á poco, deben de haberse verificado en instantes críticos, por el impulso repentino de reacciones lentamente acumula-

das. Por lo tanto, en la aparición de una especie nueva habría algo semejante á lo que ocurre en una familia cuando nace en ella un individuo más. Este existía ya en germen é implícitamente en todos sus antepasados, no habiendo adquirido su expresión concreta, si vale la palabra, más que en un segundo determinado del tiempo, correspondiente á una fase propicia en la vida de sus antecesores.

De todas maneras, las ideas de catastrofismo, en la mayor parte de los sabios, se han desprendido por completo de las intervenciones providenciales, con las cuales habían estado confundidas. Pero estas intervenciones, en un orden distinto de ideas, aún siguen imperando en muchos espíritus. La Ciencia no puede hacer más que dejarlas á un lado, durante sus investigaciones, si no quiere condenarse á la inacción, puesto que siendo su único objeto el de indagar las leyes de la Naturaleza, debe comenzar por creer en la necesidad y en la permanencia de estas leyes, ó por lo menos, en la necesidad de una ley fundamental inmutable, que regiría la evolución continua ó discontinua de las demás. La relación entre el volumen de los gases y su presión, el movimiento de la caída de los cuerpos, la relación entre la energía y el calor, la permanencia del peso en las combinaciones químicas y todos los otros principios enseñados en nuestras escuelas, no constituyen más que la expresión aproximativa, ó si se quiere momentánea, de

las observaciones acumuladas hasta el presente. Quizá podrá algún día reemplazárseles por otras leyes; pero la idea de que estas leyes no se transforman por casualidad ó por capricho está contenida implícitamente en todo esfuerzo científico. La Ciencia no puede existir más que á condición de ser determinista.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS DE LOS MÉTODOS GEOLÓGICOS

Cómo se puede reconstituir la Historia de la Tierra.—Carácter científico de los métodos geológicos y su grado de precisión.—Nociones fundamentales.—La mineralogía.—La petrografía.—La metalogénia.—La estratigrafía.—La paleontología.—La tectónica.—La paleo-geografía.

Escepticismo acerca de la geología.—Cuando se habla de geometría, de mecánica, de astronomía, de física ó de química, no hay necesidad siquiera de recordar la precisión de los métodos empleados ni el rigor de los resultados obtenidos. Toda persona instruída está convencida de ello de antemano, hasta tal punto, que ni aun es permitido discutir un teorema de geometría, un principio de mecánica, una ley física ó química, y la repetición cotidiana de innumerables experiencias, en que la práctica parece demostrar los hechos, ha arraigado tanto en la mayor parte de los espíritus, que se ha convenido en dar á aquellas ciencias el carácter sagrado de dogma. En semejantes materias, se consideraría temerario ó paradójico á cualquiera que se atreviese á insistir sobre los pos-

tulados implícitos, sobre las convenciones y sobre las aproximaciones de todas clases que sirven de base á las leyes admitidas y enseñadas en nuestras escuelas. Por el contrario, cuando se trata de las llamadas ciencias naturales, y especialmente cuando se trata de geología, toda prueba parece ilusoria. Suele admitirse, en rigor, el orden de superposición de los terrenos y su determinación por su fauna, porque infinidad de trabajos subterráneos (pozos de minas, sondajes, trincheras, etc.) han proporcionado directamente pruebas experimentales; aunque ya, en este dominio de la práctica, se hace notar la incertidumbre y la imprecisión de los pronósticos relativos al hallazgo de una capa, á la variación profunda de un yacimiento metálico; muchas veces se insiste también sobre hundimientos mal interpretados para negar la superposición misma de los terrenos. Y sobre todo, cuando el geólogo llega á enunciar algunos de aquellos resultados generales que constituyen el orgullo de la Ciencia moderna, como la síntesis de las cadenas de montañas, las variaciones sucesivas de los océanos, la formación de las rocas cristalinas, la distribución profunda de los metales, observa frecuentemente que su auditorio escucha esta exposición como una historia maravillosa, asimilándola á los ensueños cosmogónicos del siglo XVIII ó á las hipótesis de los alquimistas. Considero necesario, por lo tanto, antes de dar á conocer los resultados obtenidos en nuestras investigaciones sobre la

Historia de la Tierra, inspirar sobre ellas alguna fe al lector por un rápido examen crítico de los métodos empleados para realizarlas.

Los métodos físicos en geología.—Ante todo, lo que los propios geólogos llegan á olvidar algunas veces, es que la Tierra no está sola en el espacio, pues depende de un sistema solar, al cual permanece unida, y cuya acción sufre constantemente. Aunque su historia nos interese de una manera tan directa, no por eso debemos juzgarla excepcional en el conjunto de esos mundos luminosos con los cuales tenemos el derecho de compararla; las indicaciones astronómicas, cuyo grado de precisión es exactamente el de las ciencias físicas, no deben, pues, ser olvidadas cuando se quiere reconstituir la existencia de la Tierra. Así como la historia del hombre no es más que un episodio en la historia del planeta, la historia de éste á su vez sólo data del día en que fueron agrupados sus elementos, y concluirá cuando estos elementos se disuelvan; es decir, que es otro incidente en la historia general de los átomos. Para todos estos tiempos que han precedido á la aparición de la vida sobre la Tierra, mejor dicho, que han precedido á los primeros seres cuya huella ha llegado hasta nosotros, nos falta el criterio de la paleontología, viéndonos obligados á recurrir á las inducciones sacadas del análisis espectral ó á otros procedimientos astronómicos que aportan un complemen-

to útil, ampliando los rudimentarios informes deducidos de la geología únicamente.

De igual modo que si por una prudencia fácil de comprender, no limita el observador su campo de indagaciones á la corteza terrestre y tiene la pretensión de adivinar algo de lo que ocurre en ciertas profundidades de la Tierra, que es indudablemente lo que constituye la casi totalidad de nuestro globo, intentando deducir de ello algunas conclusiones sobre el origen y carácter de las deformaciones estructurales—lo que se impone evidentemente á cualquiera que no se dé por satisfecho con haber puesto nombres nuevos ó atribuído nombres antiguos á unos cuantos minerales ó animales—se habrá de ver precisado á recurrir á los procedimientos de la física, porque esta ciencia es la única que puede determinar la forma de la Tierra, su densidad media, las variaciones locales de la gravedad, el aumento de temperatura con la profundidad, la distribución y las variaciones del magnetismo terrestre, etc. Luego no existe razón alguna para que en general los geólogos abandonen esta fase de sus estudios á los físicos, así como suelen dejar el análisis de los minerales á los químicos, ni para que determinaciones tan importantes sean consideradas como ajenas á la ciencia geológica y aun miradas con cierto desdén por naturalistas harto exclusivos.

A pesar de esto, y una vez hecha la observación que antecede, como no se trata, en suma, nada más que de métodos suficiente-

mente conocidos, por lo menos en sus principios, cuyo grado de precisión ó de aproximación es el de todas las observaciones físicas, no insistiré sobre el particular, y paso á los métodos especiales de la geología.

Papel de la experimentación en geología.— En toda ciencia hay necesidad de observar, interpretar y experimentar sucesivamente. La observación, que es analítica, conduce á una síntesis, cuyos resultados demuestra la experimentación. El papel de la experimentación en geología exige unas palabras de explicación, porque es un poco especial. Pocas veces puede el geólogo reproducir, como el físico en su laboratorio, los fenómenos que estudia; esto podrá verificarlo en ciertos casos, para las síntesis de los minerales ó de las rocas, ó para las deformaciones mecánicas de los terrenos, por ejemplo; pero en la mayor parte de los casos, le faltarían hasta el espacio y el tiempo para realizarlos, porque, á menos de hacer una caricatura grosera y sin alcance, ¿cómo representar algo que se asemeje al levantamiento de la cadena alpina, á los cambios de lugar de los océanos, ó á la evolución de las especies animales? Esta imposibilidad de demostrar, por una experimentación directa y convincente para el auditorio, las conclusiones admitidas, es una de las razones que mantiene en ciertos espíritus el escepticismo de que antes hablaba. Y, sin embargo, una forma de experimentación es la de anunciar, por inducción teórica, la presencia

en un terreno determinado, de un tipo petrográfico, de una fauna animal ó vegetal, de un agrupamiento de minerales, en un punto hasta entonces inexplorado, ya sea por una exploración superficial, ya por sondaje, por un pozo, por una galería de mina, por un túnel ó una trinchera, demostrando la presencia de las rocas, de los fósiles ó de los minerales previstos. En este sentido, la experimentación geológica es casi diaria, y cuando tiene éxito facilita una certidumbre igual á la que se puede esperar en física, en química y sobre todo en astronomía, pues en el fondo idéntica precisión existe en anunciar la existencia de un planeta desconocido, que en afirmar que un sondaje cortará un terreno carbonífero.

Nociones fundamentales.—La geología, cuando se la estudia prácticamente, se divide en cierto número de ramas, cuya manera de investigación y método son diferentes, y que exigen, en los sabios que tratan de ellas, conocimientos, y algunas veces hasta cualidades distintas, por más que en último término concurren todas juntas á reconstituir la Historia de la Tierra, objeto ahora de nuestros esfuerzos.

Para enumerar estas ciencias é indicar su objeto especial y su método, voy á verme obligado á enunciar ya, por una especie de círculo vicioso aparente, algunas nociones geológicas generales, que han sido obtenidas, en realidad, antes de que la geología hubiera sufrido aquellas bifurcaciones.

La primera de estas nociones es la distinción de los elementos que constituyen la capa superficial de la Tierra en dos categorías principales: los unos, que son en principio el origen primordial de todos los demás, y que habiendo sido producidos por reacciones de metalurgia ígnea, muchas veces á una profundidad muy grande y constituyendo las *rocas eruptivas*, en los cuales no se podrían encontrar restos orgánicos, á no ser que éstos hubiesen sido arrancados á los sedimentos absorbidos y preservados de la refusión excepcionalmente; los otros, que constituyen el remanejo superficial de los primeros, habiendo sido depositados en las aguas marinas, lacustres ó fluviales, en el estado de *sedimentos*, y que conservan de ordinario algunos restos de animales que han vivido en estas aguas, ó que han caído en ellas.

De igual modo que las rocas eruptivas han sido el origen de los sedimentos, los sedimentos refundidos han podido á su vez ser el origen de rocas nuevas.

Las rocas eruptivas presentan siempre el carácter de hallarse cristalizadas. Los sedimentos tienen igualmente una tendencia á adquirir poco á poco, por reacciones de *metamorfismo*, superficial ó profundo, este carácter de cristalización que representa la forma de equilibrio de la materia; pero, á pesar de esto, se muestran en gran parte en estado amorfo.

Indicado esto, la *mineralogía* es la ciencia de los individuos cristalinos ó minerales, ele-

mentos constitutivos de las rocas y de los sedimentos; la *petrografía* se consagra á los agrupamientos de estos minerales, y más especialmente á las rocas; la *metalogenia* es la ciencia de las concentraciones metalíferas anormales que han formado los yacimientos de minerales útiles. Después, cuando se pasa á los productos remanejados sobre la superficie, el estudio de los sedimentos, en lo que concierne á sus superposiciones características de su edad relativa, constituye el objeto de la *estratigrafía*; y la *paleontología* considera los restos orgánicos contenidos en estos terrenos.

Pero, para estudiar la historia de las deformaciones estructurales sufridas por la Tierra, y trazar la evolución de los dos elementos físicos principales, las montañas y los océanos, hay que ir un poco más lejos y examinar aún las relaciones anormales de los terrenos entre sí, que acusan, en lugar de tranquilos depósitos sucesivos en una misma cuenca, movimientos intermediarios, manifestados por la inclinación, el levantamiento y el plegamiento de capas antiguas, sobre las cuales se han depositado «en discordancia» capas más recientes. La reconstitución de todos estos accidentes, que en el curso de la historia geológica han plegado, dislocado, levantado y hundido masas enormes de terrenos como hojas de papel arrugadas, y determinado de rechazo los relieves montañosos en la superficie, constituyen el objeto de la *tectónica* ó de la *orogenia*. Por último, el cambio de los mares en diversas épocas (pro-

bados, especialmente, por la presencia ó ausencia en un punto de depósitos marinos correspondientes á esta edad), y de igual modo, el trazado para un período geológico cualquiera, de todos los elementos que componen un mapa actual de geografía física, es el fin á que tiende la *paleo-geografía*, ó geografía de los tiempos antiguos.

En seguida se observará que todas estas distintas ciencias se entrelazan y se tocan por muchos lados, así como la misma geología está en contacto íntimo con la física, la astronomía, la mecánica, la química, la zoología, la botánica, etc... No hay *ciencias* distintas, sino la Ciencia, y únicamente para la comodidad del trabajo es por lo que establecemos aquí subdivisiones, de igual manera que en un taller donde los obreros se desconocen y hasta ignoran la fuerza que realiza el vecino, confeccionan cada uno por su parte las piezas diversas de una gran máquina; pero si algunas veces resulta útil para la labor general la ignorancia, la centralización de los esfuerzos debe ser establecida por alguno, pues sin ella todos los esfuerzos aislados resultarían estériles.

Si entramos ahora en el detalle de los métodos peculiares á cada una de estas ciencias particulares en el orden en que acabamos de enumerarlos, encontraremos, por de pronto, cuando se trate de la mineralogía, una ciencia física, fundada sobre la física y la química y participando directamente de ambas ciencias, salvo cuando examina los yacimien-

tos ó los agrupamientos de los minerales. En la petrografía y la metalogenia, los métodos propios de las ciencias naturales, combinados también con los de las ciencias físicas, representan ya un papel más importante. En suma, este papel resulta casi exclusivo cuando se trata de observar las superposiciones, los sedimentos remanejados, los restos orgánicos contenidos en ellos, ó aun las relaciones de los terrenos entre sí, y las deformaciones de su estructura en el curso de las edades, de suerte que estas últimas ciencias, estratigrafía, paleontología, tectónica, paleogeografía, constituyen más propiamente el objeto exclusivo de los geólogos naturalistas extraños á las indagaciones físicas, las primeras, por el contrario, por una división bien marcada quedan reservadas preferentemente á los geólogos, cuya cultura es física y matemática en primer término. Pasaré con rapidez sobre todo lo que los métodos geológicos poseen de común con los de las ciencias físicas ó naturales para fijarme solamente en lo que tienen de peculiar.

Mineralogía.—La *mineralogía* se propone: 1.º, reconocer, clasificar y describir los minerales (mineralogía descriptiva); 2.º, observar sus asociaciones y explicar el origen de ellas (mineralogía de yacimientos y síntesis mineralógica); 3.º, y penetrar en la intimidad de su constitución cristalina (cristalografía racional.)

La mineralogía descriptiva no constituye

más que un simple trabajo preliminar, y la cristalografía propiamente dicha es una rama de la física, puesto que nos aclara, como la física misma, el problema de la constitución de la materia, que debe servir de base á todo estudio sobre la constitución de un agrupamiento material cualquiera. Por la mineralogía de yacimientos y la síntesis, la mineralogía nos ilustrará más directamente sobre la historia de la Tierra. En estos dos últimos casos, se trata, estudiando los agrupamientos naturales de los minerales y lo que se puede inducir de ellos sobre su modo de formación, ó esforzándose por reproducir esta misma formación por la síntesis, de determinar el punto en que ha cristalizado un mineral y el instante en que se ha verificado semejante cristalización, llegándose, por ejemplo, á saber que tal mineral se ha producido por cierta reacción química, á una temperatura, á una presión y en un medio dados.

Petrografía.—La *petrografía* persigue un fin análogo, lo mismo por el estudio de los yacimientos y por la síntesis, ó por la observación de las circunstancias actuales, tales como el volcanismo, en que todavía vemos cristalizar las rocas; pero esta ciencia se consagra á un problema de mayor dificultad y determinado, no obstante, por algunas ecuaciones más, puesto que se trata, entre las diversas condiciones, bastante numerosas con frecuencia, en las cuales han podido formarse los distintos minerales, de escoger

aquéllas que son comunes á todos los minerales asociados y que pudieron realizar el tipo de su asociación.

De este modo la petrografía estudia en sí mismas las rocas, que son agrupamientos mineralógicos, determinados ya por la naturaleza de estos minerales como por su combinación; pero ella examina también las relaciones de las rocas con los terrenos sedimentarios, esforzándose en apreciar las condiciones de formación de la roca, á una profundidad más ó menos grande, bajo una presión más ó menos fuerte, en presencia de tales ó cuales mineralizadores y buscando al propio tiempo de precisar la época en que esta roca ha cristalizado, pudiendo deducirse este último punto por los terrenos fosilíficos que la circundan, ya sean influídos por la roca ígnea y, por consecuencia, anteriores á su consolidación, ya depositados después por encima de ella ó habiendo englobado más lejos los restos. Así se llega á reconocer que en un instante determinado del tiempo, en el punto en que tal roca se ha formado, lo que resulta hoy la superficie se encontraba á tal ó cual profundidad por debajo de la superficie distinta en esta época, y que en aquel momento existía allí tal presión, tal temperatura, tales desprendimientos de gas, etcétera.

Metalogenia.—La *metalogenia* facilita enseñanzas del mismo género, examinando estos agrupamientos mineralógicos especiales, en

que se han encontrado «de una manera anormal» elementos químicos cualesquiera. El hecho de que esta concentración es anormal, resulta de su utilización misma, puesto que una substancia es buscada y apreciada, en razón de su rareza, en los mismos puntos donde se la encuentra con mayor abundancia y en condiciones más fructuosas. El carácter anormal y excepcional de esta concentración, con las facilidades de estudio completamente especiales que procura muchas veces, hasta grandes profundidades, la utilización práctica é industrial, presta, por lo tanto, un interés particular á los yacimientos metalíferos, porque sólo ellos nos aportan algunas enseñanzas, no sólo sobre las condiciones muy superficiales de la Tierra, á las cuales la fuerza de las cosas nos hace atribuir en geología una importancia exagerada, sino sobre las condiciones un poco más profundas que se encontrarían más abajo si se atravesara una película de dos ó tres kilómetros de espesor, en la zona de donde estos elementos metalíferos más raros deben provenir, según todas las apariencias.

Los métodos de la metalogenia, observación directa, síntesis y estudio de relaciones con los terrenos colindantes, son completamente análogos á los de la petrografía.

Estratigrafía.—Con la *estratigrafía* entramos, por el contrario, en otro dominio, ya más estrictamente geológico, y habrá, pues, que insistir sobre él. Se trata aquí de observar

las superposiciones locales de los terrenos, asimilando á distancia los de la misma edad, de manera que podamos establecer una serie cronológica y común á toda la Tierra, en la cual se pueda hacer entrar más tarde todos los incidentes particulares. La observación fundamental de que se parte para ello es la horizontalidad aproximativa de todos los depósitos marinos en el momento de su formación, de donde resulta que dos depósitos sucesivos en un mismo mar han sido, en principio, formados por dos capas horizontales y superpuestas.

La aplicación del método en este caso, resultaría extremadamente simple, y en cierto modo automático si cada terreno aportase con él su determinación precisa de edad, algo como una fecha indicatriz, pues bastaría entonces con llevar un registro de series locales, lo más minucioso que fuera posible, y de combinarlas juntas en una serie general, identificando en ella sus puntos comunes. De este modo, los primeros observadores creían poder admitir que un terreno guardaba, al menos en cierta extensión, un tipo petrográfico en relación con su edad; y especialmente cuando los fósiles faltaban ó parecían mal determinables, se guiaban con frecuencia en el comienzo, por la noción extremadamente peligrosa de las «facies» para establecer asimilaciones ilusorias. Esto constituía el error de olvidar que la «facies» de un terreno caracteriza sus condiciones de depósito y no su edad, y que estas condiciones

podieron variar simultáneamente de un punto á otro, mientras que ellas se reproducían, por el contrario, sucesivamente en el mismo punto; sobre la longitud de una misma costa han podido depositarse á la vez arcillas, arenas y guijarros, en tanto que un arrecife coralino continuaba elevándose durante muchos períodos geológicos.

Se creyó encontrar después otra guía que podía ser seguida con confianza absoluta: nos referimos á la fauna paleontológica. Cuando se admitían las creaciones sucesivas de Cuvier y de d'Orbigny, estas reconstrucciones integrales de la fauna entera, después de una serie de cataclismos, se podía ver en estos fósiles verdaderas medallas, llevando, en lugar de la efigie de un soberano, la designación de una edad geológica; más aún que las medallas á flor de tierra, los fósiles no removidos ni remanejados, podían ser considerados como representantes de la edad de la capa en que se encontraban; y puesto que cada fósil se consideraba por sí mismo como el signo característico de cierta creación, llevando el número de orden X ó Z, el propio terreno donde se veían las huellas de un solo organismo viviente se determinaba también de una manera absoluta.

Con la idea de la evolución que ha sustituido á la doctrina catastrofista, la dificultad aparece en mayor escala, pues la evolución de las especies vivientes debe ser considerada, en principio, como un fenómeno local, sometido aquí á aceleraciones, y á retardos

allá, y aun acaso, aunque niegan la posibilidad la mayor parte de los paleontólogos, á retornos y á retrogradaciones. En tanto que la evolución de una especie se verifica pronto, una especie próxima se inmoviliza; la vida de la primera puede estar limitada á un corto período, mientras que la segunda se prolonga durante toda la sucesión de los tiempos. De igual manera que nosotros miramos como contemporáneos á los hombres de la edad de piedra y á los animales cuyas formas extrañas acusan períodos geológicos muy lejanos, de igual modo han podido existir en algunos recintos, en una época cualquiera, seres característicos de épocas anteriores.

Para obviar estas dificultades, se ha tratado, ante todo, de caracterizar la edad de un terreno, no ya por un fósil único, sino por un conjunto de fósiles, imaginando que las causas locales retardatrices ó aceleratrices de una especie, debían de estar compensadas en el conjunto por una especie de término medio. Después se ha convenido en no tomar en cuenta prácticamente más que ciertos seres, considerados en un momento dado como «buenos fósiles», porque su transformación había sido rápida, despreciando los «malos fósiles», cuyo cambio había sido demasiado lento.

Hay bastante fundamento para admitir (por lo menos hasta ahora) la observación de hecho deducida por los paleontólogos, de que las condiciones de vida parecen haber sido muy uniformes sobre el conjunto de la

Tierra en los tiempos antiguos y que estas condiciones se han ido particularizando poco á poco. De suerte que si en teoría se pueden suponer evoluciones locales independientes de marcha desigual, de hecho la evolución parece haber sido largo tiempo singularmente concordante de un extremo á otro de la Tierra, sobre todo para los animales de alta mar. Cuando el geólogo se ve obligado á considerar como de la misma edad dos terrenos encontrados en la India y en Europa, si se observa en ellos alguna especie marina, siempre está representada por las mismas formas; lo que se explica por las comunicaciones generales que han debido siempre ofrecer los mares. Por otra parte, sería bastante singular, aun tratándose de animales fijos en la ribera, lacustres ó continentales, que dos especies, evolucionando independientemente una de otra en dos países distintos, hayan alcanzado más ó menos pronto el mismo tipo; en caso semejante, parece que se producirían con preferencia dos variedades diferentes. La variedad bien determinada y particularizada es, por lo tanto, representativa de un momento determinado en la evolución (1). Por último, para aclarar el hecho relativo á la permanencia aparente de ciertos seres de un extremo á otro de la es-

(1) Se puede imaginar, no obstante, un transporte de un punto á otro, que daría por resultado hacer vivir en el segundo en la época $n + p$ (p , duración de la emigración) el ser que vivía en el primero en la épo-

cala geológica, los paleontólogos tienen actualmente la opinión de que ninguna especie ha permanecido realmente inmóvil; si en dos niveles de edad diferente se encuentran dos fósiles que se consideran idénticos, es sencillamente, según dicen ellos, porque aún no se sabe diferenciarlos. También es un hecho que los progresos realizados en la determinación de los seres, las divisiones establecidas, cada vez más numerosas, por procedimientos de investigación nuevos, en grupos que parecían otras veces compactos, pueden inspirar confianza para el porvenir, en la pretensión, todavía un poco prematura en la actualidad, de reconocer por un fósil cualquiera, independientemente de toda investigación estratigráfica, en cuál fase histórica de la evolución ha sido creado.

Así, pues, á despecho de ciertas restricciones, que acaso no sean más que provisionales, la paleontología nos facilita ya, para conocer la edad de los terrenos, un cronógrafo excesivamente preciso y que está destinado á adquirir en lo futuro más precisión todavía. Este cronógrafo parece aún, en razón de lo que queda dicho sobre la uniformidad de los climas y de las condiciones vitales en los tiempos primitivos, que ha sido particularmente exacto en el origen de la vida, para ir

ca *n*; pero es poco probable que estos transportes de especies evolucionadas hayan exigido períodos muy largos; pues en el caso de que lo fueran, hubiesen ido acompañados de una nueva evolución.

perdiendo después un poco de su rigor. Cier- to es que los períodos más recientes de la historia geológica, aquellos inmediatamente anteriores al hombre ó contemporáneos de sus primeros pasos, son, por causas diversas y contrariamente á lo que se creía antes, las más difíciles de elucidar y cuyas determina- ciones tienen, por lo tanto, menos exactitud.

La edad de los terrenos, que obtenemos por la estratigrafía paleontológica, es, no hay que olvidarlo, una edad relativa y no una edad absoluta. No conseguirán los geólogos antes de largo tiempo resolver la cuestión de evaluar sus períodos años. Quizá, como indicaré en un capítulo ulterior, se llegará un día á establecer la concordancia de ciertos movimientos generales de carácter cíclico, tales como los avances y retrocesos alternativos del mar, con variaciones en los elemen- tos astronómicos de nuestro sistema solar. La vía está abierta en este sentido á indaga- ciones cuyo resultado, si se alcanza, sería uno de los más interesantes que se podría obtener en Geología; pero aún estamos lejos de esta solución, que para ser establecida con alguna certidumbre, tiene que apoyarse en un trabajo inmenso de coordinación; tra- bajo apenas comenzado aún en ciertas regio- nes privilegiadas, y completamente inédito en muchas partes del globo. Hasta entonces, debemos darnos por satisfechos con conocer la edad relativa de los terrenos ó el orden de su formación, y en este sentido es en el que han sido determinadas las grandes divisio-

nes clásicas en tiempos primarios, secundarios y terciarios, con todas las subdivisiones que es inútil recordar ahora. Baste decir, en dos palabras, que se ha establecido en la Historia de la Tierra unos sesenta compartimentos, llevando cada uno de ellos el número de orden desde el 1 al 60 (1), y que el primer resultado de un estudio geológico local debe ser el de atribuir al terreno encontrado en un punto cualquiera, el número de orden que le convenga, á fin de caracterizarle y de poder en seguida razonar sobre él.

Estos compartimentos representan, como tendré ocasión de decir muy pronto, divisiones demasiado arbitrarias, cuyos límites son difíciles de trazar, pues variando según el punto de vista elegido, es preciso mirarlos como convencionales y no atribuirles ningún carácter absoluto, aunque en principio se hayan esforzado los geólogos en hacer comenzar ó concluir los principales en fechas características, que parecen, al menos en ciertas teorías, haber marcado fases críticas en la historia del globo; por ejemplo, los hundimientos seguidos por un brusco retroceso de los mares.

Se puede, evidentemente, en lugar de limitarlos á 60, subdividirlos hasta el infinito, y, cuanto más gana en precisión la estratigrafía

(1) Reproduciré, para comodidad del lenguaje, estos números de orden tal como aparecen determinados en la obra ya citada *La Ciencia geológica*. Véase el final.

paleontológica, más se preocupa también de multiplicar estos compartimentos, para que el número de orden adoptado particularice cada vez mejor la edad de un terreno y facilite las identificaciones. En este género de ideas, aún parece algunas veces á los profanos que los geólogos llevan las cosas demasiado lejos y que existe un verdadero abuso en establecer, como se acostumbra en las regiones bien estudiadas, centenares de niveles figurados para bancos extremadamente delgados, en los que muchas veces forman un bloque uniforme y compacto. Pero hay que tener en cuenta que unos pocos centímetros de calcáreo, de limo ó de arena, á los cuales se atribuye de este modo una individualidad, pueden representar en la historia un número de años considerable, imposible de evaluar hasta hoy, quizá de decenas de siglos. Nada, pues, debe olvidarse en este género de observaciones, y si en muchos recintos, durante un período, las condiciones de depósito han permanecido siendo las mismas, resultaría imposible toda subdivisión, y sería absurdo deducir de esto que allí donde hubiesen variado dichas condiciones no se tuviese el derecho de aprovecharse de ellas. Por el contrario, únicamente por este trabajo de precisión rigurosa es por el que se puede esperar que se llegue en lo porvenir á conclusiones generales, fundadas hasta entonces sobre asimilaciones completamente groseras, aproximativas y, por consecuencia, de ningún valor.

Cuanto más se progresa en este orden de ideas, mayor necesidad hay, como sucede al astrónomo ó al físico que quiere medir fracciones de longitudes ó arcos muy mínimos, de comenzar por estudiar con cuidado las causas de error inherentes al instrumento que se emplea, y tratar, en lo posible, de eliminarlas. Esto mismo es lo que acabamos de hacer al discutir el valor del instrumento cronológico; pero como las asimilaciones de un punto á otro suponen necesariamente que hay identidad entre los pisos de un mismo nombre situados en diversos puntos, la delimitación exacta de estos pisos tiene igualmente gran importancia. Con respecto á esto se ha admitido muchas veces con demasiada complacencia el carácter absoluto, necesario y teóricamente impuesto de aquellas subdivisiones cronológicas, que es preciso, ante todo, fundar sobre las variaciones paleontológicas; pero una vez hechas, hay que considerarlas como convencionales. Se han exagerado las cosas, tratando al propio tiempo de apoyarse en la tectónica y en la paleontología, admitiendo de este modo implícitamente una concordancia rigurosa, muy verosímil cuando se suponía que las faunas habían sido destruídas por cataclismos, pero muy problemáticas con las ideas actuales de movimientos lentos y de evolución.

Este desacuerdo entre los dos métodos adoptados para clasificar los terrenos, es del que yo quiero indicar algo rápidamente. Partiendo de la paleontología, se establecen, co-

mo ya hemos visto, las divisiones de los pisos (neocomiano, barremiano, aptiano, etc.), según el progreso de evolución constante en ciertos fósiles de transformación rápida y general; pero cuando se trata de agrupar estos pisos por terrenos (jurásico, cretáceo, etc.) se pretende basarse de ordinario en los grandes fenómenos orogénicos, de que hablaremos pronto á propósito de la tectónica. Así se pretendía establecer las divisiones principales en los instantes en que se hubiera producido un cambio capital sobre la estructura del globo, cambio acusado en la práctica, si vale la frase, por este aire de familia que relaciona de una manera tan curiosa los depósitos de un mismo sistema sobre toda la extensión de la Tierra.

Si estos cambios hubieran sido instantáneos, según la antigua hipótesis; si de pronto las olas de esta enorme marea que se llama la transgresión «cenomaniana» hubiesen cubierto la Europa; si bruscamente los Alpes hubieran surgido sobre el emplazamiento de un antiguo mar, todo esto podría ser admisible; pero los cambios de la corteza terrestre ó de las aguas, hoy día considerados, por regla general, como progresivos y extendidos sobre largos períodos, teniendo, además, un carácter local que se desconocía cuando los estudios geológicos se limitaban á la Europa central, el supuesto de que acabo de hablar es inadmisibile; ni podría admitirse, á no ser que se le limitara á ciertos hundimientos, después de haber demostrado su rapidez naturalmente.

Entretanto, las divisiones de la geología son convencionales, como todas las que se establecen en una clasificación cualquiera ó en una serie histórica casi continua. Con tal de que no nos hagamos ninguna ilusión acerca de estos cambios sin fin en las divisiones de pisos, semejante convención no tiene ningún inconveniente después de bien precisada. La clasificación de detalle, que es la que importa, resulta hoy estrictamente paleontológica.

El estudio estratigráfico y paleontológico de los terrenos, sobre el cual acabo de insistir quizá con exceso, en razón de su importancia práctica, como punto de partida necesario, no resulta, en realidad, más que un jalón plantado para llegar más tarde á los resultados generales de la tectónica y de la paleo-geografía. Había necesidad ante todo de poder reconocer y clasificar un elemento individual cualquiera, mineral ó fósil, de la corteza terrestre; también había necesidad de saber definir en una asociación de minerales constituyendo un terreno ó una roca, un grupo de seres organizados que representa en ella la fauna; y había necesidad, por último, de averiguar por esta fauna la edad de un sedimento, y por la combinación de los caracteres petrográficos con los caracteres zoológicos ó botánicos, de determinar las condiciones físicas en las cuales ha cristalizado la roca ó se ha depositado el terreno. Pero, hecho esto, si no se fuese más adelante, si no se agrupasen estas conclusiones par-

ciales, si no nos sirviésemos de ellas para estudiar, ya los movimientos dinámicos de la superficie, ya los cambios de los mares, ya las operaciones complejas de la metalurgia interna, ya la evolución de los seres vivos, para escribir la Historia de la Tierra, en una palabra, no habiéramos alcanzado de nuestro estudio más que un resultado bastante mediano y bastante poco interesante.

Tectónica.—La *tectónica* es la ciencia que estudia las dislocaciones de la corteza terrestre, no solamente la parte más visible de estos accidentes que constituyen las cordilleras, sino, de una manera general, todos los fenómenos de orden mecánico á cuya acción ha podido estar sometida la Tierra. Las manifestaciones superficiales de tales fenómenos se prestan especialmente á un estudio riguroso y preciso, y por eso se las dedica mucha atención; su examen facilita además conclusiones directas para la historia de la estructura terrestre y de sus deformaciones en el curso de las edades; pero el problema más importante estriba en conocer por el examen de lo que ha pasado en la superficie, los cambios profundos cuyo rechazo marcan únicamente los movimientos exteriores. Establecer la ley de estas reacciones profundas es uno de los fines principales á que tiende la geología.

Como vamos á ver, examinando su método, la tectónica necesita, ante todo, de determinaciones paleontológicas y estratigráficas muy

precisas. Para dilucidar cuestiones tan complejas como las que á cada momento ofrecen las cordilleras, elevadas en el centro de terrenos dislocados, hundidos y arrastrados, se debe por de pronto estar perfectamente seguro de la exactitud del instrumento cronológico. Hay que tener en cuenta además, que, en casos semejantes, las investigaciones localizadas están condenadas á errar entre numerosas hipótesis, todas igualmente admisibles en un punto particular. Sólo por la comparación de observaciones repetidas y por la yuxtaposición de cortes rectos siguiendo diversas secciones de una misma cordillera, es por lo que se consigue eliminar las hipótesis inexactas y retener la única verdadera. Por esta razón la tectónica no ha podido constituirse hasta que estuvo formada la estratigrafía paleontológica, resultando una de las ciencias más modernas de la geología. Gracias á la tectónica, se ha podido llegar recientemente á los descubrimientos más sorprendentes, á las síntesis más grandiosas y á las inducciones más extraordinarias.

Al llegar aquí, como he dicho antes, todo el que no esté familiarizado con la práctica geológica, todo el que no conoce desde las primeras observaciones elementales hasta las últimas teorías más atrevidas, apenas puede concebir los fenómenos extraordinarios de que hoy se habla corrientemente. Montañas de 8.000 y 9.000 metros de elevación, ocupando el lecho de un mar y transformándose después por erosión en una llanura; trozos de

terrenos del tamaño de una provincia, deshechos en fragmentos y arrastrados á distancia de 50 ó 100 kilómetros, mostrando por agujeros enormes practicados en su superficie el fondo en que se asentaban. Pero todos estos movimientos que tanto nos sorprenden porque estamos acostumbrados á tomar por medida nuestras propias dimensiones, dejan de asombrarnos cuando se los mide con la escala de la Tierra, pues el mismo levantamiento del Himalaya aparece sobre una esfera de 6.400 kilómetros de radio, como una ligera arruga casi imperceptible; y los propios «arrastrés de terrenos» de que antes hablamos, nos resultan bien pequeños cuando se los compara con la longitud de esos plegamientos montañosos en que ellos no representan más que el cambio transversal. Cualquiera que sea nuestra dificultad para concebir, y sobre todo para explicar tales cataclismos, hay que tener en cuenta que un gran número de estas conclusiones tectónicas están rigurosamente demostradas por el acuerdo reiterado entre las observaciones nuevas y las antiguas hipótesis.

Una de las consecuencias más curiosas de la tectónica es que nos permite extender á las zonas antiguamente plegadas, donde han desaparecido por completo las huellas de estos plegamientos por efecto de las erosiones, los resultados obtenidos en las grandes cadenas montañosas donde el relieve sólo subsiste por el hecho de que son recientes.

De este modo se puede seguir, sobre la su-

perficie de la Tierra, en regiones donde el geógrafo no ve hoy más que mesetas y llanuras, montañas desaparecidas, roídas hasta su base, que en otros tiempos se elevaron á la altura de los Andes, el Cáucaso y el Himalaya. Se levantan, se reconstituyen estos edificios desaparecidos y se asiste de nuevo á su nacimiento, á su vida y á su destrucción. Se encuentran en los depósitos los torrentes que brotaban de estas montañas y los lagos y lagunas que les fertilizaban, los restos de plantas, árboles y animales que vivían en ellas, y los residuos de rocas y minerales cuyos afloramientos rasgaban entonces su superficie. Con un poco de imaginación se resucita por completo á estas montañas, con sus glaciares, sus aristas, sus frondas; y la vida de los individuos, la de las naciones, la de las razas mismas, se nos presenta bien miserable y bien mezquina cuando hemos podido ver, en ciertos períodos geológicos, surgir y desvanecerse estos colosos de piedra.

Por el examen de las cadenas antiguas, tan fuertemente carcomidas y descostradas, se adquieren al propio tiempo las nociones más preciosas sobre esta continuación profunda de los cambios superficiales, que nos importan principalmente, como dejamos dicho. En una cadena de montañas, aun salientes, nos es imposible conocer otra cosa más que el débil caparazón exterior erguido algunos kilómetros apenas por encima de los mares. Los mismos túneles que perforan los

montes entre dos valles, llegan sólo á la epidermis de estos plegamientos, y según todas las probabilidades, la zona más movida por toda clase de reacciones es, al propio tiempo, la más complicada. Pero las montañas se destruyen día tras día por el trabajo de las aguas, y tienden á aplanarse poco á poco, nivelándose con las llanuras próximas. Si pudiéramos volver, dentro de algunos centenares de siglos, sobre el emplazamiento de los Alpes, ya cortados entonces en su masa, veríamos aparecer en ellos una sección exterior horizontal profunda, y algunos millares de años más tarde descubriríamos, en la cordillera desaparecida, una sección más baja todavía. Pero lo que la duración de la vida nos impide hacer, podemos realizarlo aproximadamente, considerando, sobre la superficie actual de la Tierra, diversas cordilleras, que han sido las más antiguas, como la tectónica demuestra, cordilleras que habiendo presentado en su origen una disposición análoga, fueron también, según todas las probabilidades, profundamente cortadas á medida que son más viejas. La estructura geológica de Noruega, sobre la cual se sobrepondría de este modo la de la Meseta central, después la de los Alpes, puede darnos una idea de lo que se vería si pudiésemos descender algunos kilómetros bajo la superficie de esta última cordillera. Una de las primeras conclusiones que se deducen de todo esto, es la simplificación de los fenómenos, cuando se desciende hacia la zona central, con la des-

aparición rápida de esta delgadísima capa sedimentaria, que nos resulta tan cómoda para establecer distinciones de edad, pero cuya formación es tan insignificante para el conjunto de la Tierra; al mismo tiempo se comprueba la sustitución profunda en estos sedimentos, constituídos primero por productos recristalizados por metamorfismo y después por rocas enteramente fundidas, en cuya formación sólo han intervenido las acciones ígneas y la metalurgia interna.

Naturalmente no se llega del primer paso, sino poco á poco y progresivamente, á familiarizarse de este modo con las dimensiones de la Tierra y considerarla en su totalidad como una pequeña bola escorificada, cuyo desmenuzamiento y contracciones nos imaginamos seguir al través de los siglos. Un breve recuerdo de las etapas recorridas en este estudio, pondrá de relieve la aplicación de estas grandes teorías generales, que hemos visto laborando para formar el conjunto de nuestra Ciencia en el capítulo primero y nos mostrará también cómo se ha constituido el método actual.

En tectónica, como en las otras ramas de la Geología, se ha creído simultáneamente en la inmutabilidad, en los cataclismos y en la evolución, hasta que se ha llegado hoy á formular una combinación más racional de estas tres hipótesis.

El hombre no ha podido conservar durante largo tiempo sus primeras ilusiones sobre la estabilidad indefinida de nuestro

planeta, en regiones de civilización muy antigua, como la zona mediterránea, donde sin cesar se repiten los terremotos y las erupciones volcánicas. La idea de que la Tierra no es una cosa sólida, sino que está sujeta á temblar, á hundirse y á vomitar materias fundidas y llamas, es remotísima y va comprendida implícitamente en todas las cosmogonías antiguas; de manera que cuando se establecieron más tarde las teorías geológicas, no se vaciló en invocar estas rupturas súbitas y estos ríos de lava arrastrando en pos de sí fragmentos enteros de la corteza terrestre, para explicar los levantamientos de las montañas y el relieve mismo de los continentes. Sin ir tan lejos, se encuentra, por ejemplo, en los principios de filosofía de Descartes (1644) un corte teórico de la Tierra, el cual, modificando alguno de sus detalles, casi resultaría de acuerdo con las teorías orogénicas modernas. Pero las observaciones más precisas sobre los cambios relativos de terreno, han sido hechas en las minas, donde pudieron examinarse ejemplos claros y precisos en forma de fracturas y de debilitamientos verticales, con ciertos filones que se incrustan en grandes hendiduras de diez kilómetros de longitud, y con ciertas fallas, que cortando un terreno dado, crean bruscamente, entre sus dos troncos, desnivelaciones de cien metros. De acuerdo con las nociones adquiridas de este modo, la idea de falla, ó de accidente vertical, dominó casi exclusivamente durante la mayor parte del

siglo anterior, en todos los primeros bosquejos de la tectónica.

Como la superficie nos ofrece en principio un corte casi horizontal de los terrenos geológicos, cuando se encontraban á un mismo nivel dos pisos, uno de los cuales debía de haberse superpuesto al otro, se trazaba, siguiendo su contacto, una falla y no se hacía nada más. El método tectónico quedaba así reducido á su más simple expresión. Los progresos de esta ciencia se verificaron únicamente cuando se tenía que luchar con las regiones montañosas, despreciadas por de pronto por los geólogos, que encontraban en las tierras llanas un campo de estudios más fácil. Aquí bastaba con abrir los ojos y mirar á cierta distancia estas murallas de montañas, donde los recodos de las capas y sus sinuosidades se dibujan como sobre un corte teórico, para darse cuenta de que el exterior de los accidentes verticales, los plegamientos y, por consecuencia, las compresiones horizontales de la corteza, habían desempeñado todo su papel. La observación había sido ya hecha por Saussure al finalizar el siglo xviii; Élie de Beaumont la generalizó, y en una inducción genial, fundó en ella la base de su teoría sobre el «relleno», es decir, del plegamiento producido en la corteza superficial con inclinación lateral por la necesidad de continuar apoyándose sobre un núcleo que se contractaba solidificándose. De este modo llegó á sintetizar los diversos salientes de las montañas del glo-

bo, agruparlos y coordinarlos, estableciendo, por último, su edad relativa.

Después se fué más lejos y se precisó también más; con una paciencia tanto más admirable cuanto que se aplicaba á regiones de un acceso tan difícil, los geólogos alpinos se han dedicado á evidenciar el juego complejo de todos estos elementos dislocados, y á señalar por los restos ruinosos de un edificio destruído, la construcción primitiva. El resultado obtenido por esta labor les indemnizó cumplidamente de sus fatigas, pues gracias á sus estudios de detalle ha podido crear M. Suess su admirable síntesis y todos los demás trabajos que, inspirándose en tan hermosa obra, constituyen en la actualidad nuestra tectónica moderna.

Para razonar en esta ciencia y establecer los resultados tan curiosos que acabo de referir, hay necesidad, después de examinar los terrenos observados en la superficie, de reconstituir con el pensamiento su aspecto invisible, lo que se consigue por medio de secciones verticales tan numerosas como sea posible. La concordancia profunda de estos cortes con elementos observados á flor de tierra, aunque encierran una parte de hipótesis, se prueba con tanta mayor certidumbre cuanto más numerosos y de más variadas direcciones hayan sido aquellos cortes. Si, después de haber sacado de los hechos superficiales toda la enseñanza que podía esperarse de ellos, y construído, por lo tanto, una imagen supuesta de la profundidad, se

puede comprobar la exactitud de esta imagen por un trabajo subterráneo, túnel, pozo ó sondeo, la hipótesis que ha servido de punto de partida podrá considerarse como demostrada, en la medida en que una experiencia física puede ser demostrativa.

Esto se produjo en uno de los casos más clásicos de terrenos arrastrados á lo largo de la cuenca hullífera franco-belga, y las inducciones teóricas demostraron entonces, como confirmación práctica, el descubrimiento de venas carboníferas en puntos donde las antiguas teorías no hubieran sospechado su presencia. Por desgracia, esta comprobación es muy excepcional; pero la misma Naturaleza puede facilitarnos, por la exploración de una región desconocida, y por consecuencia no tomada en cuenta en ningún género de teorías, una demostración de la propia índole. Así sucedería, por ejemplo, con ciertas hipótesis recientes sobre la estructura de los Alpes, en las cuales se supone que toda la cordillera ha sido trastornada y aplastada bajo el impulso de una masa montañosa venida del Sur, si se encontrara en alguna parte, los restos de este arrastre meridional.

He aquí, en dos palabras, cómo se llega á estas nociones de hundimientos y de arrastres que tan gran papel representan en las teorías actuales.

Habiendo sido establecida perfectamente la sucesión estratigráfica de los terrenos, se comprueba, en ciertas regiones, que los terrenos aparecen superpuestos en sentido in-

verso de su edad real, como si dijéramos de cabeza abajo. El hecho no es excepcional, sino bastante frecuente, y si su comprobación no es más antigua, es porque se manifiesta especialmente en las regiones montañosas (ó á grandes profundidades en las viejas cadenas plegadas), en condiciones, por lo tanto, en que los terrenos están generalmente alterados por el metamorfismo químico y dinámico, en que sus fósiles están casi destruídos, en que el reconocimiento preciso de los niveles paleontológicos es difícil; por todos estos motivos se creyó en un principio en un simple hundimiento de superficie completamente accidental. Además, es muy raro que un corte natural muestre directamente los distintos terrenos sobre una gran extensión; en general se deduce mejor su superposición de su presencia á niveles cada vez más elevados sobre el flanco de una montaña. Por eso, á primera vista, los geólogos se inclinaban á explicar la distribución anormal de los terrenos por desnivelaciones escalonadas resultantes de fallas, y únicamente porque la comprobación precisa, incontestable, de trastornos extendidos á vastas regiones ha sido hecha en puntos cada vez más numerosos, es por lo que se invocan hoy tales fenómenos (quizá algunas veces con exageración), puesto que facilitan una explicación cómoda de las anomalías observadas.

Los *hundimientos* que se observan de este modo, tienen, en general, por punto de partida el trastorno de un pliegue apretado que,

levantándose primero verticalmente, se inclinó después extendiéndose cada vez más, como un hilo flexible de metal estirado entre las dos extremidades de una hilera. En algunas regiones hay continuidad directa entre la raíz del pliegue y su saliente combada; en otras hay que establecer esta continuidad por sus extremos, y algunas veces, por último, hay precisión de suponerla.

Pero no es únicamente una sucesión de terrenos desplomados la que se encuentra en ciertos casos. Obsérvase á veces, en un mismo corte, la superposición de muchas series semejantes, y siendo el orden normal de los terrenos 1, 2, 3 y 4, suele ocurrir encontrar una sobre otra muchas series 4, 3, 2, 1, y aun después 4, 3, 2, 1 con más ó menos lagunas introducidas por el mecanismo. Entonces hay necesidad de suponer que en lugar de un pliegue único, los terrenos de que se trata han formado un plegamiento complejo, una sucesión de pliegues invertidos y arrastrados los unos por encima de los otros. Esta flexibilidad, esta facilidad de plegarse (algunas veces con un *mínimum* de dislocación), es un hecho experimental; la misión de la hipótesis comienza cuando se trata de explicarle, cosa que se ha intentado en la actualidad, suponiendo estos plegamientos operados ya á cierta profundidad, bajo sobrecargas enormes de terrenos que impedirían las fracturas y facilitarían su plasticidad. Muchos geólogos están dispuestos á admitir que estos grandes plegamientos montañosos, cuya duración efímera

y desaparición rápida por erosión acabo de indicar, no han comenzado á manifestarse en la superficie más que por una primera fase de erosión, habiendo sido formados subterráneamente, por de pronto, bajo una cubierta de sedimentos ahora desaparecidos.

Yo añado que los fenómenos, ya muy complicados, cuya naturaleza acabo de indicar, pueden ser en realidad mucho más complejos todavía, pues suele suceder que el macizo arrastrado haya llevado en su base una parte del terreno que constituía sus cimientos, parte no deshecha, sino cambiada de lugar horizontalmente. Estas capas subyacentes, sin ser arrastradas, han podido replegarse, y á su vez el pedazo empujado, después de haber sido derribado y conducido lejos de su punto de origen durante un período antiguo de plegamientos, ha podido más tarde ser también, en el lugar de su depósito, plegado de nuevo con su *substratum* y formar de este modo pliegues invertidos ó levantados. Por último, algunas grietas, practicadas por erosión en la capa superior, pueden haber permitido percibir, bajo un terreno antiguo, su base de terrenos recientes.

Todos éstos son casos, repito (salvo la aplicación problemática de cualquiera de ellos en particular), de hechos de observación que en su principio no pueden ser discutibles, puesto que está perfectamente determinada la época en que se han verificado tales movimientos: primero, por la edad de los terrenos cuya influencia han sufrido, y segundo,

por la de las capas no cambiadas de lugar. En seguida se ve la asombrosa movilidad que es forzoso atribuir á la corteza terrestre, ante todo en las cordilleras actuales, y después, por extensión, sobre el emplazamiento de las cordilleras antiguas, hoy día transformadas en mesetas, es decir, y remontándose bastante lejos, toda la Historia de la Tierra en su completa extensión. De esta manera, y sin establecer hipótesis fantásticas, sino obligado por la precisión de explicar hechos positivos é indudables, se ve uno en la necesidad de formarse sobre la constitución de nuestro globo una idea bastante distinta del actualismo vulgar, que si puede aplicarse aislada y localmente á cada uno de los fenómenos, resulta inadmisibile para su conjunto. Es de precisión, para no perderse en ensueños fantásticos, ampliar los puntos de vista hasta las dimensiones de la Tierra, no ya para comprender estas manifestaciones superficiales y restringidas de que ahora hablamos, sino para abarcar todo el conjunto del planeta.

En un solo punto de la Tierra podemos comprobar que el mar ha avanzado y retrocedido muchas veces, acumulando sobre él sus depósitos durante largos períodos geológicos, y desapareciendo después para dejar en su sitio un continente emergido, en cuya superficie afloraban los depósitos precedentes, inclinados y plegados, con hendiduras por donde subían los metales ó se elevaban las rocas volcánicas en fusión; volviendo las aguas á avanzar con igual profundidad hasta

que se constituyó una capa formada de terrenos derribados, cuyo origen se encontraba á centenares de kilómetros de esta capa. También es muy probable que ella sufriese además la sobrecarga de grandes extensiones de terrenos arrancados por erosión; después de lo cual en este mismo lugar el suelo se hundió una vez más, y todo este conjunto, ya tan complejo, pudo ser plegado, dislocado y revuelto de nuevo.

Iguales fenómenos que los ocurridos en este punto podemos ver repetidos sobre toda la longitud de las grandes cordilleras, que se dibujan como arrugas geológicamente continuas al través de Europa y Asia y sobre el territorio de las dos Américas. En todas partes reconocemos la unidad de fenómenos proseguidos simultáneamente sobre tales longitudes con caracteres idénticos; y en los tiempos antiguos, como en los modernos, podemos trazar círculos de fuego sincrónicos, que de período en período han cambiado de lugar en la superficie de la Tierra; círculos de fuego sobre cuya extensión subían á la vez rocas fundidas por innumerables rebosos volcánicos, mientras que debajo de ellos, y en una extensión mucho más grande aún, cristalizaban las rocas profundas.

Así descubrimos en la estructura de la Tierra una transformación progresiva, una variación y un cambio de rasgos generales, que representan una evolución, con fases críticas que nos conducen en cierto modo

al catastrofismo. El carácter de generalidad, la amplitud que de esta manera atribuimos á los fenómenos, se acentúan todavía más cuando, con el auxilio de la Astronomía, colocamos la Tierra en el lugar que le corresponde dentro de los elementos del sistema solar, y éste, á su vez, entre los elementos del más vasto sistema á que va unido; cuando reconocemos y distinguimos en el espacio infinito astros en los cuales, según demuestra el análisis espectral, existen rasgos fundamentales de analogía con nuestro globo, aunque en períodos diversos de evolución. No hay posibilidad entonces de limitarse á explicar los volcanes por una combustión de piritita ó de hulla, ni los terrenos inclinados ó desplomados por una desigualdad del fondo del mar ó por un hundimiento, ni las concentraciones de los metales por un lavado superficial de las rocas, ni relacionar siquiera todos estos accidentes con manifestaciones actuales un poco más afinadas, pero siempre insuficientes... Cuando se piensa en todo lo que queda dicho, no hay posibilidad de sustraerse á pensar en la evidencia de fenómenos generales, profundos, en relación estrecha con la evolución cósmica y con el torbellino universal de átomos ó de energía que constituye la materia.

Paleo-geografía.—Llegamos á la misma conclusión por la paleo-geografía, es decir, por la ciencia que, como hemos visto, intenta reconstituir la geografía física en las diversas

épocas, ó escribir, en cierto modo, la historia, la evolución de esta geografía. En efecto, la paleo-geografía no es más que la coordinación sistemática de los resultados adquiridos en tectónica y en estratigrafía, independiente de las explicaciones que puedan dar de ellos ambas ciencias. Ya hemos aprendido: por la tectónica, que durante un período determinado, tal ó cual región era montañosa ó se dislocaba; por la estratigrafía, que durante el mismo tiempo, otra región estaba recubierta por un mar, una laguna salada, un lago de agua dulce, ó por el contrario, emergida. La estratigrafía y la paleontología nos demuestran dónde estaban las riberas, dónde los estuarios, dónde los arrecifes de corales, dónde la alta mar, haciéndonos conocer, al propio tiempo, la naturaleza del fondo fangoso ó arenisco sobre las costas, la profundidad y la temperatura de las aguas; las comunicaciones de un mar con otro se revelan por correspondencias de sus faunas, y las interrupciones por la diversidad de faunas marinas simultáneas; los restos de los seres continentales, animales ó plantas, nos marcan el clima, la vegetación, la altitud y el aspecto del país; la petrografía nos muestra el lugar de los volcanes, y aun debemos esperar, según recientes observaciones, poder reconstituir la distribución magnética del globo en una edad antigua. Tenemos, pues, todos los elementos de un atlas físico, que casi llegaría á ser completo si los mares actuales, sobre cuyo fondo estamos tan mal informados, y las re-

giones polares recubiertas por los hielos, donde se encuentra la clave de tantos problemas, no nos sumiesen con frecuencia en grandes incertidumbres.

Trazando de este modo una serie de cartas geográficas para los períodos sucesivos de la Historia de la Tierra, desde luego se ve como en un kaleidoscopio movible, los mares cambiar á cada instante de forma y de sitio, los continentes emerger un momento para hundirse después bajo las aguas. Y esta transformación que es casi absoluta de una época á otra es la que atrae ante todo la atención, y á primera vista su marcha parece completamente desordenada; pero un examen más atento puede hacernos percibir, no obstante, ciertos rasgos relativamente constantes, fijados desde primera hora ó establecidos en un momento determinado é inmutables después; las mismas observaciones parecen igualmente susceptibles de evidenciar un ritmo, un período en la marcha de estos flujos y reflujos periódicos. Esta última conclusión tendría tal interés para la historia de la estructura terrestre, puesto que permitiría quizá relacionarla por aproximación con influencias astronómicas de fase conocida, que podrían darse por bien empleados todos los trabajos que se hiciesen en este sentido. Pero éste es un trabajo que exige una precisión especial en las identificaciones paleontológicas; porque es evidente que una carta cuyos elementos no fuesen rigurosamente sincrónicos, perdería por eso mismo todo su valor.

CAPITULO III

LAS FUERZAS QUE HAN ACTUADO

EN LAS TRANSFORMACIONES TERRESTRES, Y SUS EFECTOS GENERALES

Agentes físicos, químicos y orgánicos.—Acción del calor y del agua, de la cristalización, de la alteración superficial, del arroyeo de las aguas y de la sedimentación.

Como un ser vivo, la Tierra se transforma constantemente, y estas transformaciones son las que constituyen su historia. En todo instante sus elementos materiales cambian, se disocian y entran en agrupaciones nuevas por efecto de energías distintas, que á su vez, al menos para nuestros sentidos, cambian también de naturaleza sin cansarse. Individualmente, cada incidente de esta evolución está regido por leyes estudiadas en las diversas ciencias que se designan con los nombres de Mecánica, Física, Química, Biología, etc.; el efecto general de estos incidentes sobre la estructura de la Tierra es el dominio especial donde impera la Geología.

Entre las fuerzas que intervienen de este modo, y que vamos á examinar sucesivamen-

te, unas, como la sedimentación ó la actividad orgánica, no desempeñan más que un papel puramente superficial, y proceden, si vale la frase, por simples retoques, por pequeños golpes sucesivos de buril; otras, como las fusiones profundas, cualquiera que sea su origen primordial, tienen un campo de acción interno mucho más vasto, y en un tiempo que puede ser muy corto, determinan cambios considerables. Tan pronto la actividad produce por consecuencia un levantamiento de relieve, y tal es el caso para los plegamientos causados, sin duda originariamente por el calor interno, ó ya, en proporciones más restringidas, este levantamiento es producido por la labor de ciertos organismos constructores. Otras veces, por el contrario, dicho relieve tiende á aplanarse, y éste es el efecto de las aguas superficiales y de la gravedad. Físicamente, dos fuerzas inversas parecen en juego por de pronto: la atracción terrestre, que hace caer y bajar los productos disgregados y las aguas; la atracción sideral, que levanta las mareas, combinada con la actividad solar que evapora las aguas terrestres hasta las nubes y las permite reprecipitarse después; pero es preciso también no olvidar el calor interno, residuo probable de un antiguo estado de cosas cósmico en el cual la Tierra entera formaba un globo ígneo. Químicamente, un reactivo domina á todos los demás por su poder extraordinario, y este reactivo es el agua. Todos los elementos de las rocas ó

del aire intervienen igualmente en su favor.

Para comodidad en la exposición, distinguiremos unos de otros estos agentes según el uso, y á pesar de su principio común: 1.º, físicos; 2.º, químicos, y 3.º, orgánicos.

1.º *Agentes físicos*.—Las principales energías que obran físicamente sobre la estructura terrestre, es decir, las que cambian los elementos materiales sin modificar su naturaleza, son las atracciones terrestre y solar, las radiaciones de todo género enviadas hacia nosotros por el Sol y el calor interno almacenado de larga fecha en el núcleo profundo de la Tierra. Estas distintas energías adquieren una intensidad muy especial cuando utilizan como vehículo el agua, este agente físico por excelencia, cuyo papel químico acabo de señalar anteriormente.

Así es que la atracción terrestre se traduce especialmente por el arroyeo que produce por sí solo la sedimentación. Si no hubiese agua, algunos trozos de roca caerían, sin duda, de las montañas; pero, por de pronto, no siendo las cimas disgregadas por las lluvias y las nieblas, ni agrietadas por los hielos, resultarían mucho más estables, y además los productos desplomados pronto serían detenidos en su caída. Por el contrario, obrando el agua en todos los aspectos de su actividad física y química sobre las cumbres, prepara y ejecuta después su obra demolidora; los elementos solubles arrastrados por las aguas, abandonados un instante y envueltos nuevamente por ellas, son pronto ó tarde

conducidos, ya sea en el estado de suspensión ó ya en el de disolución, hasta las grandes cuencas de sedimentación, lacustres ó marinas, en las cuales acaban por precipitarse.

De igual modo, la atracción de la Luna, del Sol y de los astros, aunque pudiendo quizá determinar también directamente cierta especie de mareas internas sobre las zonas flúidas de nuestro planeta, producen, como efecto principal, el de hacer subir y bajar las mareas de los océanos, con la fuerza colosal cuyos resultados vemos continuamente; la actividad del Sol se manifiesta por la aspiración del vapor de agua, que cae más tarde en forma de nieblas y de lluvia.

Las radiaciones solares, obscuras ó luminosas, si es cierto que intervienen en las fases meteorológicas, tienen en aquellos fenómenos una acción del propio género, igualmente caracterizada por el aumento ó la disminución de las lluvias; y el mismo calor interno no produciría más que cambios mucho menores en la corteza terrestre si obrase por simple fusión seca, sin poner en movimiento estas masas de vapor de agua, arrancadas á la fusión de las rocas mismas ó introducidas por hendiduras hasta ponerse en contacto con ellas, pues son las que constituyen, como todo el mundo sabe, una de las potencias más activas de las erupciones volcánicas.

Los dos efectos principales de las energías físicas sobre la estructura terrestre son: primero, las deformaciones internas, que produ-

ciendo desigualdades en la superficie y á las cuales relacionamos todas las grandes manifestaciones estudiadas en la orogenia, las cordilleras y las cuencas de hundimientos, y los volcanes con sus proyecciones y sus arrastres; y segundo, los arroyamientos y sedimentaciones superficiales, que tienden á nivelar lenta, pero continuamente, las desigualdades de origen interno. Por los unos el relieve se accidenta; por los otros se aplanan.

Las primeras fuerzas, esto es, las que provocan las desigualdades superficiales, cuyo estudio constituye la geografía física, apenas se revelan hoy á nuestros ojos por efectos visibles, ó por lo menos, inmediatos. Cabe preguntar si continúan operando en el momento actual, y aunque su acción resulte probable, puede discutirse, puesto que no resulta evidente á primera vista que la superficie de la Tierra se deforme todavía lentamente. Sin embargo, parece indudable que en ciertas épocas, el movimiento haya alcanzado un grado particular de intensidad, y es en él donde se refugia la parte de catastrofismo conservada en geología. Con respecto á esto, tenemos muchas razones para creer que la Tierra sufre una evolución progresiva y que las acciones deformatrices han obrado en condiciones diversas, acaso atenuadas con el tiempo, en las diferentes fases de su historia. Por lo demás, tal estudio no puede hacerse más que por inducción utilizando una parte de hipótesis en unión de las observaciones inmediatas de la Geología.

Por el contrario, fuerzas niveladoras obran delante de nosotros, y basta con multiplicar su trabajo cotidiano durante cierto número de días, para concebir la erosión completa de las grandes cordilleras y el transporte de sus elementos hasta las cuencas de sedimentación. Aquí también hay necesidad de imaginar actividades distintas según las épocas, paroxismos y calmas alternativas; pero es posible que haya habido simplemente ciclos sucesivos, produciendo efectos recurrentes de los mismos fenómenos con análoga intensidad. Nada nos prueba una evolución progresiva y definitiva de las fuerzas que es admisible, sin embargo.

El poder de estas fuerzas erosivas y niveladoras, cuya existencia no tiene nada de hipotético, es muy superior á lo que se imagina de ordinario; hay precisión de concebirle capaz de realizar con el tiempo la destrucción de montañas tan elevadas como el Himalaya y de rellenar con sus restos mares transformados en tierra firme. Entregada la Tierra á la acción exclusiva de estas fuerzas, y sustraída, por lo tanto, á la influencia de los movimientos profundos, que en poco tiempo derriban este trabajo de hormigas incansables, bien pronto adquiriría la forma de un esferoide perfecto, geoméricamente equilibrado y nivelado en todas sus partes, muy apropósito, en una palabra, para la realización de todas las igualdades sociales y de todos los falansterios. Además de las pruebas directas de las fuerzas erosivas, se tiene tam-

bién la demostración indirecta, pero precisa, por la aparición en la superficie de rocas ó de terrenos metamórficos, que según su estructura, deben de haber cristalizado bajo kilómetros de capas desaparecidas, y más claramente aún por las vastas lagunas de nuestros perfiles geológicos más normales, inexplicables por otras causas, por los fragmentos de estratos olvidados como testigos de un estado de cosas concluído, y por la situación actual sobre mesetas muy elevadas de rocas duras, que, visiblemente, han formado parte de una corriente de lava sobre el fondo de un valle.

En cuanto á la actividad interna y deformante, que ha podido negarse cuando sólo se fijaba la atención en pequeños fenómenos locales sin buscar en ellos la coordinación general, es, según nuestra opinión, tan incontestable como la actividad erosiva para cualquiera que comprenda el conjunto de los fenómenos geológicos. No han debido bastar, como se ha pretendido suponer, los aportes sedimentarios en las cuencas para que el aumento de temperatura del fondo produjera su deformación, luego una sedimentación más fuerte, acompañada de fusiones, y, por último, todas las manifestaciones orogénicas ó volcánicas. Semejantes influencias, que han podido intervenir de manera secundaria, estaban regidas á su vez por una ley más general, precedidas y provocadas por causas más profundas; y de todas maneras, la temperatura interna del glo-

bo que invoca tal teoría, es por sí misma un fenómeno demasiado capital, que implica evidentemente la persistencia de hogares subterráneos, debidos á un régimen cósmico anterior, para que no haya necesidad ante todo, como veremos más tarde, de hacer intervenir este calor interno como una causa de fusiones, de amplias operaciones metalúrgicas, de cambios, de hundimientos y de plegamientos.

2.º *Agentes químicos.*— La actividad química obra menos sobre el relieve que sobre la constitución de los elementos materiales y sobre el agrupamiento de sus átomos, llevados sin cesar de una forma á otra por este torbellino que arrastra y moldea en apariencias mudables todo lo que creemos conocer y distinguir del mundo visible y sensible: la materia, la fuerza y la vida. Los mismos elementos químicos ¿son inmutables? No se cree tal cosa en la actualidad, y se intenta sorprender, en sus transformaciones supuestas, de uno en otro, una evolución que nos ayudaría quizá á precisar los períodos geológicos. De todos modos, estos elementos, á su vez, pasan constantemente de una asociación á otra, en la cual, y realizadas ciertas condiciones, es más estable. Hay, por lo tanto, una tendencia hacia un equilibrio, que resulta efímero por la modificación de las fuerzas físicas, por la temperatura, la presión, etc., y tendencia también hacia la cristalización que, en la distribución geométrica de la materia, simboliza este equilibrio.

En la práctica, la actividad química interviene para modificar la estructura terrestre con dos agentes principales: el calor, que es una fuerza; y el agua, que es un reactivo y un vehículo.

Facilitadas por una elevación de temperatura, que es producida especialmente por reacciones internas y profundas, las combinaciones de los elementos se transforman de ordinario en el sentido de una integración, de una fusión, acompañada ó no de licuaciones, de diferenciaciones y de segregaciones. Para tomar el caso más normal, la sílice se une entonces íntimamente á las bases, y forma minerales cristalizados, en los cuales la sílice, desempeñando el papel de ácido, retiene los álcalis, la cal, el hierro, etc. La metalurgia por fusión, cuando no interviene en ella metaloides volátiles, mineralizadores como el cloro ó el azufre, susceptibles de llevar los metales al estado de fumerolas, produce el efecto de fijar los elementos, asociarlos bajo forma cristalina y de hacerlos más resistentes á la destrucción.

Por el contrario, la acción del agua, que es el hecho dominante en la superficie, obra en sentido inverso para liberar estos elementos de sus asociaciones, para aislarlos, para individualizarlos, para permitir, en suma, su clasificación por categorías en la sedimentación. Ya por sí misma, ya operando como un ácido que cambia la sílice y se apodera de las bases disolviéndolas, ya á título de vehículo, haciendo intervenir estos agen-

tes constantes de reacciones superficiales, ácido carbónico, cloruro de sodio, nitratos, etcétera, el agua, destruye, en resumidas cuentas, los silicatos, y prepara esta división en arenas cuarzosas, arcillas calcáreas y depósitos salinos ó ferruginosos, donde se encuentran separados, en los sedimentos, los elementos principales de las rocas, sílice de cuarzo, alúmina, cales, álcalis y hierro. Después de esto, si se deja el ciclo geológico proseguir, aquellos sedimentos, á su vez, recobrando bien pronto una estructura cristalina, eliminando poco á poco los restos orgánicos que pudieran contener, transformándose, en una palabra, por un metamorfismo comenzado en la superficie, continuado en la profundidad, llegan, finalmente, á ser refundidos, reabsorbidos y recristalizados en nuevas rocas, para preparar elementos de sedimentación para un nuevo ciclo. No hay que olvidar que en estas rocas el agua se aprisiona, y que está dispuesta, en cuanto tales rocas se calientan, á desprenderse y á reobrar de nuevo sobre ellas.

3.º *Agentes orgánicos.*—Por último, el papel de los agentes orgánicos, muy importante sin duda para la constitución de los terrenos sedimentarios, y muy interesante, sobre todo, por la enseñanza que estos restos orgánicos nos proporcionan sobre la edad de los terrenos, sobre su condición y su modo de formación, resulta, cuando se atiende sólo á las deformaciones de la estructura, bastante insignificante, pues su acción se limita:

en los mares, á la fijación, la concentración del carbonato de cal, algunas veces de la sílice ó de ciertos cuerpos más excepcionales, como el fósforo; en tierra firme, á la fijación igualmente del carbono, del ázoe, del fósforo y, accesoriamente, de la cal y de los álcalis. Los restos de la vida sobre los continentes no forman, ni siquiera en el estado de despojos, vegetales en los bosques de los trópicos, más que una imperceptible película; pero los arrecifes coralinos pueden y han podido constantemente en ciertas regiones, durante la historia geológica, modificar localmente la distribución de los mares.

CAPÍTULO IV

LA HISTORIA DE LA MATERIA TERRESTRE

La distribución de los elementos químicos en la Tierra y su evolución posible.—La consolidación de la corteza terrestre y los fenómenos preliminares de la sedimentación.

Distribución interna de los elementos químicos.—Encontramos en la parte superficial de la corteza terrestre, que es la única que podemos conocer, todos los elementos de nuestra química, afirmación que presentada así resultaría demasiado evidente, puesto que es en ella donde nuestra química toma sus elementos de estudio, si el análisis espectral no hubiera extendido nuestro campo de investigación hasta los astros más remotos, y no nos hubiese permitido reconocer en todos estos astros una identidad de constitución casi absoluta con la de la Tierra. Conviene, solamente, dejar la restricción de la palabra «casi» por ahora, para no prescindir de ciertas rayas espectrales que aún no han sido identificadas.

Todo esto equivale á decir que la superficie terrestre encierra, en cantidades más ó menos grandes, casi todas las formas de ma-

teria contenidas en el Sol y en los astros, ó, según todas las probabilidades, que estas formas de materia observadas en nuestro universo visible, son, sobre poco más ó menos, las únicas que pueden ser realizadas en las condiciones que presenta este universo. Los metales propiamente dichos encontrados de este modo en la corteza superficial, deben proceder, verosímilmente, de las partes más profundas de nuestro planeta, y encontrarse en ellas en proporciones diferentes de las que se observan sobre la superficie.

¿Qué es esta materia y cuál es el valor absoluto de las divisiones en cuerpos simples, introducidos en ella por nuestra química?

Cuestiones muy delicadas son éstas; cuestiones que á primera vista parecen salir de nuestro estudio especial. No obstante la forma en que se las resuelva, puede influir de rechazo en la apreciación que haya de darse sobre las localizaciones metalíferas.

Es inútil insistir sobre la antigua querella que hace más de tres mil años sostienen el atomismo y el dinamismo. Entre estos dos principios, á los cuales se puede llevar fácilmente todos los fenómenos percibidos por nuestros sentidos, la materia y la fuerza necesitan una comunidad de substancia, toda vez que hay en ellos acción recíproca; pues aunque la materia sea una expresión de la fuerza, ó ésta una virtud de la primera, casi viene á ser lo mismo, y dejo á los metafísicos la tarea de resolver la alternativa. Pero sea lo que sea, la teoría dominante en la actuali-

dad es la dinámica; la energética reemplaza al atomismo de la generación precedente, y en este orden de ideas nos expresaremos.

Luego, si asimilamos la materia á integraciones sucesivas de movimientos, análogos á los de los astros en un sistema solar, esto es, á gravitaciones cada vez más vastas en un sentido, y cada vez más reducidas en otro, y sin límites por ambas partes, representaremos así, por una imagen, por un símbolo (sin pretender hacerle comprensible), la concepción que resume actualmente mejor los hechos observados. En la partícula material más pequeña á que podamos atribuir una individualidad, entra ya una distribución de energía interna que la caracteriza y que constituye las propiedades de los que llamamos elementos químicos. En tanto que se hace actuar estos elementos entre sí, siguiendo los procedimientos ordinarios de nuestra química sin tocar á esta energía interna, tales cuerpos, considerados como simples, guardan sus propiedades bien definidas é inmutables, especialmente su peso atómico; pero de modo contrario á lo que se hubiera afirmado hace algunos años, hoy nos inclinamos á creer que, ya por reacciones apropiadas y susceptibles de realizarse algún día en nuestros laboratorios, ó ya por una lenta evolución espontánea, esta energía interna puede ser influída, y, por consecuencia, el cuerpo simple transformado en otro. Ya en el presente, el hecho es muy verosímil para la serie del urano, del radio y del helio, pues aunque

no se logra encontrar radio sin urano ó helio sin radio, se ha podido suponer una filiación de estos tres elementos, representada por la fórmula: *Uranium genuit radium, qui genuit helium*; en la que se encuentra indicada la asimilación posible de estos fenómenos materiales con los del mundo orgánico. Pero esta filiación no es necesaria: el radio-torio parece también conducir al helio; diversas causas independientes del urano producen quizá el radio; y ya se preguntan muchos si no habrá detrás de esto una ley más general (1) y si las aproximaciones de ciertos metales por series, presentando relaciones numéricas, si las asociaciones constantes y las proporciones relativamente definidas de tales y cuales metales en sus yacimientos no tenderían, por eso mismo, á que uno derive espontáneamente del otro por una transformación continua, cuyo grado de avance podría aún indicarnos el tiempo desde el cual comenzó á operarse esta evolución, resultando que «la vida» de cada elemento químico tendría una duración determinada, como la de los seres vivos ó de un grupo cualquiera de estos seres.

¿Sería éste un verdadero retorno hacia las teorías de los alquimistas? Indudablemente, en cierto modo; pero antes de ver en esta de-

(1) Véase *La Evolución de la Materia*, de Gustavo Le Bon, y *La Geología del radio y la Evolución de la Materia*, de L. de Launay. (*La Naturaleza*, 6 de Mayo de 1905.)

claración la prueba de un error, hay que empezar por comprender bien en qué se engañaban los alquimistas y en qué se ha incurrido quizá en una equivocación al rectificarlos.

La idea fundamental de los alquimistas era la de atribuir un carácter de fijeza á las cualidades principales de la materia representadas por las de los cuatro «elementos»: fuego, aire, tierra y agua, de suerte que se consideraba, por ejemplo, que un cuerpo debía tener más ó menos agua, según fuese más ó menos transparente, de igual modo que según su proporción de aire, era más ó menos volátil. El descubrimiento de Lavoisier vino después á destruir todas estas quimeras, aunque admitiendo á su vez (lo cual puede ser igualmente falso, á pesar de las apariencias) que el peso de los elementos químicos se conservaba idéntico al través de todas sus transformaciones físicas y de sus combinaciones. La idea nueva es la de que el peso del elemento químico puede variar también, en condiciones un poco más complejas, aunque igualmente realizables, como se sabe hace ya largo tiempo, para su licuación, su transparencia y su volatilidad. Hay que cuidarse mucho de atribuir á nada un carácter inmutable en el mundo percibido por nuestros sentidos, como en los propios sentidos que perciben, y las recientes teorías, á las cuales acabo de aludir, por singulares que puedan parecer á los que están educados en las antiguas escuelas, no hacen

más que ajustarse á esta fórmula de prudencia científica.

Si admitimos, pues, que la transmutación no resulte necesariamente un ensueño, y que ya sea por fuerzas muy lentas, pero prolongadas durante períodos geológicos enteros en las condiciones actuales de nuestro globo, ya que por fuerzas más rápidas y de una intensidad extrema hayan podido realizarla, ambas consideraciones deben retenerse cuando pretendemos, observando la distribución actual de la materia, deducir de ella las leyes que en el origen de la Tierra han presidido á esta distribución, esto es, escribir el primer capítulo, el más teórico, de esta historia de la Tierra.

Durante sus primeros períodos cósmicos, en que los grupos de elementos, bien condensándose, bien escapando á un grupo más amplio, se han individualizado bajo la forma terrestre, parece, en efecto, que las energías entonces en acción hayan alcanzado su máximo de intensidad, y, por otra parte, el tiempo pasado desde aquel momento hasta nuestros días, tiempo durante el cual las transformaciones han podido proseguirse, haya alcanzado él también su máximo de duración. Estamos, pues, de todas maneras en las condiciones más propias para ver aparecer un efecto de estas transmutaciones, y aunque no sea fácil aducir datos en detalle, puesto que el campo de investigación es demasiado nuevo para que haya sido explorado, había necesidad, por lo menos, desde el

principio, de introducir esta reserva para el conjunto.

Dejando ya á un lado estas consideraciones, podemos, según una teoría que he desarrollado en otra parte (1), utilizar las observaciones realizadas en metalogenia sobre la distribución actual de los metales en nuestro globo, para deducir de ella la siguiente ley, en que ha podido operarse esta distribución, en el origen, y reconstituir el primer agrupamiento material, cuyas transformaciones en el curso de los tiempos, por la acción de las fuerzas examinadas en el capítulo precedente, han concluído por determinar la estructura actual de la Tierra.

Esta ley, cuya demostración voy á resumir rápidamente, puede enunciarse así: «En la Tierra incandescente, antes de su solidificación, los elementos químicos se han encontrado separados del centro, en razón de su peso atómico, como si los átomos disociados y libres de toda combinación química á muy altas temperaturas, hubiesen sido única é individualmente sometidos á la atracción universal y á la fuerza centrífuga.»

También nos podemos preguntar, después de las observaciones precedentes, si estos átomos preexistían, habiendo adquirido sus caracteres individuales en una fase cósmica anterior, ó si no fué simplemente su posición con relación al centro y á la superficie en esta esfera flúida incandescente, la que deter-

(1) *La Ciencia Geológica*, c. XV, págs. 627 á 667.

minó la condensación de energía interna por la cual llegaron á particularizarse. Naturalmente, la respuesta á tal cuestión es imposible; no obstante, si se tuviera el derecho de inclinarse más bien por una solución que por otra, yo me inclinaría con preferencia hacia la primera. El carácter en cierto modo adventicio de la Tierra en el sistema solar, donde sólo puede ser considerada como una parcela destacada de un conjunto más vasto, la unidad química de nuestro sistema, la ausencia, en suma, de toda ley relativa á la proporción de estos elementos, cuyo sitio sólo parece regulado, son argumentos en pro de esta idea. Pero si, después de su fijación primitiva en tal ó cual punto de la corteza solidificada, los elementos han evolucionado, cambiando de peso atómico, según una ley cualquiera, análoga á las de la polimerización, se pueden explicar ciertas anomalías aparentes con la ley principal, por consecuencia de las cuales aparecen, con un elemento principal, ocupando el lugar preferente en la parte de la corteza á que el peso atómico de éste conviene, otros elementos de la misma serie química, con peso atómico completamente discordante.

La demostración de la ley que antecede ha consistido, en principio, en establecer por de pronto, independientemente de toda consideración química, y sólo por la geología, el orden de superposición inicial que parece haber existido para los elementos químicos de la Tierra, y en comparar la lista obtenida

así con la de los pesos atómicos que se encuentra en los tratados de química; la concordancia de las dos listas permite presumir la exactitud de las inducciones, según las cuales ha sido formulada la primera.

La metalogénia establece para los elementos químicos, algunos agrupamientos muy precisos y conocidos con gran certidumbre, que son los siguientes:

1.º *Elementos de la atmósfera y de las aguas*: hidrógeno, azoe y oxígeno;

2.º *Corteza silicácea* (rocas y terrenos sedimentarios): silicio, aluminio, sodio, potasio, magnesio, calcio;

3.º *Mineralizadores*: cloro, azufre, fósforo, etcétera;

4.º *Yacimientos metalíferos de segregación ígnea* (1): hierro, manganeso, níquel, cobalto, cromo, titanio, vanadio;

5.º *Yacimientos filoneros unidos á las segregaciones básicas*: cobre;

6.º *Yacimientos filoneros*: zinc, plomo, antimonio, plata, mercurio, tungsteno, oro, uranio y radio.

Se puede discutir sobre la posición relativa de los tres grupos intermedios (3, 4 y 5): pues el orden en que acabo de enumerarlos no ha podido ser establecido más que por un examen profundo de la metalogénia; pero

(1) Se entiende por yacimientos de segregación, las concentraciones metalíferas que han podido producirse sobre ciertos puntos de las rocas eruptivas durante su cristalización.

la distribución de los elementos entre los diversos grupos está fundada sobre tan numerosas observaciones que no puede ser discutida.

Por ejemplo: es absolutamente cierto que toda la corteza terrestre es un silicato de alúmina, de hierro, de cal, de magnesia y de álcalis, donde únicamente intervienen en 1 por 100 substancias extrañas. Después del oxígeno, que forma en ellas casi la mitad, entra el silicio en un 28 por 100, el aluminio en 8, y el hierro, cuya abundancia en las profundidades arrastra la difusión universal, en 4,70. Constituye la corteza una escoria metalúrgica, producida por la oxidación de un baño metálico muy simple, por la combinación de sus metales con el oxígeno de la atmósfera superficial y las aguas.

De igual manera, el papel de los metaloides que se llaman los mineralizadores (cloro, azufre, fósforo, etc.), es bien conocido. Se encuentran estos metaloides asociados en todas las fases de los numerosos ciclos que los elementos químicos pueden realizar constantemente, por efecto de las acciones de todo género á las cuales está sometido nuestro globo; así es que entran lo mismo en el agua del mar y las *fumerolas* volcánicas, que en la cristalización de las rocas ó filones. Esta movilidad que los hace aparecer en todas las fases de los ciclos geológicos, puede llegar á inducir á error sobre su origen primero, de modo que en ciertas teorías se ha tomado este origen en una ó en otra de sus etapas,

es decir, ya en los elementos salinos de las aguas marinas reintroducidas por hendiduras hasta ponerlos en contacto con los magmas ígneas, ya en las inclusiones cuya presencia revela el análisis en todas las rocas y que su refusión pone en libertad. En tal ó cual caso particular, estos fenómenos merecen tenerse en cuenta; pero aquí como en todas las cuestiones generales sobre el origen de la estructura terrestre, no se escapa nadie, bajo pena de entrar en un círculo vicioso, á la necesidad de causas más profundas; se ha llegado á suponer que los cloruros y sulfuros incluso en las rocas, ó extendidos por su alteración en las aguas, han debido estar primitivamente en libertad en ciertas porciones de la Tierra aún flúida. Hay grandes probabilidades para creer que la escoriación de la corteza superficial haya aprisionado en la profundidad reservas de estos gases volátiles que han podido poner en seguida en movimiento y cambiarlos hacia la superficie las acciones orogénicas. A estas reservas probables es á las que atribuimos el lugar más arriba mencionado.

Más bajo, los yacimientos metalíferos de segregación ígnea constituyen también un grupo perfectamente caracterizado, en el cual los metales, como el níquel, el hierro y el cromo, llegan á concentrarse lo suficiente para resultar explotables, y esta concentración va siempre acompañada de una abundancia relativa de elementos que parecen de ordinario muy excepcionales, como el titano

y el vanadio colocados más arriba en el mismo grupo. Se debe presumir que este grupo, el último, en suma, hasta cuya vecindad pueden directamente penetrar nuestras investigaciones mineras, ha representado, combinándose con los elementos superiores, un papel preponderante en la formación de la escoria silicácea que constituye la corteza. Cuando tratamos de imaginarnos las zonas profundas de la Tierra, bien por las escorias básicas y más pesadas que provienen de estas regiones, bien por los meteoritos, ó bien, en fin, por el análisis espectral, en el que se revela la constitución de los astros incandescentes, siempre es á manera de un baño de fundición ferruginosa más ó menos compleja como llegamos á imaginarle. Es posible, en efecto, que este grupo ocupe una extensión muy notable en el interior de la Tierra; pero respecto de esto no sabemos nada, pues no ya el interior de la Tierra, sino á pocos kilómetros de distancia, nuestras investigaciones terminan. Además, cuando exploramos con el espectroscopio los astros lejanos, también es su cubierta solamente la que podemos examinar. Luego las formas de los elementos químicos que resultan conocidas, no son más que aquellas que se realizan sobre la periferia de los astros, sobre su zona de contacto con el medio exterior del éter; zonas en las cuales, cualquiera que sea la presión interna, las condiciones deben ser semejantes, según todas las probabilidades. Lo que pasa en el interior aproximándose al centro, bajo pre-

siones imposibles de calcular, nos es absolutamente desconocido; y la única indicación que poseemos acerca de las zonas centrales de la Tierra, es la de su densidad media de 5,56, que hace pensar en metales, sino en una predominancia completa, por lo menos especialmente densos.

Por último, los filones metalíferos, donde los metales han sido depositados en las hendiduras del terreno por la circulación de aguas calientes mineralizadas á cierta profundidad, nos aportan, á título de muestras completamente excepcionales, una indicación sobre lo que puede existir, no sólo en las partes centrales, sino hasta por debajo de la zona de las segregaciones ígneas, á una profundidad inaccesible para nosotros, acaso, no obstante, muy débil en realidad. Las concentraciones de ciertos metales raros, que se han producido sobre tal ó cual punto favorable, como en Almadén para el mercurio, en Johannesburgo para el oro, en Comstock para la plata, etc., parecen indicar que si semejantes metales son muy raros en la superficie, es porque la posibilidad de subir hasta ella les ha faltado generalmente, y como las partes internas de la Tierra pueden suponerse mucho más homogéneas que la superficie, habiendo sido menos turbadas por la escoriación y por la irregularidad de las contracciones conexas, resulta muy posible que á algunas decenas de kilómetros de la superficie, los metales que reputamos raros se encuentren, por el contrario, en proporción preponderante.

Sin insistir más sobre esto, se puede ya compararlos con una lista de pesos atómicos, que da (por orden numérico, sencillamente):

- 1.º Hidrógeno (1), ázoe (14) y oxígeno (16);
- 2.º Sodio (23), magnesio (24), aluminio (27) y silicio (28);
- 3.º Fósforo (31), azufre (32) y cloro (34);
- 4.º Titano (48), vanadio (51), cromo (52), manganeso (54), hierro (56), níquel y cobalto (59);
- 5.º Cobre (64);
- 6.º Zinc (64), plata (108), antimonio (120), tungsteno (184), oro (197), mercurio (200), plomo (207), bismuto (208), radio (225), uranio (239).

Los seis grupos, como se ve, coinciden exactamente, y el orden de superposición teórica enunciado al principio parece resultar evidente. Luego se puede deducir de nuestra ley algunas consecuencias interesantes sobre la estructura interna de la Tierra.

La primera, que me he limitado á indicar de pasada, es la de que bajo la corteza de escorias superficial, tan complicada, tan heterogénea, donde las sedimentaciones y las refusiones se mezclan y se superponen, puede existir un medio metálico más homogéneo, con el cual las comunicaciones de la zona externa han debido ser accidentales y del cual también pueden haber emanado, en un instante cualquiera, los metales relativamente excepcionales, cristalizándose en minerales en nuestros yacimientos. La geología entera, que está, como queda dicho, limitada

forzadamente al estudio de una película delgadísima, sobre la cual vivimos, desconoce este medio interno; y lo más que puede hacer es sospechar la existencia y la naturaleza de él por estos puntos de emanación tan singulares, donde en un espacio de algunos kilómetros se ha concentrado tanta cantidad de tal ó cual metal como la que existe en todo el resto del mundo; pero los métodos de la física y de la astronomía nos permiten conocer la fuerte densidad de estas zonas profundas, y además, el acrecimiento tan preciso, tan general de la temperatura en los trabajos subterráneos, acrecimiento que implica una irradiación constante de un foco caliente interior hacia el espacio, nos da derecho para suponer (sobre todo si se observa también la existencia de arrastres volcánicos proseguidos sobre toda la longitud de un meridiano) que existen en ciertas profundidades capas fundidas de gran extensión. En segundo lugar, se tienen igualmente algunas razones para pensar que en este baño metálico interno, sustraído á las perturbaciones introducidas por los hundimientos violentos de la superficie, los metales pueden encontrarse licuados de una manera más teórica por el efecto de fuerzas diversas, tales como la atracción universal y la fuerza centrífuga á las cuales permanecerían sometidos. De estas zonas licuadas es de donde procederían, por la intervención accidental de mineralizadores volátiles, la mayor parte de los metales cristalizados en los filones. Así se explica que

exista tan curiosa coincidencia entre la rareza de un metal y su densidad, porque los metales filoneros, en afinidades químicas iguales, son tanto más raros cuanto mayor densidad reúnen.

Luego los últimos metales de esta serie resultarían los más profundos, y cuando se ha llegado á esta idea por un camino estrictamente geológico, parece muy curioso encontrar, en un extremo de la lista, entre los elementos que serían, por lo tanto, los más profundos de todos, y que nos aportarían en consecuencia un testimonio de los estados singulares adquiridos por la materia en las entrañas de la Tierra, el enigmático urano con su derivado fiel el radio; esta familia de elementos químicos con «vida» particularmente corta, y con evolución particularmente rápida, donde la energía resultante de la compresión interna parece haberse «almacenado» de una manera inestable en el estado de potencial para gastarse más tarde espontáneamente en calor y en luz.

Fase primordial de la historia geológica.—Por este conjunto de observaciones llegamos, en resumen, á la concepción siguiente de esta primera fase cósmica, que relaciona la historia de la Tierra con la del Universo, y para la cual la hipótesis de Laplace, en líneas generales, resulta siempre la más apropiada.

En el comienzo ha debido existir una esfera en ignición, en la cual estaban distribuídos los elementos químicos, según el orden

creciente de sus pesos atómicos, de la periferia al centro, conformemente á la sucesión de los seis grupos ya indicados, con todas las mezclas accidentales que nos hacen imaginar torbellinos análogos á los que hoy se observan en la atmósfera del Sol, es decir, con hogueras llevando localmente al exterior algunos elementos de las zonas profundas.

La irradiación calorífica hacia el espacio de esta esfera fundida, la llevo, en un momento dado, á un enfriamiento tal, que los elementos de nuestra zona 2 (sodio, silicio, etcétera), se condensaron en una escoria silicácea asimilable á un «magma» feldespático (silicato de alúmina, cal, magnesia y álcalis), separando así del baño metálico central aún caliente 3 á 6, la zona externa 1, donde se hizo la combinación del hidrógeno y del oxígeno en agua, y la precipitación de este líquido bajo una atmósfera purificada de ázoe y oxígeno en exceso.

Hubo, pues, desde este momento, los tres elementos principales sobre los que razona nuestra geología: 1.º, una atmósfera de oxígeno y de ázoe; 2.º, una capa de agua concentrada en las depresiones de la corteza y formando los mares; después, 3.º, una corteza escoriácea, y por debajo de ella un medio metálico conservando con la superficie comunicaciones accidentales por las hendiduras, los hundimientos y los rebosos que no podían menos de producirse en esta corteza heterogénea.

Desde entonces, los fenómenos que se pro-

dujeron han debido, exceptuando su intensidad, entrar en el orden de los que estudia aún nuestra geología, y es fácil imaginárselos en sus líneas principales, por lo menos. La circulación de las aguas sobre la superficie comenzó por erosión á aplánar las rugosidades al propio tiempo que arrastraba los elementos solubles, y pronto ó tarde los llevaba hacia el desaguadero universal que constituyen los mares. Como consecuencia de esto se formaron los primeros depósitos sedimentarios, y los mares experimentaron un aumento de salobridad, aunque ya desde el origen habían recogido ciertos elementos volátiles y ciertos metaloides de la zona 3.^a, mezclados accidentalmente con los gases más abundantes de la zona externa.

El resultado del primer fenómeno fué, indudablemente, el de producir una elevación en la temperatura bajo los sedimentos acumulados, y, por consecuencia, un doblamiento local de la capa todavía débil, pudiendo originar una refusión de las partes bajas, con absorción accidental de los sedimentos en los magmas refundidos.

Independientemente de este debilitamiento, y siguiendo las depresiones llamadas «geosinclinales», es permitido pensar que esta corteza debía ser muy poco homogénea, muy inestable, muy frágil, semejante en cierto modo á esos bancos de hielo donde se aglomeran los témpanos flotantes, y que, por lo tanto, debían producirse en ella fracturas, hundimientos é invasiones de las partes fun-

didadas más profundas, por las cuales se complicaba su naturaleza constantemente. Estos remanejos incesantes han debido necesariamente ocultar á nuestros ojos el plan primitivo, que había podido presidir á la cristalización primera, y como el rechazo á estas desigualdades accidentales debió ser indefinido, no nos debemos asombrar de que la forma actual de la Tierra acuse imperfectamente la forma geométrica prevista más lejos por la teoría. Al mismo tiempo, el número, la intensidad, la repetición y la generalidad de estas refusiones hacen muy poco probable que la primera cáscara de consolidación pudiera escapar á sus efectos y llegar hasta nosotros, pues por todas partes ha debido ser refundida, y los terrenos cristalinos que constituyen hoy los cimientos de todos los otros, aquellos por los cuales empezamos á edificar la historia geológica, relativamente precisa y documentada, no son, en realidad, más que sedimentos metamorfoseados, recristalizados y formados á expensas de las rocas ó de sedimentos anteriores.

No hay, pues, manera de perseguir, en la realidad de los hechos, alguna cosa que corresponda á esta primera fase, para cuyo análisis estaremos siempre reducidos á emplear hipótesis más ó menos fundadas, de modo que habremos de comenzar la historia de la estructura terrestre considerando, como la formación más antigua conocida, un conjunto de terrenos en que probablemente se encuentran mezclados ya fragmentos de capas

pertenecientes á diversas edades, y solamente unidos por un metamorfismo común, aunque presentando el carácter uniforme de haber facilitado una cimentación á los terrenos más recientes donde se han fijado y conservado las más remotas huellas conocidas de la vida.

Con esta corteza primitiva de rocas sólidas se encontró en seguida en contacto y en conflicto la masa de agua superficial que formaba los mares, ó la que, dispersada en vapores en la atmósfera, era susceptible de precipitarse en forma de lluvia. Ya he indicado el papel preponderante que desempeña en la historia geológica este agente físico y químico tan esencial, y es fácil de concebir cómo el agua de los arroyos y de los ríos, lavando sin cesar rocas nuevas, ó por efecto de la fusión, elementos más profundos que habían sido llevados á la superficie, debió recoger poco á poco enormes cantidades de los más solubles, llevándolos al océano, en cuya composición se encuentran todos representados actualmente. Cierta cantidad de agua pudo entrar también desde el principio en la composición de las rocas, pues todas ellas la contienen á cierta profundidad, y otra parte de este líquido pudo asimismo quedar aprisionada bajo la corteza terrestre. Ambas suposiciones explicarían los grandes desprendimientos de agua que acompañan á las erupciones volcánicas.

Ya hice observar, que si se deja á un lado la actividad orgánica, la historia de la geolo-

gía se reduce casi exclusivamente á la acción recíproca ó alternativa del agua superficial y del calor interno sobre la corteza, y que ésta á su vez ha ido aumentando en espesor por los progresos del enfriamiento y de la consolidación. La acción del calor interno y de su corolario inmediato el enfriamiento progresivo, es la que habremos de invocar sobre todo para explicar los movimientos de la orogenia, mientras que la acción del agua nos dará la clave del problema de las sedimentaciones. Es muy probable, en la hipótesis de que la Tierra haya comenzado por ser flúida para enfriarse poco á poco, que este enfriamiento produjera, con el aumento de espesor en la corteza, una evolución en los fenómenos orogénicos y volcánicos, determinando una estabilidad cada vez mayor y una localización cada vez más acentuada en los movimientos en que se revela la intervención de la zona ígnea. Es muy probable también que determinando este enfriamiento una contracción interna, haya sido la causa primera de los plegamientos y de los hundimientos comprobados en la corteza sólida á medida que en su base faltaba el punto de apoyo. Son estas dos hipótesis fundamentales, sobre las que hemos de volver, al hablar más tarde de la historia de la estructura terrestre; ambas se resumen en una *evolución*, por consecuencia de la cual es imposible considerar la Tierra como absolutamente idéntica á sí misma en todas sus fases sucesivas. Pero, por otra parte, cada vez que

un plegamiento se ha producido, determinando un levantamiento montañoso ó que un hundimiento ha provocado la retirada de los mares y la emersión de los continentes, cada vez, en suma, que se ha realizado uno de estos grandes cambios marinos, cuya causa, quizá astronómica, quizá en relación con una deformación previa de la superficie, desconocemos aún, hubo en ellos repetición, *recurrencia* de manifestaciones análogas sucediéndose por series en el mismo orden. Analizar esta evolución y estas recurrencias constituirá el objeto de los capítulos siguientes.

En todo lo que hemos de decir sobre la acción del calor interno y de las fusiones y refusiones profundas no hay precisión de suponer la existencia, en el interior de la Tierra, de un núcleo líquido inmenso en ignición, puesto que nada sabemos de una manera positiva sobre las partes centrales, y como es probable además que no estén hace ya mucho tiempo en comunicación con la zona central sobre la cual hemos de limitar nuestras observaciones, prescindiremos de esta hipótesis. Para nuestras teorías basta con concebir, á una distancia relativamente débil de la superficie, grandes hogares caloríficos ocupando una amplia extensión en ciertos sentidos, siguiendo ciertos alargamientos, aunque no necesariamente continuos ni siquiera necesariamente en estado de fusión. Se debe añadir, no obstante, que en la actualidad, estos hogares pueden estar muy bien localizados, su localización debe estar tam-

bién en relación con los progresos del enfriamiento supuesto, y que su extensión, su misma continuidad sobre toda la Tierra resultan cada vez más probables á medida que nos remontamos en el curso de las edades.

CAPITULO V

HISTORIA DE LA ESTRUCTURA TERRESTRE SU EVOLUCIÓN

- 1.º La generalidad de las deformaciones terrestres.— Los dos tipos de deformaciones (plegamientos y fracturas) y el cambio de su importancia recíproca en el curso de las edades.—Predominio antiguo de los plegamientos; acción más reciente de los hundimientos.—Localización progresiva de los accidentes con el tiempo.
- 2.º Ley teórica y sistemática de las deformaciones terrestres; su plan de conjunto revelado por las más recientes.—Sistema tetraédrico.
- 3.º Coordinación geológica é historia de las deformaciones terrestres.—Las cadenas de montañas sucesivas, huroniana, caledónica, herciniana y alpina.

1.º Generalidad de las deformaciones terrestres.—Sus diversos caracteres.—Como acabamos de ver al concluir el capítulo precedente, la historia de la estructura terrestre comporta á la vez una evolución que la ha transformado progresivamente y recurrencias que en las distintas fases de esta evolución han vuelto á producir las mismas series de fenómenos. Dejaré á un lado, en este capítulo, todo lo que se refiere á estas recurrencias, esto es, los caracteres comunes á las fases sucesivas é indepen-

dientes de su edad, y me limitaré únicamente á poner de relieve lo que distingue una fase de otra, reconstituyendo el orden de su sucesión, con los fenómenos esenciales que las han diferenciado; pero, por desgracia, se debe prever que al examinar estos resultados, en una exposición tan breve y tan general, vamos á tener necesidad de apelar á las más atrevidas hipótesis. Una ciencia cualquiera se considera tanto más sólida, cuanto más se restringe el horizonte que abarca; elevándose, por el contrario, se expone á sufrir el vértigo, y nosotros vamos á vernos obligados á subir constantemente para poder vislumbrar los hechos en su conjunto y para enunciar, bajo una forma un poco dogmática, una historia desconocida en absoluto no hace aún muchos años.

La evolución de la estructura terrestre se traduce en cambios reiterados, bruscos ó progresivos, que de un relieve primitivamente dispuesto, según nos enseñan las antiguas cartas paleo-geográficas, le han llevado poco á poco á la distribución de relieve actual, de los climas y de los otros elementos físicos. La forma contemporánea es la resultante muy compleja de una serie de movimientos orogénicos, que han provocado cada vez nuevos salientes y nuevas fosas; destinados los primeros á ser en seguida destruídos por una erosión constante que tendía á llenar las segundas con sus restos. Cuando hayamos de examinar más tarde las recurrencias, tomaremos uno cualquiera de estos salientes mon-

tañosos y una cualquiera también de estas fosas marinas, y trataremos de reconstituir su historia; historia que parece haberse repetido en su conjunto para cada saliente y para cada fosa nueva. Actualmente, nos daremos por satisfechos con ver de qué modo, una después de otra, estas grandes prominencias, estas fosas profundas, se han constituido y parecen cambiar en la superficie del globo.

Las deformaciones principales del relieve terrestre, que son las únicas que nos interesan ahora, tienen indudablemente una causa muy general y muy intensa; los cambios pequeños que produce el hundimiento de un trozo de montaña ó de un acantilado, la ruptura de un dique, la inundación de un valle, la desaparición de una ciudad bajo las lavas volcánicas, son cosas insignificantes cuando se las pone al lado de movimientos que han hecho surgir las cordilleras enteras de los Alpes, del Cáucaso y del Himalaya sobre el emplazamiento de antiguos mares ó recubierto un continente por las aguas del Mediterráneo.

Semejantes transformaciones, que asombran por de pronto en la historia geológica, como la comprobación de la existencia de plantas tropicales que han vivido antes en los polos, la de renos y mamuths, recorriendo entonces nuestros países, no tienen en sí mismas nada de hipotético. Se puede diferir sobre la interpretación que haya de darse á tales fenómenos; pero cuando se en-

cuentra á muchos millares de metros de altura, plegadas y dislocadas, capas con fósiles marinos que un poco antes se habían depositado horizontalmente en un mar profundo, no es posible poner en duda el movimiento que las ha levantado; y cuando además se observa sobre capas erguidas y desplomadas, que antes fueron horizontales, nuevos depósitos marinos mucho más recientes en el estado de estratos horizontales, sabemos con certidumbre que hubo primero en este punto un mar, después una cadena de montañas emergida durante todo el período en que no están representados los depósitos marinos, y, por último, un nuevo y profundo mar. Es forzoso, antes de llegar á los fenómenos generales, cada vez más hipotéticos, de que hablaremos bien pronto, comenzar por familiarizarse con estos cambios diversos de superficie, que no están fundados en hipótesis, sino en hechos de experimentación, y penetrarse bien de la idea indicada precedentemente, de que todo punto de la superficie terrestre ha sido casi móvil, y de que ha visto pasar y retroceder el mar diferentes veces. Apenas existe región del globo donde no se encuentre, al menos en estado de testigos desmantelados por erosión, algunos antiguos sedimentos marinos, cuya presencia data de las fases en que esta región fué recubierta por el mar; la ausencia de sedimentos correspondientes á los otros períodos intermedios, data igualmente, aunque con un poco más de incertidumbre, de las edades en que la región

fué emergida. El tránsito de uno á otro estado implica de ordinario un movimiento del suelo en el sentido de un levantamiento ó de un debilitamiento relativo, á menos que no se trate, en casos más raros y aun más problemáticos, de inmensas mareas producidas por una intervención astronómica.

De igual modo que la Tierra lleva en todas partes la huella del paso del mar en un momento cualquiera bajo la forma de sedimentos marinos, del mismo modo no hay apenas país donde, si no en la superficie, por lo menos á cierta profundidad, no se acuse también alguna deformación mecánica. Las capas superficiales más recientes pueden no haber sufrido todavía estas deformaciones y subsistir con su horizontalidad primitiva, en el estado en que las han depositado las aguas, aunque su misma presencia por encima del mar, indica ya por sí sola un cambio relativo de la tierra firme con relación al nivel de las aguas; pero en la mayor parte de estos casos, el *substratum* de estos terrenos atestigua aún entonces accidentes más antiguos. Por ejemplo, en Bélgica y en el Norte de Francia, la superficie está ocupada por cretáceo horizontal; y no obstante, los trabajos de las minas demuestran, por debajo de él, el terreno hullífero plegado y derribado por el empuje de una masa, donde se reconocen los caracteres de una antigua cadena montañosa análoga á la de los Alpes y procedente de la época carbonífera. La cuenca de París, con sus capas terciarias, parece una

de las regiones más tranquilas que se pueda imaginar, y, sin embargo, sin hablar de la cimentación primaria, que á menos de dos kilómetros por debajo de la superficie se encontraría seguramente plegada, también las capas terciarias, cuando se las examina de cerca, acusan una serie de plegamientos de gran importancia. Pronto hemos de ver también que, según numerosos indicios, el período geológico en que vivimos parece caracterizado, como todos los anteriores, por una deformación lenta del suelo, levantando aquí las costas y debilitándolas allá bajo el mar; al lado de estos movimientos progresivos, los terremotos y las erupciones volcánicas acusan igualmente de todas partes, y ante nuestros ojos, rupturas de equilibrio más bruscas. La Tierra, que quisiéramos imaginárnosla como una cosa sólida y estable para asentar sobre ella los fundamentos de nuestra vida móvil, ha estado siempre, y lo estará aún largo tiempo, en estado de movimiento constante, hasta el reposo final, que correspondiendo á una consolidación más completa y á un enfriamiento interno más avanzado, constituirá el prólogo de su muerte.

La ley mecánica y el sentido de estas deformaciones terrestres en las diversas épocas presentan ya un primer ejemplo de esta evolución que hemos tratado de bosquejar; aunque parece indudable, como voy á tratar de demostrar, que esta ley no siempre ha sido la misma.

Las dos formas típicas y clásicas, los aspectos elementales de estas deformaciones, pueden simbolizarse de un lado por las fallas, donde parece existir el indicio de una fuerza vertical, y de otro, por los plegamientos, en los cuales se descubre una fuerza horizontal y tangencial, producida, probablemente, por la gravedad. Pliegues y fallas tienen, sin duda, un lazo recíproco, y pasan los unos á las otras por transiciones. Sin embargo, parece que ha habido dos clases diferentes de movimientos terrestres, sean las que fuesen la causa primera y la conexión: 1.º, el cambio relativo, en el sentido vertical, en alto ó en bajo, de compartimentos limitados por hendiduras; cambio que produce á su vez hendiduras periféricas y radiales alrededor de bóvedas levantadas ó de cubetas de depresión; 2.º, el cambio en el sentido horizontal, que determina plegamientos, arrastres, desplomes, ó por fractura de bloques más sólidos y escurrimiento relativo de éstas, bóvedas desunidas. Ambas categorías de accidentes pueden diferir por su origen inmediato como por su modo de acción.

Cuando los encontramos simultáneamente en un mismo período geológico, nos inclinamos á suponer que los primeros afectaron bruscamente zonas demasiado macizas, demasiado sólidas y compactas para haber podido plegarse; y los segundos producidos con una lentitud más grande en zonas donde los terrenos estratificados han podido comportarse como una masa flexible y elástica.

Y, á medida que ascendemos en el curso de las edades, más parecen hacer predominado los plegamientos progresivos, mientras que los últimos períodos geológicos son aquellos en que el papel de los hundimientos súbitos, discutido siempre por muchos geólogos, tiene más probabilidades para haber intervenido (1). Todo esto equivale á decir, de conformidad con otras muchas indicaciones, que la corteza terrestre habría comenzado por ser más generalmente flexible, suave, plástica y susceptible de prestarse continuamente á ondulaciones repetidas, para resultar con el tiempo más maciza y compacta, y, por consecuencia, presta á romperse por troncos, por compartimentos, por dovelas cuando sufría una deformación.

En efecto; resulta muy lógico, que esta corteza se haya espesado poco á poco asimilándose una proporción creciente de rocas cristalizadas por fusión, y la ley histórica de los plegamientos sucesivos, que pronto hemos de poner en evidencia, es la de una localización progresiva en las zonas frágiles, con una extensión creciente de las zonas definitivamente consolidadas.

No obstante, cuando se considera esta evolución de los fenómenos, no se debe olvidar que, según una observación anterior, las cadenas montañosas se nos manifiestan en la

(1) Sin embargo, la línea de hundimiento tan marcada en los lagos africanos quizá aparece ya desde el jurásico.

superficie por una sección más profunda cuanto más antiguas son, y hay que guardarse mucho de tomar por un hecho de la evolución lo que podía ser simplemente una característica de la profundidad.

Pero, á este respecto, se está ya asegurado, por la ley misma de estas variaciones en profundidad, que parece, por el contrario, que cuando se penetra bastante (1) se simplifican y regularizan los plegamientos hasta el punto de quedar reducidos á simples accidentes rectilíneos. A pesar de esto, no conviene generalizar demasiado nuestra observación; también las cordilleras antiguas presentan hendiduras con cambio vertical y perforaciones igualmente verticales en unión de derrames volcánicos y circulaciones de las aguas metalizantes que siempre han estado ligadas á este género de accidentes.

Excepto esta advertencia, nosotros creemos observar, en los períodos antiguos, como ya tuve ocasión de decir, una generalidad muy grande de plegamientos, que aplicados entonces á una corteza relativamente homogénea, han podido ejercer sobre ella su acción deformante en un sentido más conforme con la simetría general producida por la rotación, de que pronto hablaremos. Si esto es exacto, el dibujo de los grandes plegamien-

(1) Algunas veces los pliegues se multiplican por de pronto á cierta profundidad (*La Science géologique*, pág. 365); pero una cordillera fuertemente carcomida parece ganar siempre en simplicidad.

tos, manifestados en las edades siguientes, hubiera sido bosquejado sobre toda la superficie de la Tierra por el efecto de sus primeras contracciones; luego, en la sucesión de los tiempos, estos primeros pliegues habrían influído sin cesar sobre los pliegues nuevos, cada vez más localizados por una consolidación progresiva; y la dirección de éstos se habría superpuesto aproximativamente á la de los antiguos, si no con la exactitud rigurosa é ilusoria que algunas veces se ha atribuído á este fenómeno, por lo menos en sus grandes líneas generales.

Al propio tiempo, la acción de los hundimientos, muy restringida al principio, se habría ido acentuando poco á poco.

Esta idea, de acuerdo con el conjunto de las observaciones, está conforme, además, con las dos teorías principales en que se pueden fundar los plegamientos. Cuando se supone, como yo creo, que estos últimos han sido producidos directamente por una causa profunda, es natural que las primeras zonas frágiles y ya plegadas, hubiesen guardado una debilidad que las permitiera plegarse de nuevo, á menos de que inyecciones eruptivas no viniesen á servirles de cimiento. Cuando se explican los plegamientos por lo que se llama al isóstasis, es decir, por un aumento de la temperatura bajo la acumulación de sedimentos en las fosas «sinclinales» y la mayor plasticidad de este fondo reblandecido ó refundido, nos inclinamos á pensar también que un primer pliegue sinclinal, ó pliegue en for-

ma ovalada, ha debido tener cierta tendencia á profundizarse poco á poco por la base, llenándose al mismo tiempo por lo alto y sufriendo un esfuerzo de compresión lateral que obligaba á los sedimentos á plegarse en una serie de W.

Para los hundimientos, por el contrario, este dibujo, ya fuertemente marcado en la superficie desde el primer momento, no parece existir, hecho que acentúa la diferencia entre ambas categorías de accidentes. El plano que se puede imaginar fijado de antemano ó virtualmente determinado por condiciones físico-iniciales, se revela de pronto, y consiste en una brusca cortadura, por cataclismo, que rompe de repente la continuidad de los terrenos, y que si ha podido ser revelado algunas veces por una hendidura anterior (filón ó falla), y si ha logrado, sobre todo, desviarse á lo largo de las deformaciones precedentes, no parece, sin embargo, haber sido precedido en larga fecha por una serie de movimientos análogos.

Sin preparación visible, un antiguo continente se divide y se corta en dos ó muchos bloques distintos, determinando quizá por ello, á lo largo de las fracturas, la creación de zonas débiles nuevas, que ulteriormente se transforman en zonas de plegamientos.

Como ha podido hacerlo prever una observación anterior, estos hundimientos, cuya existencia misma es aun discutida por muchos geólogos, han debido desempeñar de

todas maneras, hasta la época reciente, un papel muy secundario en la formación de la estructura terrestre. Cuando se comprueba su existencia, hay en la actualidad cierto propósito de explicarlos por pliegues de una amplitud particularmente vasta. Lo que domina de modo especial en el aspecto de los terrenos geológicos sobre nuestros continentes, son los movimientos tangenciales, los cambios producidos por una compresión horizontal (con causa primera vertical, como veremos), cuyos pliegues simples son ya un indicio de ello, y con mayor motivo aún, esos pliegues acostados y esos arrastres, que las teorías modernas, con elegante facilidad, quieren hacer pasar al través de toda la longitud de los Alpes ó de los Cárpatos. Pero no hay necesidad por esto, según mi opinión, de negar la acción de las fallas y de las dislocaciones longitudinales, ni de subordinarla enteramente á los pliegues, cuyas hendiduras no constituirán más que un detalle muy secundario y local. Cuando se ven filones metalíferos, esto es, hendiduras incrustadas por los minerales, de 100 kilómetros de largo; cuando se observan macizos ú *horsts* encuadrados por una red de fallas que han subido y bajado sin cesar durante el curso de la historia geológica; cuando se comprueban desnivelaciones por falla sobre tres kilómetros de altura; todavía más: cuando se mira, sobre toda la longitud de las costas Atlánticas, las zonas de terrenos tronchadas, ó aun cuando se sigue una línea de rebosos volcá-

nicos sobre la costa del Pacífico y de un extremo á otro de las dos Américas, es difícil sustraerse á la hipótesis de movimientos considerables, producidos directamente por la gravedad.

Cierto que en el último caso se ha hecho notar que estos reboses volcánicos no estaban ligados los unos á los otros por hendiduras, y que su alineamiento era aproximativo; pero este alineamiento no deja de existir, por lo menos en el conjunto, y la sucesión de estos reboses nos aparece como una línea de pernos que hubieran saltado abriendo una huella de perforaciones cilíndricas, siguiendo una dirección en la que se producía evidentemente, ya un máximum de esfuerzo, ya un máximum de fragilidad.

El día en que nos hemos encontrado con bastantes observaciones geológicas para poder abarcar tales movimientos; el día en que, por primera vez, hemos comprendido que las montañas tenían una historia y que la serie de sus apariciones marcaba, en la evolución terrestre, fechas, ó mejor aún, períodos característicos, con los cuales se podían relacionar multitud de fenómenos, una interpretación genial fué formulada por Elie de Beaumont, quien, invocando la contracción progresiva del núcleo interno, supuso que la corteza terrestre se plegaba ó se rompía para continuar aplicándose sobre este núcleo, entrando en una esfera de radio poco á poco reducido; este plegamiento, según él, producía, por una singular presciencia de lo que

llamamos «arrastres», una inclinación lateral. un *relleno*.

Esta teoría, completada y modificada según observaciones ulteriores, y despojada además de las sistematizaciones geométricas que la desacreditaban, me parece que es la que explica mejor los hechos en su conjunto. En un estudio, que ocupará todo un párrafo siguiente, consideraremos la mayor parte de las deformaciones terrestres como producidas por la aproximación, la compresión de algunos grandes compartimentos, entre los cuales, en un momento cualquiera, se ha encontrado dividida la corteza terrestre, y que separaban zonas debilitadas, inestables, en un equilibrio precario, sobre las cuales se han acumulado los plegamientos, tan pronto en forma de depresiones, tan pronto en la de salientes, según que la componente vertical del esfuerzo se manifestara en ellas en uno ó en otro sentido, positivo ó negativo. Remontándonos en el tiempo hasta el origen, admitiremos que en el principio la Tierra se ha encontrado, en todos respectos, en condiciones de homogeneidad mayor, con una corteza más delgada, más flexible y menos complicada por las introducciones locales de rocas duras y cristalinas alternando con sedimentos; que sus más vastas dimensiones y la diseminación más grande también de los plegamientos, necesitaban entonces una menor intensidad de éstos, al mismo tiempo que las acciones caloríficas internas estaban más igualmente repartidas, como,

para otras causas, se ha supuesto una irradiación más paralela y más uniforme de un Sol menos condensado (1).

Habiendo, pues, los primeros plegamientos rizado uniformemente toda la superficie de la Tierra con pequeñas arrugas poco acentuadas, siguiendo un dibujo que después se fué acusando cada vez más vigorosamente, parece haberse verificado bastante pronto la consolidación de algunas grandes dovelas, de algunos bloques sólidos cimentados interiormente por metamorfismo y por las inyecciones de rocas fundidas, quedando sin consolidarse algunas zonas en forma de husos, sobre las cuales, como acabo de decir, se verificaron más tarde los movimientos, sea de debilitamiento, sea de levantamiento, sea de compresión, determinados unos y otros por la contracción. Progresivamente, estos movimientos se localizaron sobre una porción cada vez más estrecha de estos husos por los progresos de la consolidación, que poco á poco añadía nuevas zonas estables á la periferia de los antiguos compartimen-

(1) No hay que imaginar, sin embargo, en estos tiempos antiguos, una superficie terrestre uniformemente quemada por el calor interno, por lo menos á partir del momento en que los terrenos sedimentarios están marcados con la aparición de los primeros restos vivientes. Se sabe cuán insignificante es la acción del calor interno en el aumento superficial de la temperatura, y á partir del instante en que la vida se ha manifestado, la corteza tenía ya bastante espesor para que así ocurriese.

tos sólidos como un témpano que se coloca alrededor de un banco de hielo, pudiendo los hundimientos, que debieron producirse en el interior de los compartimentos que representaban un estado de estabilidad muy relativa, crear nuevas zonas frágiles. En esta medida hubo, pues, cambio, al mismo tiempo que consolidación de los movimientos terrestres, y no creo que sea preciso atribuir á esta solidificación de nuestra pequeña bola escorificada un exceso de regularidad incompatible con su misma naturaleza; pero, sin exagerar el supuesto, se puede, imaginando precisamente lo que pasaría en una bola metálica en fusión enfriada por la superficie y sufriendo una doble rotación—sobre sí misma, alrededor de su eje y alrededor del Sol—concebir groseramente el conjunto de los fenómenos por los cuales se ha constituido y debe modificarse en lo porvenir el relieve actual. Esto es lo que vamos á hacer siguiendo dos métodos diferentes:

1.º Buscando la ley muy general teórica de las deformaciones sistematizada en un símbolo geométrico; siguiendo más empíricamente, sin ninguna idea preconcebida, el desplazamiento de las arrugas terrestres, tal como nos ha sido revelado por la orogenia y tratando entonces de trazar su historia.

2.º **Ley teórica de las deformaciones terrestres. — Sistema tetraédrico.** — Permaneciendo por de pronto en los dominios de la teoría pura, y tomando como punto de partida la

idea de una contracción progresiva, que es la más natural y la más probable, se observará que en el comienzo el efecto de esta contracción ha podido realizarse simplemente, sobre una corteza aún muy amplia, muy homogénea y muy flexible, por una serie de plegamientos, á los cuales la simetría de la Tierra alrededor de su eje producida por la rotación, debía de imprimir su dirección predominante y que debían, por consiguiente, afectar formas de husos alargados siguiendo paralelos con un rodete principal siguiendo al Ecuador. Esto sería aún más verosímil si, como Michel Levi (1) supone, de acuerdo con Emerson, hubiera habido disminución progresiva en la velocidad de rotación terrestre. La consecuencia de semejante reducción produciría, en efecto (contrariamente á las ideas preconcebidas), un aumento de la esfericidad, y por lo tanto, un alargamiento relativo del elipsoide, ó más bien, en razón de la contracción, una reducción del diámetro ecuatorial con relación al diámetro del eje supuesto relativamente constante. Entonces el resultado necesario hubiera sido la formación rápida de un rodete ecuatorial, obligado á encontrar en altura, por plegamientos, el espacio que le quitaba la compresión tangencialmente. No hay necesidad para esto de invocar un fenómeno tan grave y tan poco demostrado como el de esta disminución en la velocidad de rotación, pues la contracción

(1) Lecciones del Colegio de Francia, 1905.

basta; pero de todos modos, una de las observaciones más curiosas de la paleo-geografía es la que se refiere á la existencia, desde el comienzo de los tiempos primarios (piso número 2), de un parecido continente ecuatorial alargado en el sentido Este-Oeste de la América del Sur, á la India y á Oceanía; continente destinado á dividirse por accidentes Norte-Sur en movimientos ulteriores de fractura (1).

Durante largo tiempo, esta orientación de los macizos continentales en la dirección Este-Oeste, tan contraria á su disposición actual, con un alargamiento Norte-Sur, ha predominado visiblemente; se la ve todavía muy acentuada en la época carbonífera, durante el período vesfaliense (número 12), en que las tres grandes mesetas, siberiana, canadiense-escandinava y brasileño-africana, alargadas en el sentido Este-Oeste, están separadas por mares interiores igualmente en idéntica dirección y aun casi simétricos con relación al Ecuador, cuya parte más septentrional preludia á nuestro Mediterráneo. La idea teórica de un antiquísimo plegamiento por husos paralelos, sobre la cual hemos de volver, encuentra, pues, alguna confirmación en los hechos.

(1) Este carácter, ya marcado sobre las cartas paleo-geográficas que se encuentran reproducidas en la *Science géologique*, págs. 487 y 499, se ha acentuado aun más por las rectificaciones que descubrimientos recientes han introducido en ellas.

Siempre por inducción teórica, es aún lógico suponer que la contracción de la corteza terrestre, realizada con gran facilidad cuando el núcleo interior estaba poco reducido, ha debido resultar cada vez más difícil y necesitar, por consecuencia, rupturas de equilibrio cada vez más violentas. En este caso, tenemos el derecho de imaginar la posibilidad de vacíos internos produciendo hundimientos súbitos, que tenían muy pocas probabilidades de poder realizarse en las condiciones de los tiempos primarios, y también fué entonces cuando la contracción, manifestada en primer término por una deformación general y simétrica del modelado, debió de tener una tendencia creciente á efectuarse siguiendo planos de contacto, por caras planas geométricas, por dovelas cayendo de un bloque para venir á aplicarse tangencialmente sobre una esfera de radio menor y determinando entonces, siguiendo las zonas de ruptura, husos frágiles sometidos á una compresión intensa, y, por consecuencia, levantados ó inclinados en pliegues cada vez más exagerados.

Así llegamos á explicar, por una ley de evolución lógica, lo que parece constituir en realidad un hecho de observación; es á saber, la antigua predominancia de los plegamientos siguiendo paralelos por de pronto al Ecuador, después casi simétricamente con relación á él. y la introducción creciente, en épocas recientes, de elementos extraños á esta primera simetría, producida únicamente

por la rotación, aunque dependientes, por el contrario, de otro género de simetría geométrica que habremos de examinar. Vemos, al mismo tiempo, de qué modo la acción de los hundimientos, al principio casi nula, ha debido irse acentuando, y cómo, si existe en la estructura terrestre un dibujo geométrico, es por estos hundimientos, y por los más recientes sobre todo, por lo que debe progresivamente manifestarse. Finalmente, llegamos á concebir entre las diversas deformaciones dinámicas de la estructura, una relación, muy probable de antemano: las rupturas lineales pueden ser el prelude de pliegues ulteriores, distintos de los primitivos inmediatamente solidarios de la rotación, lo que nos autoriza, en cierta medida, á asimilar estas hendiduras lineales con pliegues cuando tratamos de buscar el plano geométrico de nuestro planeta.

La consecuencia principal de estas deducciones es la de que, si hay en la Tierra un plano geométrico, este plano está llamado á realizarse por completo ulteriormente, y el relieve actual, más aún que el trazado del relieve paleo-geográfico, es el único que puede dárnosle á conocer, con tal que nos atengamos con preferencia á las líneas de hendidura marcadas por los bordes de los hundimientos mismos ó por series de reboses volcánicos, mejor que en el aspecto interior de los grandes macizos antiguos en los cuales los primeros plegamientos paralelos se debieron hacer sentir principalmente.

Tal es, de hecho, el método que han seguido la mayor parte de aquellos que han tratado de elucidar la cuestión, trazando sobre la Tierra una red geométrica, y siendo siempre su punto de partida ya el relieve actual de los continentes ó ya la coordinación del volcanismo.

Pero en presencia de este relieve actual sin idea preconcebida (y aun añadiré sin noción geológica), no podrá uno menos de sorprenderse por las apariencias de dibujo geométrico que presenta, por los alineamientos de las cordilleras, por las guirnaldas de islas tan continuas, por la agrupación, la correspondencia, el balanceamiento simétrico, y especialmente por la terminación en puntos tan análogos de los tres grandes continentes hacia el Sur y por la existencia, probable, además, de un macizo montañoso en el polo antártico, contrastando con una mar profunda en el polo Norte; por la acumulación de tierras en un hemisferio mientras que el otro está casi cubierto enteramente de océanos, y últimamente por el aspecto tan particular de este inmenso mar Pacífico con su cinturón de volcanes.

Por otra parte, cuando se busca, lejos de toda geología, cuál debe de ser la forma más verosímil de una envoltura esférica, obligada á contractarse, para continuar adaptándose á un núcleo de menor diámetro, se inclina uno á elegir, entre los poliedros geométricos, aquel cuya superficie es más grande para el más pequeño volumen, es decir, el

tetraedro, ó si se quiere, el hexatetraedro de de 24 caras, que deriva inmediatamente del tetraedro en cristalografía. Si la Tierra tuviese aproximativamente la forma de un tetraedro simétrico alrededor de su eje de rotación, deberían de existir mares siguiendo las cuatro caras de este sólido, donde la forma esférica de los océanos debería también separarse más de la corteza sólida, después las líneas de ruptura ó cadenas plegadas (que son equivalentes para nosotros) siguiendo las aristas, y por fin continentes en las cimas, y particularmente en una de las extremidades del eje de rotación, estando el otro extremo del mismo eje ocupado por un mar.

Existen, en efecto, entre semejante estructura tetraédrica y el aspecto real del relieve terrestre, algunas coincidencias que han interesado vivamente á ciertos sabios como MM. de Lapparent y Michel Levi. La más notable, sin duda, es la existencia alrededor del polo Norte de un mar que parece haber existido constantemente desde los tiempos más remotos, mientras que el polo Sur parece, como se sabe, ocupado por un alto macizo de montañas, hacia el cual vienen á converger líneas de ruptura características, tales como la cordillera de los Andes ó la corriente de los volcanes del Atlántico. Igualmente se puede notar la acumulación actual de masas continentales en los triángulos boreales, y es permitido ver en ellas las cimas del tetraedro, en tanto que los mares dominan, según todas las previsiones, en el

hemisferio Sur. En suma, si se hace intervenir el efecto de las torsiones, que no ha podido dejar de producir el movimiento de rotación alrededor de un eje sobre una envoltura escoriada é incompletamente fijada aún, se explica la inflexión tan marcada de los continentes á su extremidad meridional.

Son estas aproximaciones muy interesantes con la condición de no llevarlas demasiado lejos, considerándolas más bien como una *tendencia* hacia la forma tetraédrica que como una realización de ella. No sé si sería prudente ir aún más adelante y buscar una confirmación más precisa á esta idea general, en un tejido geométrico más rigurosamente aplicado sobre la superficie terrestre. La forma estrictamente geométrica del tetraedro tropieza, no obstante de las coincidencias señaladas, con serias objeciones, consistiendo la principal de ellas en la dificultad de hacer entrar en esta forma el elemento quizá más sorprendente de nuestro globo, ese inmenso Océano Pacífico, sin vernos obligados á ponerlo en contraste con los espacios más continentales de la Tierra (1). Creo que hay necesidad de tener la paciencia de aguardar á que nuestros bosquejos paleogeográficos estén mejor asentados para poder razonar sobre ellos con mayor seguridad y esperar á ver este plan geométrico dibuja-

(1) De igual modo las zonas sísmicas, que son zonas débiles, no concuerdan siempre con la red tetraédrica indicada.

do desde el principio en un vago croquis más vigorosamente marcado y acentuado.

En la forma en que actualmente se presentan estas cartas paleo-geográficas (1), nos vemos obligados á reconocer que los rasgos constantemente modificados de un período á otro, son más importantes que aquellos otros á los cuales se puede atribuir cierta fijeza. En los elementos del relieve actual, aquellos que se remontan un poco lejos constituyen la excepción, y la comparación de esta serie de cartas, sin cesar mudables, producen una verdadera decepción en quien se propone establecer por ellas la ley.

No obstante, fuera de ciertos rasgos que, inadvertidos al principio, se han ido fijando poco á poco, hay algunos, en corto número, pero muy dignos de tenerse en cuenta, que parecen haber existido desde el comienzo. La impresión que se experimenta al hojear un atlas de paleo-geografía puede ser comparada con la que producen las fotografías sucesivas de la misma persona, especialmente si tales fotografías han sido sacadas en la infancia, en esta fase de la vida en que las transformaciones se verifican más rápidamente y en que todos los antepasados parecen venir uno en pos de otro á reclamar su semejanza; la primera apenas tiene relación con la última, y, sin embargo, cuando se re-

(1) Véase en Lapparent, *Traité de Géologie*, 5.^a edición, 1906, una serie de estas cartas de las más precisas.

torna á partir de ésta hacia la primera, se puede comprobar en cuál momento cada uno de los rasgos que la constituyen se ha dibujado en la fisonomía para fijarse en ella y se percibe entonces que alguno de estos rasgos remontan hasta el origen.

Entre estos rasgos permanentes, los dos más precisos son el eje de rotación mismo, al cual se puede atribuir una fijeza aproximativa, aunque frecuentemente discutida, y la zona, poco á poco cambiada, ó mejor, localizada, de plegamientos y de depresiones, que bajo la forma de nuestro Mediterráneo con las cordilleras próximas, marca aún, en un relieve, en el cual los accidentes Norte-Sur han adquirido una importancia creciente, la persistencia de los antiguos pliegues Este-Oeste, que son casi los únicos dibujados al principio.

La fijeza del eje terrestre se deduce, en particular, de las observaciones que dejo indicadas sobre la distribución de los pliegues siguiendo zonas conformes con dos paralelos, y aún, en el origen, siguiendo una zona ecuatorial, así como sobre la persistencia de una depresión oceánica en el polo Norte con un continente en el polo Sur.

De todo ello resulta, se ve en el acto, un interés capital para todas las exploraciones geológicas de las regiones polares, donde se encuentra la clave de problemas capitalísimos.

En cuanto á la existencia de una serie de fosas mediterráneas ligeramente desplazadas

con el tiempo, que en sentido geológico, prolongan nuestro Mediterráneo propiamente dicho hacia el golfo de Méjico, por un lado, y por otro, hacia la región del Caspio y el mar de China, aparece en cuanto se comparan entre sí cartas paleo-geográficas correspondientes á períodos muy diversos, tales como el cambriano (núm. 2), el dinantienense (núm. 11) ó el luteciense (núm. 44). He dado ya de este surco mediterráneo una explicación fundada simplemente sobre la formación del rodete ecuatorial produciendo pliegues «sinclinales» correlativos. Sólo el aplastamiento de los macizos polares, que describiremos luego, contra los macizos ecuatoriales, basta, creo yo, para explicarle. Conviene, sin embargo, citar la hipótesis de M. de Lapparent, que ha visto en ello una ruptura resultante de la torsión: según él, la base demasiado alargada del tetraedro en el hemisferio boreal debió conservar, ensanchándose, una velocidad muy débil, mientras que la punta demasiado encogida guardaba contractándose una velocidad muy grande. Volveremos en un capítulo ulterior sobre la historia de este mar.

3.º Coordinación geológica é historia de las deformaciones terrestres.—Hasta ahora nos hemos dado por satisfechos con considerar los rasgos completamente generales de la estructura terrestre y de indagar si se prestaban á una sistematización teórica no recurriendo á los hechos de observación más que

para mostrar en qué medida vienen estos hechos en apoyo de la teoría. Debemos ya entrar más en el detalle de las observaciones, y sobre todo, puesto que nos proponemos trazar aquí la historia de esta estructura y trazar también en el orden cronológico los episodios principales de deformación sufridos por el elipsoide de la Tierra. Este es, fuera de su interés propio, el punto de partida de todo estudio relativo á la paleo-geografía, á la estratigrafía, á la petrografía y á la metalogenia, pues los fenómenos que manifiesta la corteza terrestre son solidarios y todos, con excepción acaso de esos flujos y reflujos que se ha llamado eustáticos, tienen como causa inicial los incidentes por los cuales su relieve se ha ido modificando, brusca ó progresivamente.

He indicado ya con brevedad de qué modo, suponiendo una contracción progresiva de la corteza, se podía imaginar, ante todo en su superficie, una serie de plegamientos con arrastres ó rellenos; después una acción creciente de las hendiduras verticales y de los hundimientos, capaces por sí mismos de determinar nuevas áreas de plegamiento; y aun con este propósito, he aludido á la consolidación de ciertos macizos anteriormente plegados, que no teniendo bastante elasticidad para adaptarse á los plegamientos, se han dividido por hendiduras rectilíneas y creado, siguiendo estas hendiduras, áreas «sinclinales» debilitadas, susceptibles de producir nuevos pliegues; pero todas éstas son

nociones muy vagas para explicar fenómenos en realidad harto* complejos, de modo que hay precisión de estudiar cómo se han producido estos plegamientos, revelados en la superficie por nuestras cordilleras, así como la influencia que han ejercido sobre ellos macizos sólidos, irregularmente sembrados en su surco á semejanza de escollos en medio de las olas.

Llevado á su expresión más simple, un plegamiento de la corteza terrestre es el efecto de una compresión lateral, resultante del descenso vertical en una esfera de radio menor y ejercida, sobre una zona intermedia flexible, por dos especies de mandíbulas sólidas, entre las cuales esta zona flexible se ve obligada á plegarse para reducirse en anchura. Cuanto más vasta era la zona flexible y la compresión se ejercía á gran distancia, como ha debido ocurrir en los primeros períodos geológicos, más simple y más regular debió ser el plegamiento. Por el contrario, á medida que ha ido pasando el tiempo, sucediéndose los movimientos los unos á los otros, las zonas flexibles se han restringido, y al mismo tiempo, su ondulación se encontró detenida y complicada por los restos de los movimientos anteriores: por eso se nos presentan casi siempre en forma sinuosa. Por otra parte, si las dos mandíbulas hubiesen estado animadas en sentido inverso de un movimiento igual hacia una hendidura rectilínea, hubiera habido en ellos un pliegue simétrico; pero el movimiento casi necesaria-

mente desigual de las dos mandíbulas ha determinado, por regla general, una inclinación en el sentido del empuje preponderante. Sin entrar en el detalle de un mecanismo complicado, que acaban de desembrollar los tectónicos, hay precisión de mostrar rápidamente en qué consiste este mecanismo, y sobre todo de poner en evidencia la acción capital de los escollos sobre el pasaje de los pliegues, que facilita la clave de todas las sinuosidades y torsiones montañosas.

Las dos mandíbulas comprimentes de un pliegue constituyen lo que se llama *Avant-Pays* y *Arrière-Pays*: el movimiento relativo de ambas mandíbulas, que, como acabamos de ver, no puede ser exactamente correspondiente é igual, se traduce por un cambio horizontal del *Arrière-Pays* hacia el *Avant-Pays*, con tendencia á pasar por encima la zona intermediaria, donde los plegamientos se producen, y, por consecuencia, á inclinar y á arrastrar éstos en el sentido del *Avant-Pays*. Hay, de este modo, una disimetría casi forzada entre los dos flancos de las cadenas montañosas producida por los plegamientos, y esta disimetría se reproduce, acentuándose aún más para todas las manifestaciones petrográficas y metalogénicas conexas de tales plegamientos.

En el principio, la inclinación, el empuje hacia el vacío ha debido hacerse á partir de la dovela que animaba el movimiento más rápido. Este sentido del empuje es, por lo tanto, muy variable; sobre la anchura de una

misma cadena, el macizo calificado de *Avant-Pays* puede pasar de un lado á otro; así, para los pliegues terciarios europeos, el macizo está al Norte, y al Sur para la prolongación de los mismos pliegues en Asia. Muchas veces el empuje se reproducía en forma de corona alrededor de una misma dovela, que parece haber estado animado de un movimiento particularmentē rápido: por eso las flechas que indican la dirección del impulso divergen á partir del Mediterráneo, mientras que convergen hacia el Adriático ó hacia la llanura rumana.

La acción de los yo llamo escollos ha sido la de desviar, de torcer los pliegues, obligándolos á insinuarse entre sí. Este papel es tan constante, que una torsión inexplicada de una cadena de montañas puede hacer adivinar la existencia de un escollo ignorado. Semejantes escollos están constituídos por los fragmentos del *Avant-Pays*, anteriormente consolidados, y cuya masa compacta resiste ya á los plegamientos nuevos, excepto en el caso de fracturarse bajo su choque. Estas especies de olas, que representan los pliegues terrestres, se ven obligadas á contornear estos macizos y á insinuarse en ellos, laminándose en los pasajes reducidos, en los desfiles creados entre sí, mientras que allí donde los escollos están muy separados, se extienden á su antojo en grandes olas más amplias y de salientes menos bruscos. Resulta de ello, en conjunto, para las cadenas plegadas, una estructura semejante á la que se encuentra más

en pequeño en el detalle de una misma cadena, y que, sobre una escala mucho menor aplicada á la constitución misma de una roca química, toma el nombre de estructura amigdalóide.

Como acaba de verse, las palabras *Avant-Pays* y *Arrière-Pays* son excesivamente relativas, y la distinción entre el escollo y la zona plegada no es en sí misma exacta si no se precisa el período geológico á que pertenecen. Una zona, que por de pronto forma parte de uno ó varios plegamientos, se encuentra transformada en seguida en dovela sólida. Esto se observa muy claramente cuando se examina la carta geológica de una región plegada, con la condición de que se sepa leerla, y la nueva carta geológica al $\frac{1}{1,500,000}$ de nuestra Europa, que es por cierto una de las regiones más complicadas, y geológicamente más instructivas del mundo, pero también una en que los pliegues recientes tienen *un papel principal, ofrece á nuestra vista una imagen sorprendente*. Se ve en ella en el acto el papel desempeñado, en la constitución europea, por los grandes macizos antiguos de consolidación carbonífera, la Meseta española, la Central, los Vosgos, la Bohemia y la Plataforma rusa, contra los cuales los pliegues terciarios más meridionales han venido á romperse.

Lo que inmediatamente se manifiesta en el caso de la Europa meridional y central, por el contraste de los macizos carboníferos con terrenos primarios divididos por largas

sinuosidades todavía continuas de los pliegues terciarios, exige un poco más de atención cuando se trata de separar en una región con deformaciones más antiguas, los trozos de cadenas sucesivas, que las unas como las otras se nos presentan hoy divididas. En parecidas circunstancias la regla es la siguiente. Lo que caracteriza, en un bloque de terrenos cualesquiera, su fase de consolidación, es que todos los terrenos anteriores se muestran, en semejante bloque, plegados y contorneados, y todos los sedimentos posteriores horizontales. Hay que tener en cuenta, naturalmente, los casos en que estos terrenos no hubieran permanecido horizontales porque no hubiesen tenido aún tiempo de plegarse; pero los plegamientos constituyen un fenómeno tan general sobre la superficie de la Tierra, que esta explicación no es admisible cuando los terrenos que permanecen horizontales se remontan á una época antigua.

Partiendo de esta noción, se puede, sobre un planisferio, distinguir las regiones por colores ó anotaciones distintas, y si se observa entonces que ciertas fases de consolidación (esto es, ciertos períodos de plegamiento), han presentado un carácter de generalidad extremadamente notable, aunque pudiendo haber variado de un punto á otro en el detalle y aun en un mismo punto. Igualmente se sigue la marcha de esta consolidación, que sólo turba un poco, como queda indicado, la intervención de rupturas recientes por hun-

dimiento, pero que no por eso deja menos de obedecer á una ley general de extensión progresiva (arrastrando de rechazo la localización de los plegamientos); ley muy interesante por su simplicidad.

Las fases de que se trata y que constituyen en la Historia de la Tierra épocas críticas, separadas por períodos de calma, son las siguientes en su orden sucesivo: la fase *precambriana*, la fase anterior al devoniano (ó *caledónica*), la fase carbonífera (ó *herciniana*), la fase terciaria (ó *alpe-himalayana*); fases importantes entre las cuales sería fácil intercalar muchas otras.

Tenemos, desde luego, una primera zona, donde por todas partes los terrenos primordiales ó *arqueos* anteriores al precambriano y el precambriano mismo (piso 1.^o), desde luego plegados, después arrasados por erosión, constituyen una plataforma sólida, sobre la cual todos los sedimentos sucesivos, arrastrados por las transgresiones marinas, han permanecido horizontales, sean cambrianos, carboníferos, cretáceos ó terciarios, aunque habiendo podido sufrir los unos con relación á los otros, movimientos relativos de abajo arriba. Esta primera zona, la más antiguamente consolidada, que nos sea dable reconocer, había debido, antes de la aparición de la vida, que es la única que nos permite establecer fechas y divisiones en esta historia á partir del precambriano, sufrir también una serie de movimientos anteriores, que se manifiestan en sus troncos, que tal como po-

demos reconstituirlos, y abstracción hecha de movimientos posteriores, son ya el resultado de numerosos plegamientos, influyendo unos en otros como aquellos cuya historia reconstituiremos más tarde (1). Por consecuencia de estos plegamientos, cuya huella local se encuentra, aunque sin poder agruparla, de una región á otra de semejantes observaciones, las plataformas precambrianas debían estar ya formadas por una serie de zonas, yuxtapuestas sucesivamente. Pero dejando á un lado estos comienzos que desconocemos, observamos ya, desde el fin de la época precambriana, ciertas dovelas fijadas definitivamente, solidificadas, macizas, que bien pudieron sufrir en un período ulterior cambios verticales, subir ó bajar, emerger ó desaparecer bajo el mar, aunque al principio lo hayan hecho por bloques, sin prestarse de ordinario á los plegamientos. Por lo tanto, estos macizos primordiales han desempeñado sin duda un papel muy esencial en toda la tectónica ulterior; ellos son los que han formado las dos mandíbulas de los tornos, entre

(1) No parece que exista una sola región en la que los terrenos anteriores al precambriano no hayan sido plegados y recristalizados; lo que hace sospechar que la ausencia de organismos en estos terrenos anteriores es puramente accidental, así como la división establecida por nosotros entre los terrenos llamados precambrianos ó algonquienses (1), en los cuales comienzan á manifestarse huellas de la vida. En los precedentes estas huellas no han faltado, sino que han desaparecido.

las cuales se han comprimido y plegado zonas intermedias más débiles, más elásticas (quizá dotadas de mayor flexibilidad por un primer hundimiento, seguido de una sedimentación activa, que había elevado en ellas las isogeotermas y había aproximado las rocas por efecto de la fluidez).

Como vamos á ver dentro de un momento, estos macizos han formado, en el hemisferio Norte, dos coronas principales alrededor del eje terrestre, la una próxima al Polo, la otra próxima al Ecuador, con algunos otros macizos intermedios más pequeños. Esta disposición inicial, que conforme una observación precedente, parece poner en evidencia la permanencia aproximativa (frecuentemente negada) del eje terrestre, ha determinado el sentido general de los plegamientos, que en Europa, encontrándose comprimidos entre la Escandinavia y África, han tenido siempre una dirección principal Este-Oeste, y uno tras otro se han aplastado también del Sur al Norte contra la zona polar, que sucesivamente han ido agrandando y consolidando; de suerte que la banda plegada debió, poco á poco, transportarse hacia el Sur, donde al cabo empezó á faltarle sitio.

Después de esta primera zona precambriana, pasamos á una segunda, que aún no nos es bien conocida desgraciadamente: hablamos de aquella en que la consolidación no se verificó hasta pasado el siluriano (pisos 2 á 4), de tal modo que encontramos en ella los terrenos, hasta el siluriano, plegados

y recubiertos por el devoniano (pisos 5 á 10) horizontal. Esta es la cadena llamada *caledónica*, porque está representada en Escocia (Caledonia) y Noruega.

En seguida viene la zona muy importante, en la cual se produjeron los movimientos durante el carbonífero y el permiano (pisos 11 á 16), la zona *herciniana*, donde no solamente los terrenos anteriores al carbonífero, sino los mismos diversos niveles del carbonífero, pueden presentar plegamientos y discordancias entre sí, mientras que los terrenos posteriores, cuando el mar los ha llevado sobre partes deprimidas de esta cadena, permanecieron horizontales en su conjunto. Esta es la zona de Europa central, que se llama también *armoricana*.

Llega, en fin, la última zona *Alpe-Himalayana* (1), donde los mismos terrenos terciarios pueden aparecer plegados y donde con frecuencia los movimientos pueden también continuarse en la actualidad; zona en que, por tanto, tienen los terremotos su *máximo* de intensidad. Esta es la zona en que están comprendidas las más importantes cordilleras actuales del globo (Alpes, Cáucaso, Himalaya, etc.); ó sea, dicho en otros términos, los relieves más jóvenes, producidos por

(1) Doy á esta zona una extensión más grande que la que se le atribuye generalmente, incluyendo en ella toda la serie de plegamientos terciarios, después de aquellos otros que han podido comenzar al fin del cretáceo.

los movimientos más recientes que la inevitable erosión no ha podido destruir todavía.

Luego se ve, por lo que queda indicado, que no basta, como se ha dicho algunas veces, con considerar los movimientos como propagados poco á poco á manera de las ondas, desde la cumbre primitiva hacia la cadena caledónica, hacia la herciniana y por último hacia la alpina, de modo que cada una de estas cadenas representaría una zona, en la cual la corteza hubiera permanecido estable y habría seguido en esta forma después de haberse plegado; por el contrario, hay motivos para insistir, según creo, sobre la *localización progresiva de estos plegamientos*, que por de pronto han debido ser muy generales y abrazar todas las zonas precedentes y restringirse después lentamente á una sola.

Pero esto no impide que la zona de plegamiento *máximo* no haya debido cambiar con el tiempo; este plegamiento parece haberse producido á lo largo de las barreras anteriormente solidificadas de los *Avant-Pays*, según la observación de M. Suess, como las olas son más altas á lo largo de la ribera que á lo ancho; pero estas olas han debido producirse, aunque más débilmente, también á lo largo, y esto explica que se encuentren, en las cadenas recientes, como la alpina, pruebas de plegamientos anteriores, por ejemplo plegamientos hercinianos, de igual manera que ciertas partes menos sólidas de la cadena anterior han continuado sufriendo el efecto de movimientos, muchas veces superpuestos

á los primeros, que M. Suess ha designado con el expresivo término de *pliegues póstumos*.

El aspecto de un planisferio tectónico, tal como aquél de que acabamos de hablar (1), acusa bien el papel diferente de la zona polar ártica, que forma el *horst universal*, cada vez más extendido y quizá cada vez más deprimido también hacia el centro por un aplastamiento creciente del esferoide (2), y de la zona ecuatorial, que poco á poco se aproxima al Polo, á medida que los períodos geológicos se suceden. Se ve en este planisferio la localización progresiva de los plegamientos hacia el Sur, aproximándose á la serie de las moles ecuatoriales y, en sentido inverso, la conquista progresiva de zonas cada vez más meridionales, que vienen á añadirse á las primeras para aumentar esta especie de techo solidificado. El fenómeno se complica por los remolinos más y más acentuados que á medida que se estrecha la zona relativa á los plegamientos, les obliga á replegarse sobre sí mismos y á torcerse en verdaderos torbellinos, insinuándose en los huecos vacíos de las dovelas precedentes y produciendo, por consecuencia, movimientos de detalle en los sentidos más variables, contrastando con la unidad general de las direcciones en las cumbres primitivas. Además está turbado por los

(1) Véase la *Science géologique*, pl. I.

(2) Ciertas teorías, contrarias á aquellas de que yo he hablado antes ligeramente, admiten este aplastamiento. Pero éste es un punto ignorado en absoluto.

hundimientos, algunas veces completamente independientes, de las zonas plegadas, que parecen haber intervenido, con una intensidad cada vez mayor, á medida que los plegamientos más localizados menos podían contrabalancear la contracción terrestre. No obstante, en el conjunto todo parece haber pasado como si la zona de los macizos polares hubiese extendido su dominio, rechazando la zona intermedia plegable hacia la de los macizos sólidos ecuatoriales, que por el lado del Norte no parece haberse aumentado poco á poco y que, por el contrario, lo ha hecho también hacia el lado Sur por un progreso análogo al de las cumbres boreales. Así se han producido, por una consecuencia directa, los mares interiores en forma de largos surcos, siguiendo paralelos, de los cuales mares la fosa mediterránea, que estudiaremos pronto especialmente, constituye el representante más característico, mientras que los mares con eje Norte-Sur, como el océano Atlántico, el mar Egeo, el Rojo y el de las Indias, son el resultado de hundimientos verticales, generalmente recientes.

En suma, se pueden distinguir en la Tierra tres zonas tectónicas principales, desigualmente antiguas y constituyendo otras tantas ondas concéntricas alrededor del Polo.

1.^a Las grandes cumbres primitivas, cuya acción ha sido tan capital en todos los movimientos ulteriores: El «Escudo» canadiense de M. Suess en el Norte de América (Groenlandia); el «Escudo» Fin-escandinavo Es-

candinavia y Finlandia); el macizo siberiano y las moles problemáticas de la China Oriental ó del Pacífico;

2.^a La zona afectada por los plegamientos hercinianos de edad carbonífera;

3.^a La zona afectada por los plegamientos terciarios.

Si se quisiera entrar en más detalles, sería fácil multiplicar estas zonas principales, y seguramente será obra de los tectónicos futuros la de reconocer y de datar toda una serie de etapas intermedias, algunas de las cuales comienzan ya á ser conocidas. Con mayor ó menor intensidad, los plegamientos terrestres han debido prolongarse casi constantemente, y la subdivisión que acabo de indicar tiene, por lo tanto, alguna cosa de artificial; basta, no obstante, para dibujar, en su orden histórico, las grandes zonas tectónicas del globo.

Para el observador vulgar y aun para el geógrafo que no se apoye en la Geología, estas tres ó cuatro zonas tectónicas distintas se presentan en condiciones singularmente diferentes: las primeras, como vastas llanuras ó mesetas; la última, como una serie de arrastres montañosos con las cimas desconchadas cubiertas de glaciares. Ninguna relación podría existir entre un paisaje de la bahía de Hudson y un panorama de Monte-Rosa. Pero en el primer caso, por encima de las mesetas ó de las llanuras abrasadas, el tectónico reconstruye con el pensamiento los millares de metros que la erosión ha suprimido; y ve

estas cadenas de plegamientos, destruídas hasta su raíz, tal como fueron en el instante de su aparición, y lo que es para él la vejez fatigada de Escandinavia ó de Escocia, de Siberia, del Canadá ó de Bohemia, la sustituye fácilmente por la imagen de su juventud geológica. De este modo logra suprimir los efectos de la erosión, que es la única que da formas salientes, aplastadas ó redondas á semejantes cadenas de plegamiento, y según sean éstas más ó menos antiguas, tanto mayor ó menor habrán de ser sus efectos, de manera que los Himalaya ó los Cáucaso se levantan para él, en las regiones polares, tal como debieron existir en las épocas primitivas de la Tierra.

Después de lo dicho, sólo añadiré algunas palabras sobre cada una de estas subdivisiones para marcar bien su carácter.

1.º CUMBRES PRIMITIVAS.—En el origen, vemos alrededor del polo Norte los cuatro grandes macizos precambrianos que han sido colocados simétricamente en disposición semejante á la de los pétalos de una flor que han debido irse acentuando por los hundimientos terciarios con dirección meridiana tan caracterizada, aunque ciertos trazos, en sentido Norte-Sur, son, sin embargo, más antiguos que el terciario, como los pliegues caledónicos entre América y Groenlandia ó al Oeste de la Escandinavia y el pliegue herciniano del Ural.

Estos macizos polares afectan cierto aspecto de conjunto, en triángulo esférico, que

las ondas concéntricas herciniana y terciaria, plegadas posteriormente, acusan mejor. De un lado, una de las bases es paralela al litoral del Pacífico, hacia el cual parecen haberse propagado libremente las ondulaciones en todos sentidos y en todo tiempo, ya en América, ya en Asia, produciendo este paralelismo arrugas montañosas y cuevas, hechos que constituyen la parte característica fundamental de esta forma de océanos, á la cual se da el nombre de tipo pacífico. El surgimiento de las últimas arrugas, á lo largo de la ribera actual, en elevado saliente montañoso, podría hacer presumir la existencia de un macizo ó mole pacífica, hoy día recubierto por las aguas.

Los otros dos lados están: uno, paralelo á la longitud de Asia y perpendicular al Ural; y el último, perpendicular al eje del Atlántico. En estos dos sentidos, la propagación del movimiento estuvo muy lejos de poder hacerse con igual libertad, y se ve la razón comprobando la existencia mucho más próxima (sobre todo para Europa) de otras tres moles primitivas, en Africa, en la India y en la América del Sur, á las cuales deben añadirse otras, hipotéticas, al Este de China.

El conjunto del *macizo ártico precambriano* aparece dividido en cuatro troncos, separados por fosas de hundimiento (con eje meridiano y algunas veces plegado) que han podido estar ya indicados antiguamente; la del Oeste de Noruega, al menos en la época siluriana; la del Ural, en la época carbonífera; la

situada entre la Groenlandia y América, que también puede ser del siluriano; las otras son únicamente de la época terciaria. Estos cuatros macizos de terrenos primordiales plegados y cristalizados, representan la osamenta primitiva de la Tierra, plataformas sólidas, que han podido ser recubiertas por el mar, como lo son aún algunas de las zonas más bajas, pero que no han sufrido plegamiento desde los períodos primitivos de la historia geológica: de suerte que los sedimentos, depositados sobre ellas en una época cualquiera, por las transgresiones marinas han permanecido horizontales, sufriendo en esta posición las erosiones, por efecto de las cuales se han ido desmantelando y hasta desapareciendo algunas veces. Esta disposición de los terrenos en estratos horizontales constituye un rasgo completamente característico de la mayor parte de los paisajes polares en la zona boreal.

Allí es donde se encuentran los dos macizos del Canadá y de la Escandinavia con la Finlandia, que ordinariamente se designan, de acuerdo con M. Suess, bajo el nombre de «escudos», cuya notable simetría con relación al eje de ruptura ha señalado este eminente geólogo, macizos surcados por reboses volcánicos, que desde las regiones polares á Juan Mayen, á Islandia, á las Azores, á Cabo Verde y Santa Elena, siguen la longitud del océano Atlántico.

2.º CADENA HERCINIANA (CARBONÍFERO).— La cadena herciniana de Europa, que tam-

bién se ha llamado armoricana, es una cadena alpina anterior á los Alpes y más septentrional, que en la época carbonífera se ha levantado desde Sevilla á Clermont-Ferrand, Rennes, Nancy, Braga, Breslau, Odessa, y después sigue el Ural hasta el océano Glacial. En otras partes del mundo se encuentra la huella muy clara de movimientos contemporáneos, que por extensión se pueden designar con el mismo nombre.

En Europa, donde se ha estudiado esta cadena con un cuidado particular, comprende especialmente, á título de dominio propio que ha escapado á los plegamientos sucesivos de la época terciaria, la Meseta española, la Bretaña, la Meseta Central, los Vosgos, la Selva Negra y la Bohemia; pero su zona de extensión ha abrazado también, un poco más al Sur, gran parte de la región sobre la cual se han superpuesto á ella los plegamientos terciarios (Pirineos, Alpes, etc.). Más lejos, hacia el Este, el Ural es una cordillera casi de la misma edad y se pueden seguir los pliegues hercinianos al través de Asia en toda la inmensa zona que va desde el Altai ruso al Himalaya y de Nan-Shan á Birmania, es decir, en lo que M. Suess ha llamado el Altai y los Altaides.

Para concluir, en la América del Norte se encuentran plegamientos casi contemporáneos también, formando un cinturón meridional al Escudo Canadiense, que desempeña el papel de la cumbre primitiva; plegamientos que se encurvan entre ésta al Norte y la

mole brasileña al Sur, en la zona que habiéndose estrechado con el tiempo, provocó la incurvación terciaria de las Antillas, tan análoga á la de los Cárpatos.

3.º CADENA ALPE-HIMALAYANA.—La cadena Alpina, dentro de las ideas de los antiguos geólogos, no comprendía más que los Alpes propiamente dichos. Después de las vastas síntesis de M. Suess, el sentido geológico de la cadena alpina se ha extendido de una manera enorme. Yo he propuesto, además, que con el nombre Alpe-Himalayana se la diera aún mayor extensión de la que se le concede de ordinario, incluyendo en ella todos los plegamientos de la edad terciaria, que al través de Europa, Norte de África y Asia, y aun de América, se unen entre sí y no constituyen más que un gran conjunto casi sinerónico; es decir, todos los altos salientes montañosos recientes de la corteza terrestre, que la erosión no ha tenido todavía tiempo de destruir, como ha hecho con las montañas más antiguas, desconocidas del topógrafo y descubiertas únicamente en el estado de ruinas enterradas por el geólogo. Nuestra cadena Alpe-Himalayana abraza la cordillera Bética, los Pirineos, los Alpes y el Jura, los Cárpatos, los Balkanes, los Apeninos, el Atlas y luego el Cáucaso y el Himalaya. En realidad encierra, además, por lo menos, tres arrugas sucesivas: 1.ª, los Pirineos, las cadenas sub-alpinas, y los Cárpatos; 2.ª, los Alpes propiamente dichos con la cordillera Bética; 3.ª, los Alpes Ilíricos (ó Dináridos), los Alpes

de Bergamasco, el Apenino y una parte del Atlas.

La simple enumeración que antecede, es especialmente propia para mostrar la complicación de una cadena montañosa, tal como hemos de entenderla en lo sucesivo. Como acaba de verse, ésta se compone, no en la forma de las ideas simplicistas que han prevalecido antes, esto es, de elementos rectilíneos continuos, cada cual con su edad precisa, ni siquiera de una larga red ondulosa con ramales divergentes, sino de una serie de ondas paralelas, con inflexiones sinuosas, que puestas en marcha en épocas distintas y desigualmente afectadas por los obstáculos anteriores colocados en su camino, se han propagado, unas después de otras, en el mismo sentido, y que tan pronto se confunden ó se sustituyen ó aun se complican con olas que retroceden por haber chocado contra una mole sólida. El aspecto del mar en las proximidades de la costa, si por cualquier fenómeno llegara á fijarse en una de sus posiciones instantáneas, nos ofrecería una imagen grosera de tal levantamiento, con la diferencia, sin embargo, de que los terrenos sedimentarios, á pesar de su flexibilidad extraordinaria en los plegamientos, debieron necesariamente de sufrir rupturas por planos á los cuales un líquido no se presta.

Estas ondas ya sinuosas de los macizos anteriormente consolidados, que en su casi totalidad se remontan á la fase herciniana, fueron las que han venido á desempeñar el pa-

pel de escollos de que he hablado anteriormente, y á provocar, en los plegamientos inflexiones, que á primera vista no es fácil comprender. Por eso los Cárpatos han pasado, desplomándose, por encima de toda la cadena herciniana de los Sudetes, para ir á chocar contra la meseta primitiva de la Plataforma rusa, siendo rechazados hacia atrás por un núcleo sólido del cual formaba parte el macizo de Agram. Los Balkanes han sido separados de la cadena del Pindo por el núcleo cristalino de Rodope y de la Macedonia y rechazados por éste contra una cimentación antigua oculta por los aluviones de la llanura rumana. En este movimiento se puede admitir que los Balkanes han ejercido á su vez un rechazo indirecto sobre los Cárpatos, cuya curva, unida á la de los Balkanes por los Alpes de la Transilvania, ha concluído por dibujar una curiosa S invertida. La curva de los Apeninos y de Sicilia ha sido motivada de igual manera por un macizo, hundido más tarde bajo el mar Tirreno, del cual macizo quedan algunos trozos aún para que sea posible reconstituirlo con el pensamiento.

CAPÍTULO VI

HISTORIA DE LA ESTRUCTURA TERRESTRE LAS RECURRENCIAS

- 1.º La historia de una cadena de montañas.—Formación del «geosinclinal».—Periodo de plegamiento, periodo de destrucción.—Las consecuencias para la sedimentación, la petrografia y la metalogenia.
- 2.º La historia de un macizo volcánico.—Rocas profundas y superficiales.
- 3.º La historia de un mar.—Caso del Pacífico, del Atlántico y del Mediterráneo.—Posibilidad de movimientos rítmicos.—Transgresiones y regresiones.

Así como queda dicho, vamos en este capítulo á dejar de lado todo lo que es evolución de la estructura terrestre, y, por consecuencia, todo lo que diferencia unos de otros los períodos sucesivos de su historia, para considerar, por el contrario, lo que les es común y referir, sintetizándolas, las series de acontecimientos que probablemente han debido reproducirse muchas veces en el mismo orden durante épocas muy distintas. Los fenómenos actuales han de ser aquí nuestro guía, puesto que se trata, no de incidentes excepcionales en la Historia de la Tierra, sino de hechos constantemente repetidos y, por

lo tanto, capaces de reproducirse aun bajo nuestros ojos.

Entre los rasgos que caracterizan la estructura terrestre, vamos á elegir también los más salientes: una cadena de montañas, un volcán, un océano, y á tratar de escribir su historia, que según todas las probabilidades ha sido casi la misma en sus grandes líneas, sean cuales sean, la cadena de montañas, el volcán y el mar. Las enormes diferencias aparentes que separan entre sí dos montañas, dos volcanes y dos mares antiguos de los tiempos geológicos, resultan sobre todo (y éste es un punto que me propongo dilucidar) de que se los examine en dos fases diversas de su vida. Hay en cada uno de ellos, como en un ser organizado, un cierto período de existencia, y en este caso vemos en él, sin darnos cuenta por de pronto, un niño, después un adulto, luego un viejo, ó hasta un cadáver.

1.º LA HISTORIA DE UNA CADENA DE MONTAÑAS.—Los grandes relieves montañosos del globo han surgido hace largo tiempo. Cuando no se tenían nociones geológicas precisas, las regiones más viejas y las más sólidas del globo se las asimilaba con su osamenta, con su esqueleto, en el cual las llanuras se consideraban como la cubierta de carne. Pero la verdad es que las altas montañas son todas de elementos muy recientes y muy precarios en la estructura terrestre, correspondiendo, además, todas ellas á zonas frágiles de la corteza, y sólo resul-

tan elevadas porque no han tenido tiempo de usarse. No hace aún muchos siglos que el mar pasaba sobre el emplazamiento de los Alpes, los Pirineos y el Cáucaso, y aun es, como vamos á ver, por el excavamiento de un foso prolongado, de una larga depresión «geosinclinal», por donde se puede comenzar la historia de una cadena de montañas. Además, donde existen también montañas más antiguas, como aquellas cuya evolución hemos seguido en el capítulo precedente, estas montañas, porque son más viejas, se nos muestran más carcomidas; el geógrafo las desconoce y las toma por llanuras; pasando por encima de ellas, el profano tampoco las distingue, de igual modo que no percibe las ruinas sepultadas de una ciudad destruída; es preciso ser geólogo para advertir que las llanuras de Bretaña, del Limosin, de Bohemia, de Finlandia, corresponden á cordilleras, hoy día cortadas y destruídas hasta su base, que tuvieron antes, sin duda de ningún género, una altura igual á la de nuestros Alpes, y con formas tan accidentadas y glaciares idénticos á los suyos. Haremos también una observación de igual índole á propósito de las manifestaciones eruptivas, cuyo aparato superficial, que para nosotros lo constituye el volcán, no es más que una fracción ínfima, visible únicamente cuando el volcán es muy moderno, mientras que en todas partes, donde este centro eruptivo es más antiguo, su existencia se revela solamente en la superficie, por tipos de ro-

cas que acusan cristalizaciones profundas.

Cuando se quiere reconstituir la historia de una cadena de montañas, hay necesidad de remontarse por de pronto á la época menos antigua en que ésta se ha formado, sobre su emplazamiento actual, en forma de huso debilitado, bien pronto marcado por el hundimiento que se llama un «geosinclinal», contar después la formación de los pliegues, que con algunos núcleos cristalinos, subsistiendo como testigos de una época anterior, caracterizan geológicamente nuestras montañas; explicar en seguida cómo salieron á la superficie; describir, en fin, el período de destrucción de la cadena, que ha podido, en ciertos casos, complicarse con plegamientos nuevos reproducidos casi sobre el emplazamiento de los antiguos, y, por consecuencia, de un retroceso momentáneo en la fase de la erosión. Las diversas cadenas montañosas de edad más ó menos antigua que presenta el globo, nos ofrecen á la vez, con la condición de admitir el principio de recurrencia, objeto de este capítulo, cuadros simultáneos, que basta con suponer sucesivos para establecer nuestro relato.

La primera de estas fases, muy lenta y muy progresiva (á la cual asistimos, quizá sin advertirlo, en alguna parte, en el Mediterráneo, por ejemplo), es el período preparatorio del «geosinclinal», ó de la zona débil, destinada á sufrir todos los movimientos ulteriores. De modo contrario á todas las apariencias vulgares, el saliente comienza, en efecto, por un

agujero. Tal es el origen de este «geosinclinal»; algunas veces se ha supuesto completamente accidental. En la teoría de la isóstasis, debida á J. D. Dana, el menor foso deprimido, por el hecho mismo de que en él se acumulan elementos que levantan en profundidad las isogeotermas, con tendencia á profundizarse desde que esta elevación de temperatura basta para producir un ablandamiento de las rocas. Entonces el fenómeno se acentúa cada vez más por su propio efecto, puesto que cada inflexión del fondo provoca un nuevo aporte de sedimentos, y por consiguiente, un aumento de la temperatura profunda y una inflexión nueva. Así es como se explica bastante lógicamente la acumulación de los sedimentos en espesores extraordinarios, siguiendo ciertas fosas deprimidas, cuya profundidad, si hubiera sido alcanzada de un solo golpe, asombraría ya por sí misma, y donde, sobre todo, no hubiesen podido acumularse entonces las categorías de materiales detríticos, con las inclinaciones crecientes hacia la profundidad que se observa en ellos. La existencia de antiguos «geosinclinales» sobre el lugar de las cadenas de montañas, resulta claramente del carácter y del espesor de los sedimentos que se han acumulado en ellas, y la idea de su ahondamiento progresivo, cualquiera que sea su causa, está casi comprobada por los hechos de observación; pero, como en la mayor parte de estas cuestiones generales, yo no creo que nos podemos satisfacer aquí con una simple explicación lo-

cal y el punto de partida del «geosinclinal», que ha debido desde el comienzo ser una fosa deprimida larga y profunda; me parece que habrá que buscarla en la contracción de la corteza, que ya hemos invocado para el conjunto de los fenómenos; contracción cuyo efecto directo ha debido en seguida contribuir á profundizarla. El sitio del «geosinclinal» ha debido, pues, encontrarse preparado por la zona débil intermedia entre dos macizos sólidos de la corteza, que más tarde, por compresión lateral, han estrechado esta zona flexible intermedia, y obrado, por lo tanto, en el mismo sentido que la inflexión del fondo, pudiendo resultar accesoriamente de la isóstasis.

Este rasgo de unión más flexible de los dos macizos sólidos ha podido, además, resultar, ya de condiciones realizadas por plegamientos anteriores, que habrán llevado los «magmas» ígneos en fusión y el trabajo de consolidación conexas sobre ciertas zonas con preferencia á las otras, ya también por una ruptura vertical producida por un hundimiento lineal, como el que atraviesa actualmente el Este de Africa, bajo el nombre de eje Eritreo. Tal alineamiento, hoy en día manifestado por fosas hundidas y reboses volcánicos, puede muy bien marcar el origen de un plegamiento futuro (1), y es posible, en consecuencia—con la tendencia de nues-

(1) Hay que observar, sin embargo, que la frecuencia de los movimientos sísmicos no acusa en ello una inestabilidad especial.

tro globo á fraccionarse por estallamiento, siguiendo paralelos, después de haberse plegado largo tiempo en la misma forma,—que las grandes cadenas montañosas del porvenir estén en dirección Norte-Sur (siguiendo el eje del Atlántico, del Mar Rojo, de los grandes lagos africanos, etc.), en lugar de ser, por término medio, como las antiguas cadenas de Europa y de Asia, paralelas al Ecuador.

Sea lo que sea, el geosinclinal parece haber comenzado frecuentemente por un surco marino, en cuyo eje se han depositado con toda tranquilidad sedimentos fangosos, surcos que alcanzan á lo más algunos centenares de metros de profundidad, con formaciones litorales, muchas veces coralinas sobre los bordes. Después este «sinclinal» se ha hundido bajo la acción de las diversas fuerzas que acabo de analizar: compresión lateral por la contracción é isóstasis. En el caso de los Alpes, se ha supuesto que debió de profundizarse muy pronto, casi tan pronto como se llenaba; pues se encuentran algunas veces, sobre más de 1.000 metros, sin cambio de ningún género, depósitos idénticos de fauna semejante, demostrando que las mismas condiciones litológicas y zoológicas se habían perpetuado durante todo este tiempo.

Semejante hundimiento, acompañado de una sedimentación activa, no es, en cierto modo, otra cosa que la fase preliminar del levantamiento, el cual comienza cuando en

este «geosinclinal» las mismas fuerzas llegan á determinar el surgimiento de pliegues, produciendo como corolario un retroceso de las aguas. Entonces se produce, como vamos á ver, en estos espesores de sedimentos que rellenan el geosinclinal y también en su base, llevada al estado de fusión por la elevación de las isogeotermas, un trabajo de plegamiento que aunque manifestándose (al menos en el comienzo) en la superficie, parece haber sido en gran parte profundo (sin exceder de cierta profundidad en la corteza, sin embargo), y que sólo el progreso de la erosión ha podido, pues, llevar más tarde á la superficie.

En este período decisivo, en que el plegamiento se ha efectuado, un esfuerzo de contracción, de intensidad necesariamente variable según los momentos, y realizado entre las dos mandíbulas, cuya altura absoluta y velocidad de cambio no pueden ser exactamente iguales, como ya tuve ocasión de indicar, ha debido producir, en circunstancias variables, los casos muy complejos observados en las cadenas de montañas.

En principio, el desplazamiento de estas grandes dovelas sólidas, que hemos supuesto, empleando una imagen grosera, unidas por medio de bandas flexibles, debe, en efecto, determinar, tan pronto una compresión, tan pronto una descompresión de éstas. Si imaginamos, como acabamos de hacer, que la zona débil se plegue en geosinclinal, la compresión lateral de las dos dovelas apro-

ximándose debe producir por de pronto el efecto de profundizar el geosinclinal estrechándole; pero una descompresión, en el caso de que llegaran á separarse momentáneamente, puede entonces disminuir su profundidad ensanchándole. Estas alternativas de compresión y de descompresión (las primeras más frecuentes que las segundas) han podido ya por sí mismas causar alguna complejidad.

Pero especialmente parece resultar que en un momento dado el descenso del fondo haya debido ser detenido por obstáculos; el sinclinal se encuentra entonces dividido por una primera arruga central ó «geantielinal», después por una serie de arrugas, que comenzando á surgir y destruyéndose en su parte elevada, todavía inestable, hacen caer sedimentos groseros en los sinclinales secundarios.

Se comprueba durante este período, por las «facies» de los depósitos marinos conservados á lo largo de la cadena, una independencia, una individualidad de los diversos sinclinales, que guardan la misma «facies» sobre su longitud, mientras que esta «facies» se modifica sin cesar cuando se recorta la cadena transversalmente, teniendo así la prueba de que el fenómeno de plegamiento ha producido su efecto de rechazo en la superficie.

Luego, acentuándose la compresión interna bajo los primeros pliegues formados, han debido producirse en profundidad pliegues

cada vez más numerosos y cada vez más complicados también, forzados, por los obstáculos que encontraban por encima de ellos, á seguir todas las ondulaciones, inversiones y arrastres estudiados por la tectónica.

A medida que se prolongaba y aumentaba en intensidad el movimiento, se puede considerar que adquiriría una forma más claramente profunda, revelándose sólo en la superficie por jorobas ó rodetes que, surgiendo, sin duda, poco á poco en una ó en muchas arrugas paralelas, no debían, sin embargo, permitir sospechar toda la multiplicidad de las acciones internas, hoy en día descubiertas por el desmantelamiento posterior debido á las erosiones.

Por fin, en un instante cualquiera, que representa para nosotros una especie de paroxismo, pero que se le coloca algunas veces en el comienzo de los plegamientos propiamente dichos, la velocidad desigual de las dos compresiones ha debido manifestarse bajo una forma particularmente característica, llegando á empujar una parte del *Arrière-Pays* por encima de la zona donde se encuentra hoy la cadena plegada, inclinando todos los pliegues de ésta en el mismo sentido, y aun arrastrando pedazos arrancados de ella á distancias de 50 ó 100 kilómetros.

Por esta simple exposición rudimentaria se cree, pues, comprender cómo (lo que es, no ya una hipótesis, sino un hecho de observación) el levantamiento de una cadena montañosa comienza, en principio, por el ahue-

camiento del geosinclinal, cuyo sitio debe ocupar la cadena, traduciéndose por una retirada de las aguas marinas en este geosinclinal donde la reascensión de los terrenos se produce, y puede ser seguida por una transgresión inversa de las aguas en el mismo surco, si se produce en él un nuevo debilitamiento.

Igualmente se explica por qué el período de compresión, que se manifiesta por el levantamiento de pliegues montañosos y una regresión en el geosinclinal correspondiente, produce al mismo tiempo sobre los continentes próximos una transgresión de las aguas expulsadas de este sinclinal.

Así se encuentra marcada entre la tectónica y los movimientos de los mares una relación que, aunque no resulta tan constante, tan inmediata, y sobre todo tan necesaria como se ha supuesto otras veces, no por ello deja de tener razones para existir.

Por último, se observará que por consecuencia de su inclinación sobre el *Avant-Pays* debajo de una sobrecarga pesada, la parte plegada, que constituye propiamente hablando, la cadena, nos aparece limitada verticalmente en los dos sentidos, en alto como en bajo, de una manera restringida. En alto, ha sido por de pronto cubierta por terrenos que sólo la erosión ha destruído más tarde; en bajo, debió terminar aún en la zona de sus «raíces» en una línea de compresión máxima próxima á la de la superficie, zona por debajo de la cual, los pliegues, en

el caso de que existan, deben haberse amontonado unos con otros, para reducirse quizá más bajo todavía, después de haberse simplificado cada vez más en una simple línea de ruptura. Resulta, pues, que la cadena montañosa, de aspecto tan sorprendente en la superficie, nos aparece, en suma, como estrechamiento localizado en cuanto á esta altura vertical, que es su rasgo más saliente, de igual modo que ella es ciertamente muy efímera; y, por otra parte, hemos sido llevados á suponer que estos gigantes han comenzado por producirse en la profundidad, no adquiriendo su relieve actual sobre el suelo más que por una circunstancia accidental relacionada con la erosión, mientras que los plegamientos, cuya huella grandiosa conservan, estaban ya terminados. Es decir, que las montañas han tenido una existencia geológica antes de adquirir una existencia geográfica.

Este carácter, de formación relativamente profundo que los tectónicos atribuyen hoy en general á los plegamientos montañosos, les ha inducido á preguntarse si cuando las montañas se han plegado, presentaban ya, como acabo de admitir hace un momento, un rodete realmente saliente, cuyos pliegues habían sido recubiertos por una capa de terrenos desaparecidos más tarde, ó si su altura ha sido producida de una manera completamente relativa, por el debilitamiento posterior de las regiones contiguas. Esta es una cuestión que se ha planteado también para

esos macizos de terrenos antiguos llamados los pilares ú *horsts*, y ciertos geólogos han manifestado alguna repugnancia en admitir, tanto en un caso como en otro, un levantamiento absoluto cuyo origen puede encontrarse fácilmente, sin embargo, sin hacer intervenir ninguna fuerza misteriosa interna, en la compresión lateral ejercida sobre las dos caras de un trozo. Parece, en suma, que en semejante fenómeno, en el cual, casi con seguridad, el punto de partida es la compresión interna y consecuentemente el descenso desigual de dovelas arrastradas por la gravedad, la distinción entre el levantamiento absoluto y el levantamiento relativo sea un poco teórica. No obstante, yo creería con más facilidad, siguiendo la hipótesis enunciada en nuestro relato, que ha debido de producirse un rodete saliente, más tarde desmantelado por una erosión intensa, á la cual su saliente mismo ofrecía todo género de facilidades, y quizá, aunque el hecho sea muy discutido, fuera acompañado de verdaderos hundimientos laterales. Habría, en verdad, algún atrevimiento en admitir, sin tener la prueba de ello, que el Himalaya haya sido preparado en bloque en el subsuelo como una decoración de teatro, plegando profundamente terrenos depositados previamente en la superficie (puesto que éstos son terrenos marinos) y descendidos en el geosinclinal para ascender en seguida por una rampa cuando su consolidación hubiera estado terminada.

Para concluir, si se hace un corte vertical, el aspecto de la cadena plegada se revela en la profundidad por un estrechamiento de los pliegues, que les regulariza y les da el tono rayado característico de la zona armoricana, mientras que, más arriba, el haz se extiende y se ensancha en forma de abanico de dos partes (más en el sentido del *Avant-Pays*), y que, más alto todavía, ha producido acaso hundimientos superficiales, arrastrados pronto por la erosión, de los cuales, por lo tanto, no tenemos confirmación experimental alguna.

En el plano, la forma de la cadena plegada presenta, por otra parte, sinuosidades producidas por la presencia de los macizos antiguos, sobre las cuales ya he insistido precedentemente, y las variaciones en forma ventruda y de nudos que se puede esperar de tal fenómeno, teniendo por consecuencia ulterior la división en macizos independientes, que es la característica de una cadena ya antigua, como la herciniana. Esta cadena plegada, ondula, se encurva en forma de U ó de S, se insinúa, serpentea entre los macizos antiguos, los contornea, se bifurca y luego reúne sus pliegues divergentes; algunas veces un pliegue sucede á otro, y hay, como suele decirse, relevamiento. En resumen, cuando se aproximan las extremidades, en el punto donde las mandíbulas se entreabren, se observa alguna cosa análoga en el espacio á la que ha debido pasar en el tiempo, en los comienzos del plegamiento, cuando la compresión no había alcanzado cierta inten-

sidad: el número de los pliegues disminuye poco á poco, los diversos eslabones desaparecen uno tras otro por extinción, hasta que no queda más que un último pliegue anticlinal.

Sobre la cadena así preparada es donde comienza en el acto el trabajo de erosión, como veremos bien pronto, dejándose sentir, obrando ya durante el plegamiento mismo, para demoler los salientes aún inestables á medida que tienden á producirse, y haciendo caer los sedimentos groseros en los sinclinales secundarios, aunque de modo más acentuado cuanto más fuerte es este saliente. Así debió ocurrir muy pronto en el período en que los Alpes actuales, y aun más en los Alpes tal como podemos imaginárnoslos en la época pliocena; período en el cual la cubierta de arrastre ha desaparecido en gran parte, por lo menos en el eje de la cadena y donde los plegamientos descubiertos sobre el suelo han determinado, por sus desplomes fáciles, por el desmoche de su erosión, los salientes accidentados, las puntas, los arrecifes que buscan con preferencia los alpinistas. Á este período corresponden hoy, y parecen haber correspondido también en las fases de plegamiento más antiguas, las manifestaciones glaciares, seguidas de grandes catástrofes torrenciales, que producen excavaciones intensas y un progreso rápido de las corrientes de agua hacia su perfil de equilibrio, aportes enormes sedimentarios hacia las llanuras próximas, y, por fin, el relleno de las depresiones accidentales situadas en la vecindad de la zona saliente.

Pero además de esta erosión superficial, de que vamos á hablar ahora, es preciso notar, en la cadena ya plegada y puesta al descubierto, la continuación posible de movimientos orogénicos, por los cuales ha sido impulsada á surgir.

En efecto: cuando se estudia, en su forma actual, una de nuestras grandes cadenas de montañas, se llega de todas maneras á la idea de que ésta representa una zona, aun hoy en día poco estable, de la corteza terrestre.

Por de pronto, se corrobora tal idea con la comprobación directa de los terremotos, que afectan muchas veces con una intensidad especial á semejantes cadenas plegadas, independientemente de todo volcanismo. Numerosos movimientos sísmicos, según las últimas observaciones, parecen haberse producido por una brusca desnivelación vertical que apenas se manifiesta en la superficie, habiendo podido preguntarse si en las cadenas recientes como los Alpes, las pequeñas sacudidas muy continuadas registradas por los sismógrafos, no correspondían quizá á una continuación profunda de accidentes mecánicos.

Se han comprobado también cerca de montañas, por ejemplo, en el Himalaya y el Cáucaso, variaciones singulares de la gravedad, que sin tener de ningún modo la generalidad que se las ha atribuído con frecuencia, y explicándose acaso por accidentes de fracturas tectónicas, corresponderían á un déficit de materia por debajo de estas montañas.

M. Suess había relacionado con estos fenó-

menos, y colocado en este momento en la vida de las montañas, un período de amontonamiento con grandes desplomes, sobre cuya acción y sobre cuya existencia misma se ha discutido largamente.

Con independencia de toda teoría, basta mirar una carta geográfica actual para comprobar que en la fase de existencia alcanzada por nuestras grandes cordilleras, desde el plioceno hasta ahora, todas están, por una causa ó por otra, acompañadas por líneas de fractura y fosas desplomadas, por zonas de debilitamiento, á lo largo de las cuales se alínean también los reboses volcánicos. El volcanismo no es, de ordinario, un accidente de la cadena plegada en sí misma, aunque el caso se produzca en los Andes (y se comprende, puesto que los pliegues suponen una compresión interna, más bien que la abertura de una cavidad para las expansiones volcánicas); pero la acompaña lateralmente. No debe olvidarse, pues, en la historia de estas cadenas, la intervención de aquellas materias fundidas ó refundidas, procedentes de las partes internas del globo, ó únicamente de zonas casi superficiales, sobre las cuales se habría operado el recalentamiento, y cuyas ascensiones por fracturas, expansiones superficiales en corrientes de lavas, y, por fin, las fumerolas metalizantes, constituyen los fenómenos estudiados en petrografía y en metalogenia. Es éste un punto sobre el cual hemos de volver al estudiar bien pronto la historia de una zona volcánica.

◦ Cuando, en vez de considerar las cadenas de edad terciaria, repasamos la historia de una cadena geológica anterior, por ejemplo, de la cadena herciniana, observamos en ella la huella de manifestaciones semejantes y correspondientes al mismo período, que igualmente se encuentran en las cadenas aun más antiguas, presentando idéntico carácter de generalidad.

También por este lado llegamos, pues, á la idea de que cuando la cadena ha surgido y fué presentada en la superficie, el trabajo interno no estaba de ningún modo concluído; la inestabilidad de la corteza que ha provocado la formación montañosa, sobrevive á su aparición, continuando en determinar amontonamientos ó rupturas.

Y, además, la historia geológica nos enseña directamente que las antiguas zonas plegadas del globo, cuando no fueron consolidadas por el metamorfismo y las inyecciones de rocas ígneas, han sufrido ulteriormente el efecto de plegamientos nuevos. Es la continuación completamente natural de los movimientos que formaron la primera cadena y que tenían, repítamoslo, una fragilidad especial.

Sin insistir sobre la posibilidad de plegamientos sucesivos en el mismo punto (1) queda, para terminar la historia de una cadena montañosa, por examinar (lo que podre-

(1) No hay apenas región geológica en que no se manifieste, cuando menos, la huella de dos plegamientos semejantes. En toda la Europa Central, los

mos hacer con facilidades especiales en la cadena herciniana) las condiciones en las cuales se realiza la obra de destrucción y de erosión, cuyo comienzo ya hemos visto.

Este trabajo, que tiene por efecto directo el transporte de sedimentos detríticos con elementos más ó menos groseros, puede ser estudiado sobre las acumulaciones de estos sedimentos, cuyas capas, superpuestas unas á otras, refieren cada una de ellas, como las hojas de un libro, una etapa de esta historia.

En el principio, durante el período de plegamiento mismo, encontramos numerosos indicios de una fase turbada, en la cual la montaña parece demolerse progresivamente muy pronto, al mismo tiempo que se forma y en la que sedimentos muy groseros, muy heterogéneos, poco movidos, mal redondeados, algunas veces de grandes dimensiones, se desploman antes de que hayan sido llevados en las cuencas laterales, cuyo fondo puede profundizarse al mismo tiempo. Que la montaña surja realmente ó que las llanuras vecinas se debiliten, hay, durante este período, cierta tendencia á la acentuación progresiva del relieve por los movimientos internos, produciendo la tendencia á la destrucción inmediata por las acciones superficiales. Pero el mar todavía no está forzosamente expulsado

principales movimientos en acción, con los cuales se relacionan todos los fenómenos de la tectónica, de la petrografía, de la metalogenia, son aquellos de las fases carboníferas (herciniana) y terciaria (alpina).

de todas partes de la zona geosinclinal y se pueden encontrar cerca de sedimentos turbados fluviales, lacustres ó glaciarios (como sucede en los terrenos llamados dinantienses de la Meseta Central), lagunas marinas fosilíferas ó aun arrecifes coralinos.

Cuando observamos, á lo largo de una cadena plegada, los depósitos correspondientes á esta primera fase, encontramos en ellos acumulaciones de productos groseros, conglomerados poco rodados, á los cuales se mezclan algunas veces proyecciones de cenizas volcánicas y expansiones de lavas. Comprobamos al propio tiempo que existían numerosos lagos en las asperezas de la cadena todavía desigual, y pudiendo recibir acumulaciones de vegetales, formando las primeras capas de combustibles. Un poco de hierro y de fósforo, arrancado á las rocas destruídas, comienza también á reprecipitarse, con ó sin la intervención de los organismos, en el estado de carbonato ó de pirita de hierro y de fosfato de cal en nódulos.

Después de lo cual, y una vez acabado el plegamiento principal, la erosión continúa su obra en forma bastante análoga á la de los comienzos, aunque poco á poco se tranquiliza.

La cubierta, bajo la cual se ha supuesto que se habían formado los pliegues, es destruída por de pronto en gran parte; las capas violentamente plegadas, que existían por debajo y que ya empiezan á aparecer, facilitan la erosión por su irregularidad de aspecto;

la Naturaleza trabaja en cierto modo en restablecer el equilibrio destruído, en poner en orden las cosas, en reclasificar metódicamente todos los materiales que han sido levantados en el aire ó arrastrados juntos. Y lo hace gracias á la acción intensa de sus aguas corrientes, de sus aguas actuando por la fuerza de la congelación, de sus aguas cargadas de principios químicos, por la gravedad, por las alternativas de calor y de frío, por el viento, etc., así como vemos hoy en día hacia el fin de un período de calma; es decir, que la erosión comienza—con una intensidad de que no es fácil darse cuenta exacta—por aplanar, por nivelar las asperezas, las rugosidades de la cadena precedente.

Esta erosión opera, digámoslo así, por golpes de garlopa sucesivos, quitando por de pronto enormes virutas; luego, á medida que el aplanamiento se realiza, produciendo incisiones cada vez más débiles, y poniendo así al descubierto poco á poco partes que se encontraban antes más profundas, que traducen por sus caracteres esta profundidad original. Y esto continúa con la misma intensidad en tanto que las pendientes no han sido suavizadas, en tanto que la erosión no ha hecho salir las capas profundas, endurecidas, consolidadas por el metamorfismo, como aquellas que forman en la actualidad una gran parte de las zonas de aspecto cristalino (de edad muy variable en realidad) en los Alpes.

Durante todo este tiempo, la destrucción,

frecuentemente acompañada de fenómenos glaciarios, produce conglomerados y asperones groseros, análogos á los del período precedente y acompañados también de idénticos depósitos de vegetales, con carbonato de hierro y fosfato, pero en los que se distingue bien pronto, cuando la erosión está bastante avanzada, la mezcla, cada vez más abundante, de fragmentos eruptivos, arrancados á los filones rocosos, á las intrusiones volcánicas, que ya se encuentran alcanzadas por el progreso de la destrucción.

A estos restos de rocas se añaden igualmente los productos de la demolición de los filones metalíferos conexos, especialmente las piritas de hierro, que constituyen siempre la mayor parte de estos filones. Por el acto de ser puestas en movimiento estas piritas en las aguas, por la disolución de las 7 á 8 por 100 de hierro que contienen en sí mismas las rocas mecánicamente pulverizadas y químicamente atacadas, llegan á encontrarse en disolución grandes cantidades de hierro; y este hierro, en aquellas aguas torrenciales, en medio de estos sedimentos groseros, depositados la mayor parte de las veces casi al aire libre, sometidos á las alternativas de desecamiento y crecidas, se deposita, en su mayor parte, en el estado de peróxido (desde luego quizá hidratado, después deshidratado lentamente por metamorfismo), resultando de ello esencialmente asperones rojos con fragmentos de rocas ígneas, ó en las partes sustraídas al contacto del aire, gravas piritosas.

Si continuamos en tomar nuestros términos de comparación en la cadena herciniana, es el período permiano el que sucede al período llamado estefaniano (ó fin del carbonífero). Al mismo tiempo, algunas manifestaciones volcánicas, cada vez más localizadas, pueden mezclar sus productos á la sedimentación.

Pero, poco á poco, la calma se restablece, el suelo resulta más estable, las asperosidades más fuertes de la cadena han sido erodadas y á lo largo de su saliente, hacia atrás sobre todo, sea por consecuencia de amontonamientos, sea por otra causa más general, tal como la del levantamiento progresivo de las aguas marinas por los sedimentos que se acumulan en ellas, el mar comienza á volver.

Un mar que invade transgresivamente una meseta emergida, lo hace al modo de una marea creciente, lanzando de cuando en cuando una ola enorme, seguida de otras más pequeñas. O bien la continuación de los plegamientos aísla una región de agua salada en el centro del país. En una como en otra de ambas causas se producen entonces, sobre toda la longitud de la cordillera, lagunas precarias, donde el agua salobre, privada de comunicaciones con el mar libre, comienza á evaporarse, al propio tiempo que se precipitan en ella más dulcemente los productos de la destrucción continua. Esta evaporación puede hacerse á intervalos irregulares, y puede ser interrumpida por alguna crecida que lleve á ella, con el agua dulce,

productos móviles para sedimentar. La evaporación no se verifica simultáneamente sobre toda la longitud de la cadena; pero los materiales que resultan de ella son siempre los mismos.

La concentración de las aguas salobres da en todas partes por de pronto yeso, después sal marina, y, por último, si puede ser llevada bastante lejos, sales alcalinas. Estas sales diversas se mezclan con las arcillas y los limos, sedimentos ordinarios del agua que se depositan tranquilamente. Además, si la destrucción de los filones metalíferos hubiera puesto en disolución en las aguas sulfatos metálicos, estos metales (cobre, hierro, accesoriamente níquel, cobalto, zinc, etc., etc.,) pueden reprecipitarse por una reducción al estado de sulfuros, especialmente si materias orgánicas, concentradas al mismo tiempo, han cargado las aguas de hidrocarburos, dando lugar á esquistos betuminosos y capaces de ejercer una acción reductiva.

Siempre en el caso elegido de la cadena herciniana, pasamos progresivamente de los caracteres permianos á los que marcan ya el triásico.

Tal estado de cosas se prolonga más ó menos tiempo; los productos metálicos desaparecen por de pronto en los sedimentos, salvo en el caso de volver á ellos si algún fenómeno de destrucción más acentuado pone en movimiento materiales nuevos. Luego el mar progresa lentamente sobre el suelo que aplana cada vez más; y comienza un período de

transgresión que se extiende á medida que la cadena se reduce, primero por algunos troncos, después en mesetas, y en seguida en una llanura, desapareciendo hasta un grado que apenas podemos imaginar, pero cuyo contraste se ve, no obstante, entre la Meseta Central, cadena alpestre carbonífera y nuestros Alpes actuales. Entonces se entra en el verdadero período de calma; sobre vastas regiones marinas, en que las aguas no aportan ya sedimentos detríticos, los organismos coralinos, aprovechándose del clima tropical, que ha dominado en Europa hasta el terciario, comienzan á construir en todas partes sus arrecifes. En lugar de los conglomerados, en lugar de las arcillas esquistosas con yeso y sal, se ve ahora dominar los calcáreos. Toda la cal, arrancada á las rocas de la cadena destruída (rocas que la contenían por término medio en 3,5 por 100), ha entrado en disolución; los organismos vivos la fijan en las aguas y la reprecipitan.

Tenemos, pues, durante la fase de la cadena que marca los tiempos secundarios, una serie de depósitos en los cuales dominan los calcáreos, con los légamos finos de los estuarios formando esquistos, y muy localmente, sobre la longitud de las playas, algunos depósitos de arena ó de conglomerados. En algunos recintos, sobre estas mismas cuestras, los organismos pueden determinar concentraciones fosfatadas. El período de perturbación ha marcado el relieve momentáneo de la cadena montañosa; ha concluído, al menos en la

región que acabamos de considerar. Un régimen tranquilo con relieve poco movido determina en ella una separación relativamente constante en zonas continentales emergidas, en las cuales los depósitos sedimentarios están entonces simplemente indicados por algunos productos de alteración superficial ó por algunas capas lacustres, y en zonas marinas, donde la fauna permite reconocer las partes litorales, las regiones de profundidad media y la alta mar.

En estas fases de calma sobre todo es donde se manifiesta una especie de intermitencia local para las contracciones internas, que se pueden atribuir á mareas determinadas por una causa astronómica, viendo en ellas por momentos los mares hincharse progresivamente, invadir vastos continentes aplanados, y entrar después con cierta brusquedad en fosas más restringidas. Sin embargo, no se debe de olvidar la posibilidad antes indicada que estos «ras de marea» tengan por causa lejana un movimiento de la superficie lejano, aunque fuese éste producido en los antípodas.

Esta fase de tranquilidad puede durar más ó menos tiempo, aunque es, sin duda, más larga de lo que parece, porque su historia, no estando ya accidentada por una serie de cataclismos, se desarrolla tranquilamente, sin que tengamos el medio de introducir en ella divisiones. Los propios sedimentos se acumulan lentamente en este período, puesto que no tienen grandes salientes que destruir ni materiales abundantes que transportar.

Luego, en un momento dado, cuando el equilibrio interior es destruído de nuevo, la creación de un nuevo «geosinclinal» puede ser provocada por la abertura de una grieta vertical ó por un hundimiento, produciendo la repetición de los fenómenos ya descritos, y pasamos de la fase herciniana á la fase alpina. Otra cadena nace y crece, con un poco menos libertad que la precedente, por la localización progresiva de que ya se ha hablado en el capítulo de la evolución. Una vez llegada á la madurez, envejece, se gasta y desaparece; es un ciclo más que hay que añadir á los que la Tierra misma debe realizar antes de concluir su evolución estructural, para entrar á su vez en el reposo eterno.

2.º Historia de una región volcánica.—La historia de una región volcánica se relaciona, por muchos aspectos, con la de una cadena de montañas que acabamos de estudiar, y por otros varios también con la de un mar que relataremos bien pronto: todos los fenómenos de la geología ejercen necesariamente un efecto de rechazo recíproco.

Para el que no ha estudiado esta ciencia, el fenómeno esencial de la eruptividad es el aparato exterior del volcán lanzando penachos de humo y proyecciones de rocas pulverizadas por su cráter, y esparciendo corrientes de lava por las hendiduras de su cono. La erupción parece constituir por sí sola todo el volcanismo; pero si se miran las cosas desde más cerca, se observa, por el

contrario, que esta formidable erupción no es más que una simple crisis enfermiza, generalmente corta, que la mayor parte del tiempo prosigue en la profundidad, y que si se suprimiera con el pensamiento este cono de algunos centenares de metros de altura con su cráter y sus corrientes de lava, veríamos subsistir la casi totalidad de las manifestaciones ígneas, acusadas desde fuera por el volcán. Este volcán exterior se levanta un momento, como un tumor que se hincha y desaparece muy pronto; pero el conjunto de reacciones internas, cuyo episodio crítico representa, continúa después como antes de él.

Se llega muy fácilmente á esta idea por una consideración de profundidad análoga á la que hemos indicado antes al hablar de las montañas, consideración que importa tener siempre presente en el espíritu cuando se considera un fenómeno cualquiera de tectónica, de petrografía ó de metalogenia. El papel de la erosión, que hace aparecer en la superficie, según la región, zonas que habían ocupado antes profundidades más ó menos considerables en la corteza, es absolutamente capital en geología, y no hay que olvidar nunca, cuando se estudia un punto de la superficie cualquiera, que este punto, además de su historia, ya muy complicada por los movimientos del suelo, además de sus levantamientos y de sus hundimientos, sus emergencias y sus inmersiones sucesivas, tiene muchas probabilidades para haberse encontrado, en la última fase de la historia geológica

después de los últimos sedimentos que en él se comprueban, recubierto por centenares ó por millares de metros de terrenos hoy en día desaparecidos.

De igual manera que una cadena de montañas, un centro volcánico tiene su historia, y esta historia se ha reproducido por recurrencias para zonas eruptivas de edades muy diferentes, en los diversos períodos sucesivos. Ha habido, pues, en la época primaria, como en la secundaria ó en la terciaria, una actividad eruptiva semejante á aquella cuyos rasgos superficiales observamos hoy mismo; pues si los síntomas parecen cambiar de una época á otra, no es tanto por una evolución general como antes se creía, sino porque los centros primarios volcánicos se nos manifiestan sobre secciones horizontales más profundas y los centros terciarios sobre secciones más altas. Teniendo en cuenta las circunstancias excepcionales que han podido conservar por casualidad la parte superior de un volcán primario en un trozo de terrenos antiguos desplomado, y que precisamente nos permiten entonces establecer aproximaciones con los volcanes terciarios, dejando á un lado, de igual modo, los volcanes terciarios más fuertemente erodados, en los que se puede seguir la transición á los casos más recientes, y tomando sólo, para cada período, un término medio, nos encontraremos autorizados á superponer los planos horizontales de zonas eruptivas primaria, secundaria y terciaria, para llegar, en resumidas

cuentas, á imaginar lo que puede existir en profundidad bajo el volcanismo actual y lo que la erosión pondrá más tarde al descubierto.

Las transiciones observadas, los casos excepcionales á los cuales acabo de hacer alusión, facilitan esta comparación, y, además, tenemos en el examen directo de las rocas cristalizadas por fusión, y en el estudio de su estructura, un medio aproximativo de apreciar su profundidad de cristalización; medio que, por sí mismo, no debe de ser considerado rigurosamente preciso, pues el tipo de una roca implica especialmente un conjunto de condiciones, realizadas de ordinario por la profundidad sola, pero que, combinado con los otros medios de determinación, puede ser tomado en cuenta.

Por todo un conjunto de consideraciones, que constituyen el objeto propio de la petrografía, se llega á la idea de que la fusión profunda de los elementos minerales, realizada sobre grandes extensiones en circunstancias de homogeneidad y calma perfectas, con un equilibrio completo de temperatura y de presión, determina la producción de rocas, teniendo los mismos minerales asociados en idéntica cantidad, la misma estructura y casi la misma composición, en que el granito representa vulgarmente el tipo más característico. Las rocas cuya estructura recuerda la del granito, constituyen para nosotros los productos más inferiores verticalmente de la eruptividad.

En la formación de una tal roca, entra ciertamente una gran parte de elementos arrancados á los sedimentos ó rocas anteriores y simplemente refundidas. La Naturaleza, en sus procedimientos de metalurgia interna, parece proceder con economía y reutilizar sin tregua los mismos elementos.

Un granito ha debido crearse su sitio en medio de los sedimentos que le cubrían, absorbiéndolos, y se encuentra, en efecto, constantemente en medio de él, especialmente cuando no aproximamos á su periferia elementos adventicios, restos de esquistos apenas recristalizados, que se pueden atribuir, si vale la frase, á una digestión incompleta. Por consecuencia, la naturaleza química de estos terrenos circundantes no puede dejar de influir sobre la composición del granito mismo. Además, se ha realizado, en estos crisoles internos donde se liquidificaban simultáneamente mezclas de óxidos metálicos diversos, separaciones, diferenciaciones y licuaciones análogas á las que es tan difícil evitar en la fabricación de nuestras aleaciones industriales, y tanto más fáciles de realizar aquí cuanto que intervenían en la masa fundida elementos gaseosos volátiles, vapor de agua y metaloides capaces de darle movilidad. Pero no parece que ni una simple refusión, ni una diferenciación de estos terrenos refundidos hayan podido ser suficientes para realizar nuestros diversos tipos de rocas profundas. En los productos de una simple refusión, habría faltado lo que carac-

teriza, en suma, las rocas cristalinas, esto es, los álcalis; estos álcalis, en el trabajo de destrucción que producen los sedimentos son, en efecto, puestos en disolución y van á perderse en el mar; finalmente, los sedimentos apenas los contienen ya; luego la actividad eruptiva parece implicar un aporte interno de álcalis, y parece acusar igualmente la intervención de elementos volátiles adventicios, como el cloro, el azufre y el carbono.

Los actualistas exagerados han querido sus traerse á esta conclusión, observando que si los terrenos mismos encierran pocos álcalis, cloro y azufre, las rocas cristalinas sometidas con ellos á la refusión, pueden habérselos facilitado; de igual modo que han pretendido explicar esta refusión misma por una simple elevación de la temperatura profunda, resultante de la sedimentación superficial. Pero ya dejo indicadas todas las razones que me hacen creer en un enfriamiento progresivo de la Tierra, ya manifestado también por el aumento de temperatura cuando se penetra en su interior, y desde luego por el influjo constante de calorías hacia la superficie; no viendo ninguna dificultad en suponer la persistencia de uno ó de muchos hogares internos, determinando presiones por su propio calor y produciendo ascensiones accidentales de elementos originados en una zona profunda, tales como los álcalis, los metaloides y especialmente los metales raros. Las masas enormes de rocas eruptivas cristalizadas en todas las épocas de la historia, las corrientes

tan continuas de reboses volcánicos en actividad aun hoy mismo, demuestran la gran extensión, ya que no la generalidad de estos hogares ígneos internos.

Cuando se examina sobre una zona de plegamiento antigua y, por consecuencia, sobre un corte profundo, la repartición horizontal de estos granitos, que no han llegado á la superficie más que por una larga erosión consecutiva, se les ve penetrar en los plegamientos de los terrenos circundantes que antes habían formado su cubierta ó su capa, localizándose con preferencia en sus bóvedas «anticlinales». Se recibe, pues, la impresión de un «magma» liquidificado, que se habría introducido por presión continua y sin accidente violento en las zonas plegadas, á medida de su plegamiento mismo, y penetrando sobre todo en los salientes, acentuando por un efecto de disolución los vacíos que el plegamiento hubiera podido producir en ellas. Nosotros colocaríamos de buen grado la cristalización de estos «magmas» graníticos en la propia base de las cadenas plegadas; su presencia por debajo del «geosinclinal» originario, resultaría así muy natural, puesto que hemos sido llevados por la tectónica á admitir bajo éste una liquefacción, una fusión producida por ahondamiento del «geosinclinal» con los plegamientos y las sedimentaciones correspondientes. Este granito profundo ha podido, desde luego, contribuir á crear lo que yo llamaré una atmósfera de metamorfismo, determinando en toda la base

de la cadena plegada, por circulación de aguas alcalinas bajo presión, la recristalización de sedimentos, con los aspectos diversos á que damos distintos nombres, según que el aporte alcalino haya sido más ó menos pronunciado y se haya producido más ó menos inmediatamente sobre un sedimento cuya propia naturaleza podía variar.

Cuando, partiendo de estas rocas profundas, en las que el granito representa únicamente el tipo más conocido, se consideran las rocas cuyos caracteres cristalinos implican menos homogeneidad, menos presión y menos profundidad, se las ve á la vez localizarse más y adquirir caracteres más particulares. Las masas intrusivas de estas rocas menos profundas se aislan en vetas, en filones, infiltrándose en las hendiduras, introduciéndose en las articulaciones de los sedimentos; pero ya no se verifican cuando se trata de rocas á las cuales se da el nombre de granulitas, microgranulitas, porfiros, porfiritos, etc., estas bellas cristalizaciones tranquilas y homogéneas en grandes masas que encontramos para el granito, la sienita, etc., sino en tipos cada vez más análogos á los que podemos observar directamente sobre los flancos de un volcán recientemente apagado, cuando una trinchera natural pone al descubierto las chimeneas de ascensión por las cuales los magmas fundidos han tratado de elevarse hacia el nivel del suelo. Naturalmente, cuanto más se aproximaban á la superficie, más debió disminuir la presión y más debió tam-

bién de establecerse una selección entre los elementos fundidos, pudiendo únicamente llegar á la altura los más solubles, mientras que los más refractarios eran detenidos abajo por la cristalización. Así se llega progresivamente á las rocas fusibles, que lanzadas hasta los reboses volcánicos, han circulado por la superficie del globo en corrientes de lava.

Por último, ya sea en los volcanes de los períodos terciarios que se pueden estudiar en el Oeste americano y en Méjico, ya en los volcanes recientemente apagados y aun casi intactos, como los de la Meseta Central, ó ya, en suma, en los volcanes en actividad, todos ellos nos muestran la forma superficial de un fenómeno, que en su origen primero ha sido siempre la misma. Bajo la presión interna, una explosión parece haber hecho saltar la superficie en forma de chimenea, situada en la intersección de una hendidura principal, surcada por los alineamientos de diversos volcanes; pero sin que esta hendidura principal se manifieste en la superficie, al menos en el estado de desnivelación. La existencia de esta chimenea eruptiva se traduce, á grandes profundidades, por una formación eruptiva, cuya muestra nos la manifiestan las columnas diamantíferas del Cabo; cerca de la superficie por estas vetas basálticas, donde algunas veces se han encontrado tan curiosas cristalizaciones auríferas como las de Cripple Creek en el Colorado; en fin, sobre el suelo mismo, por los cráteres de explosión

de Auvernia ó de Eifel. Por esta chimenea, la consecuencia de la explosión ha lanzado fuera, con torrentes de vapor de agua, cenizas pulverizadas que se acumulan alrededor de ella en un cono; después las rocas fundidas se elevan en éste cono abriéndose lateralmente orificios á alturas variables y arrojando por ellas torrentes de lavas. Tal es el fenómeno volcánico que todo el mundo conoce.

Pero de igual manera que cualquier otro elemento terrestre, un volcán no es eterno; después de algunos períodos sucesivos de erupción y de sueño acaba por apagarse y en el acto comienza la erosión á destruirle, con tanta mayor facilidad, cuanto menor fortaleza ofrecen sus materiales cenicientos. Se ve, pues, aparecer sobre el suelo su aparato interno y las raíces de sus corrientes. Luego éstas son poco á poco desmanteladas, divididas en troncos; pero como tienen de ordinario una dureza superior á la de los terrenos sobre los cuales han circulado, resisten más largo tiempo; se encuentran entonces bien pronto sobre las altas mesetas estas corrientes de basalto ó de andesita que habían comenzado por extenderse en los valles, mientras que valles constituídos por erosiones nuevas más profundas se hunden entre las corrientes. Después de esto, los últimos troncos de estas lavas desaparecen, y la superficie no ofrece ya más que vetas ó filones intrusivos. (Tal es el caso general en la cadena herciniana.) Por último, prosiguiendo la ero-

sión su labor, estas mismas vetas acaban por desaparecer, á menos de que no ocurra un caso de conservación excepcional, análogo al que la historia nos ofrece con Pompeya, y se ven solamente (como en los macizos precambrianos) núcleos graníticos y terrenos metamórficos. Añadamos que á esta misma profundidad el aspecto variable de estos granitos puede caracterizar ciertas secciones horizontales superpuestas.

Como se habrá observado, en la exposición precedente, he indicado de pasada que los reboses volcánicos presentaban, con relación á los núcleos graníticos mucho más extensos y más profundos, una localización lateral y superficial, sin decir de qué manera se había producido históricamente esta localización. Las relaciones de ésta, tanto con el plegamiento montañoso como con las formaciones marinas, merecen aún ser consideradas rápidamente, ya por su interés propio, ya por la transición que parecen facilitar entre los fenómenos de plegamiento, característicos de las cadenas montañosas y los hundimientos, cuyo papel parece, por el contrario, cada vez más considerable en las recientes desnivelaciones marinas de que hemos de hablar muy pronto.

Si pasamos á este nuevo orden de ideas, se puede admitir, en resumen, que todas las manifestaciones petrográficas resultan de movimientos dinámicos, por consecuencia de los cuales las partes flúidas internas han sido empujadas é inyectadas en los vacíos más

ó menos grandes de la corteza, para cristalizarse en ella á cierta profundidad ó llegar á derramarse suavemente sobre el suelo. Luego es natural admitir una relación entre las avenidas eruptivas y los movimientos del suelo, que por sí solos tuvieron que producir cambios marinos. Cuando se trata de precisar esta relación é indagar cuáles tipos de dislocaciones son propicios á los cambios de los «magmas» ígneos, hay necesidad de tomar como punto de partida el estudio del volcanismo actual, que representa, repito, una forma á la vez superficial y localizada del fenómeno. Las numerosas correlaciones establecidas entre los volcanes de un mismo alineamiento, de una misma corriente, conducen á imaginar que si las perforaciones superficiales, por donde la actividad interna se derrama, nos parecen aisladas unas de otras, existe, no obstante, entre ellas un lazo profundo, quizá bajo la forma de una misma «lenteja» en ignición, y que se encontraría ésta cristalizada con un tipo granítico, si se pudiera hacer una sección horizontal á una profundidad suficiente.

Evidentemente semejantes dislocaciones, por las cuales las rocas flúidas de la profundidad suben á la superficie, deben de señalar signos de hundimiento importantes y profundos de la corteza, y esta importancia, esta profundidad, aparecen tanto mejor cuanto que se pueden ver ciertos de estos accidentes señalarse, casi de un extremo á otro, sobre los dos bordes convergentes del Pací-

fico, marchar de Siria á los grandes lagos africanos (eje eritreo), seguir el eje del Atlántico, ó en menor escala, contornear una gran parte del Mediterráneo Occidental.

Cuando se examina entonces cuáles son las zonas geológicas así bordeadas por arrastres volcánicos, con el objeto de establecer, como nos proponemos, la relación de la tectónica con la petrografía, se cree ver que éstas son, la mayor parte de las veces, zonas recientemente desplomadas, y que el eje volcánico acompaña, á débil distancia, un plano de fractura, según el cual se ha producido una desnivelación considerable entre un compartimento de la corteza plegado y vuelto á levantar y otro desaparecido debilitándose bajo el mar. Se puede, por lo tanto, suponer, de acuerdo con M. Suess, que ha sido la presión misma del compartimento debilitado la que ha determinado la ascensión de las rocas eruptivas por las hendiduras ó los reboses circulares abiertos á lo largo de su borde; y se concibe con cuál fuerza, teniendo en cuenta que ciertos cráteres volcánicos sobre la periferia del Pacífico alcanzan 600 metros de altura.

Encontrándose así directamente los reboses volcánicos conexos con hundimientos y rupturas de plano vertical, nos vemos llevados, por consecuencia, á suponer que se han producido históricamente en las diversas fases en que hemos supuesto también accidentes semejantes; ya sea quizás en el origen del «geosinclinal» siguiendo la fractura prelimi-

nar que ha podido darle nacimiento, ya, según los plegamientos, sobre las zonas laterales de las cadenas plegadas, alrededor de todas las fosas elípticas ó arqueadas hundidas en los últimos ramales de la misma cadena, hacia su *Arrière-Pays* y en medio de su *Avant-Pays* dislocado.

Es natural que la zona del eje de la cadena plegada, habiendo sufrido el *máximum* de compresión tangencial, se haya prestado difícilmente á semejantes cambios de profundidad, y que éstos, por el contrario, se hayan visto rechazados dentro de las zonas de descompresión indicadas por los hundimientos. Aún se puede añadir que en la historia de una cadena plegada, el desarrollo violento de las manifestaciones eruptivas, pudiendo llegar hasta la superficie, representa un episodio harto momentáneo. Basta para darse cuenta de ello con comparar la enorme extensión de los centros volcánicos á la terminación de los principales plegamientos alpinos con los débiles restos de actividad superficial que todavía subsisten. Las fases de calma definitiva, cuya existencia hemos creído reconocer en la historia estructural de la Tierra, han debido ser también fases de reposo absoluto para el volcanismo.

Para concluir, habiendo fácilmente arrastrado en pos de sí los hundimientos marinos un aflujo de las aguas marinas hacia sus cavidades, se explica también, por este solo hecho, que las principales líneas de reboses volcánicos, determinadas por estos acciden-

tes, hayan sido siempre encontradas sobre las riberas de carácter hundido, sin que sea preciso deducir de ello una relación (muy posible, además) entre las violencias de las explosiones volcánicas con producción de proyecciones de vapor de agua y de fumeolas cloruradas y sulfuradas y la introducción profunda de las aguas hasta las rocas en ignición.

3.º Historia de un mar.—La formación de las zonas deprimidas que ocupan nuestros océanos, puede tener muchas causas, y no hay evidentemente en ellas ninguna relación que establecer entre el caso de estas llanuras submarinas apenas sumergidas, que prolongan los continentes por transiciones insensibles y las bruscas desnivelaciones de 6 á 9.000 metros que se encuentran de pronto á lo largo de una costa volcánica en el Océano Pacífico. La línea de demarcación entre los mares y las tierras, que desempeña un papel esencial en nuestras cartas geográficas y á la cual nos inclinamos á atribuir en consecuencia un carácter absoluto, no representa, en realidad, más que una línea de nivel cualquiera en el relieve de la Tierra; una línea que se encontraría singularmente modificada por el pasaje de regiones enteras, ya sea en el mar, ya en la tierra firme, si se levantara ó se bajara en algunas decenas de metros el nivel general de los océanos.

El estudio de la geología revela probablemente muchas variaciones de este género,

que de un modo sucesivo han hecho emerger ó sumergir tales ó cuales países por efecto de movimientos relativos, quizás muy débiles en los compartimentos de la corteza, ó por hinchamientos marinos más generales, debidos á atracciones lejanas y análogas á los de las mareas que examinaremos en seguida (1). Pero existen cuencas marinas muy profundas, en las cuales se pregunta uno si el mar ha permanecido siempre, y cuyo fondo sería muy útil explorar para ver si se encuentra ó no se encuentra en él alguna huella de una antigua emersión continental. Otros mares, en fin, parecen aún ser verdaderos hundimientos más ó menos próximos, por consecuencia de los cuales todo un bloque terrestre ha debido hundirse bruscamente bajo las aguas (2). La primera categoría de movimientos no tiene, sin duda alguna, más que una influencia secundaria en la evolución estructural del globo; pero repre-

(1) Se ha hecho la observación curiosa de que ninguno de los sedimentos representados en nuestros terrenos parece corresponder á un verdadero depósito de gran profundidad, y se ha pretendido deducir de ello, á pesar de una infinidad de hechos contradictorios, que los cambios de los mares han debido ser muy restringidos.

(2) Las grandes variaciones de relieve en ciertos mares, cuando no son debidas á hundimientos recientes, podrían ser consideradas como deformaciones estructurales, que contrastan con el carácter de llanura hacia el cual tienden, pues, poco á poco, los continentes. Es forzoso, por lo menos, que estas partes hayan sido sumergidas antes de ser aplanadas.

senta un papel esencial en todos nuestros estudios de estratigrafía práctica, puesto que la geología en definitiva está fundada sobre el estudio de los sedimentos marinos hoy día incorporados en los continentes. El segundo grupo de fosas marinas, que nos inclinamos á juzgar constantes, tendría, si esta constancia se encontrase demostrada, un interés de primer orden, toda vez que nos revelaría la existencia de accidentes completamente primordiales; entretanto, estando reducidos todos nuestros conocimientos sobre el fondo real de estos mares á muy poca cosa, constituyen el gran punto de interrogación irritante de nuestras cartas paleo-geográficas. En suma, la existencia de las fosas de hundimiento y de sus modificaciones se relaciona, por un lazo estrecho, con todas las cuestiones de tectónica, de petrografía y de metalogenia, puesto que ellas pueden marcar una fase decisiva en la creación de los «geosinclinales» ó en el fraccionamiento de las cadenas montañosas, y que en todo caso sus accidentes centrales ó marginales están señalados por manifestaciones eruptivas, con las cuales las cristalizaciones de minerales metalíferos tienen casi una relación cierta.

Dejando á un lado mares, como el Báltico ó la bahía de Hudson, que sólo constituyen la sucesión directa y la inflexión ligera de los continentes, ó aquellos otros como el de la Mancha, que se asemejan á valles de erosión, podemos examinar tres ejemplos principales: el Océano Pacífico, el Océano Atlántico y el

Mediterráneo; representando el primero un mar muy antiguo quizá, con forma determinada por los plegamientos; el segundo, un inmenso hundimiento relativamente reciente; y el tercero, un surco, aproximativamente marcado por los primeros plegamientos del globo, aunque habiendo tenido una historia muy complicada por los avances, los retrocesos, los desplazamientos de las aguas y, en último lugar, por hundimientos en óvalos de cinturón volcánico.

La distinción entre el tipo Pacífico y el tipo Atlántico es clásica en geología desde los trabajos de M. Suess. En el primer caso, tenemos un mar contorneado por plegamientos que determinan su forma. Estas arrugas, en su mayor parte recientes, son paralelas á la ribera, como si hubiesen sido detenidas en este sentido por un *Avant-Pays* macizo oculto bajo las aguas; el mar que le sucede se ahonda bruscamente de pronto en un surco costero paralelo, cuya profundidad puede llegar hasta 8.500 metros, y al mismo tiempo le sigue, en los continentes, á corta distancia de la ribera, una larga línea dilatada de ruptura, con reboses volcánicos, que se pueden comparar con un círculo de fuego: zona dilatada, puesto que abre paso á materias en ignición.

Por el contrario, el Atlántico se ahonda de un golpe en medio de terrenos plegados, cuyas costas están cortadas en todas direcciones, y este carácter, que parece implicar uno ó muchos hundimientos independientes de los

plegamientos, no corresponde á ninguna especie de volcanes, ni antiguos ni modernos, sobre las riberas. La ruptura de estas riberas debe de haber ido acompañada de una compresión. Ciertó que hay volcanes en el Atlántico; pero ocupan su eje, bajo la forma de una cadena de islotes muy discontinua que pueden unir volcanes submarinos, á los cuales se ha pretendido atribuir ciertos fenómenos aún misteriosos, como la repentina llegada de olas del fondo sobre nuestras costas.

El Océano Pacífico tiene, pues, cualquiera que sea su edad, una forma determinada por los plegamientos, y el Océano Atlántico, un aspecto producido por los hundimientos; en el primer caso, las rupturas con dilatación, propias de los reboses volcánicos, son periféricas; en el segundo caso son ejiales.

Según una observación anterior, habiendo sido bosquejada muy pronto la dirección general de los plegamientos sobre el globo, se explica cómo puede ser el Pacífico un mar muy antiguo, y cómo en todo caso, la dirección de sus costas ha sido dibujada desde el comienzo de los tiempos primarios, al menos para las islas y más tarde para el «geosinclinal» origen de las montañas Pedregosas y de los Andes. Hemos visto, por el contrario, que los hundimientos Norte-Sur, de los que el Atlántico constituye un ejemplo, han aparecido muy recientemente en la historia del globo: el Atlántico es un mar nuevo, del cual las antiguas cartas paleo-geográficas no muestran durante largo tiempo ningún indicio,

acusando en todos respectos la conexión directa del Brasil con el Africa del Sur, como del «Escudo» canadiense con su homólogo, el «Escudo» escandinavo (1).

Si, conforme este pasado, tratamos de imaginar el porvenir de estos dos mares, se puede concebir alrededor de todo el Pacífico la formación de nuevas cadenas plegadas viniendo á añadirse poco á poco á los continentes y prosiguiendo, según la misma ley, el movimiento de plegamiento tan antiguamente bosquejado, mientras que puede producirse un día, en el eje del Atlántico, un «geosinclinal» llamado á transformarse ulteriormente en una cadena plegada, como el Ural sobre el conjunto de los pliegues europeos.

El Mediterráneo representa un caso más restringido, y mucho más fácil de seguir históricamente, de depresión marina en relación con los plegamientos primitivos del globo como el Pacífico; pero mientras que para este último vemos únicamente dos cadenas costeras, separadas por inmensas extensiones de mares de fondo desconocido, en los cuales nos hallamos reducidos á preguntarnos si oculta pliegues antiguos consolidados ó una zona reservada para pliegues futuros, el surco mediterráneo, muy estrecho, es bien conocido y se pueden seguir sus desplazamientos durante toda la historia geológica.

(1) Véase *Science géologique*, pág. 256, la historia más detallada de este debilitamiento Atlántico.

Ya he dicho algo, en el capítulo precedente, de este antiquísimo surco *mesogense*, que desde la época cambriana (piso 2), es decir, desde el comienzo de los terrenos con restos orgánicos conservados, aparece sobre las cartas paleo-geográficas, para perpetuarse con algunas variaciones de escasa importancia, hasta nuestros días, y aún he indicado entonces cómo el simple rechazo de los macizos polares contra los macizos ecuatoriales, por la contracción terrestre, podía ser suficiente para explicar esta zona de depresión tan característica, cuyas sinuosidades oscilan alrededor del 30 paralelo, así como el rodete ecuatorial al cual estuvo largo tiempo adosada. Nos basta ahora con hacer notar que este mar interior cambriano sigue ya, de una manera chocante, al través de Europa y Asia, la zona futura de las cadenas Alpe-Himalayanas, marcando de este modo su conexidad con un régimen de plegamientos destinado á prevalecer después, viéndosele reunir España, Francia, Suiza, la zona carpática, el Cáucaso y el Himalaya, para continuarse, por una parte, hacia el golfo de Méjico, y por otra hacia el Japón.

En la época carbonífera, durante el dinantiense (piso 11), las condiciones siguen siendo aproximadamente las mismas, con variaciones de algunos grados en latitud, á las cuales es natural extenderse; las dos extremidades del mar interior hacia el golfo de Méjico y hacia Birmania apenas han cambiado; pero el levantamiento de la cadena her-

ciniana en la Europa Central ha hecho retroceder el eje marino casi paralelamente á sí mismo, hacia el Sur de Marruecos y de Argelia, y después en la Turquía asiática.

Más tarde, sobre este mismo surco es donde se encuentra la «Tetis» triásica, la «Mesogea» tropical de los tiempos cretáceos, donde se perpetúan y de donde parten las faunas de los mares calientes.

Por último, en el comienzo del terciario durante el luteciense (piso 44), el eje marino, partiendo de las Antillas y recortando España al Norte de Granada, enfila casi el eje del Mediterráneo actual.

Y esta división no marca solamente un límite geográfico, sino que separa dos masas continentales, cuya evolución ha sido sin cesar diferente, hasta el momento en que la abertura de las fosas atlánticas Norte-Sur ha venido á establecer entre ellas algunas comunicaciones.

La época terciaria, durante la cual se han producido (precisamente en la zona que para un geólogo se relaciona con el Mediterráneo) tantos levantamientos montañosos, cuyo papel en el relieve actual sigue siendo preponderante, han causado también en el aspecto de las fosas mediterráneas, cambios incesantes; su historia completa, difícil de seguir sin una serie de cartas detalladas (1), y sin un

(1) Véase para ello las cartas de Lapparent, *Traité de Géologie*, 5.^a edición, 1906, páginas 1526, 1547, 1616, 1626 y 1633. Se me perdonará que emplee aquí algunos

conocimiento preciso de los términos geológicos no presentarían más que un interés secundario para nuestro propósito. Me bastará poner de relieve algunos rasgos generales.

Antes del levantamiento de los Alpes y de las cadenas solidarias suyas, Pirineos, Apeninos, Cárpatos, etc., la extensión del Mediterráneo era enorme; además del emplazamiento del mar que en la actualidad lleva este nombre, cubría, en la época luteciense (piso 44), Andalucía, los Pirineos con la cuenca del Garona, Italia, Iliria y Grecia, la cuenca de Viena y la cuenca rumana, todo el Sur de Rusia, la Turquía asiática, Persia, etc.

Desde la época siguiente (bartoniense, 45), los Pirineos comienzan á plegarse y emergen á partir del ludiense (46), mientras que el brazo de mar que unía antes el golfo de Gascuña con el Mediterráneo, se reduce, del lado del Atlántico, á una larga laguna salobre destinada á desecarse poco á poco.

Luego el Oligoceno (47) señala, en las nuevas concepciones de los tectónicos, la época en que simultáneamente habrían surgido los Pirineos y se habrían formado, sin salientes exteriores bien marcados, los empilamientos profundos de las capas prealpinas, destinadas solamente á surgir más tarde, después del tortoniense (51). Durante este período, se

nombres de pisos geológicos; el número que va unido á ellos permite reconocer en seguida su lugar en la serie cronológica, por medio del cuadro inserto al final de este volumen.

comprueba en Francia la presencia de aguas marinas ó saladas en un cierto número de fosas ahondadas paralelamente á los pliegues futuros de los Alpes; un largo surco marino, que se ha formado un poco después siguiendo el eje de los Alpes, une el golfo de Génova con la cuenca de Viena, mientras que al Mediterráneo actual se añaden siempre Italia, Sicilia, Iliria, Albania y Grecia.

En este surco se depositan bien pronto, por el desmantelamiento inmediato de las primeras arrugas nacientes, sedimentos bastante particulares de asperón, de arcillas ó algunas veces pudingas muy ricas en algas, análogas á las de los depósitos de las lagunas carboníferas, formadas en las mismas condiciones antes de la cadena hereiniana, y á las cuales se ha dado el nombre de *Flisch*.

Pero con la época miocena, el movimiento alpino comienza á revelarse hacia fuera bajo la forma de arrugas, y el gran cambio que produce en la Europa meridional, se traduce por la emersión de regiones que estamos acostumbrados á considerar como continentales, con la retirada correlativa del mar.

Por esta razón, en medio del mioceno, al fin del helvético (50), existe ya la arruga alpina, con un ramal hacia los Apeninos y otro hacia los Alpes ilíricos y Grecia; los Balkanes, los Cárpatos y el Cáucaso emergen y la mayor diferencia con la forma actual de los continentes estriba en la existencia de una gran cuenca marina sobre la región de Viena y Hungría en comunicación con el mar Ne-

gro, así como en la inmersión de Lombardía y de la baja Italia.

Independientemente de toda noción correlativa sobre la historia de los Alpes, bastaría con examinar los depósitos de este período helvético (50) á lo largo de aquella cordillera, para recibir la impresión de asistir á la evaporación de un mar. Por todas partes, en este momento, se deposita una arcilla siempre semejante, de un gris azulado, un poco micácea, poco plástica, conteniendo numerosos fragmentos de sal, y aun en ciertos puntos, como en Kalusz, sales alcalinas, que demuestran ya una evaporación muy avanzada. Es lo que se llama el *Schlier*.

Bien pronto, sobre la parte superior de éste, saturado de yeso y de sal, aparecen, en Austria baja, plantas terrestres, indicio cierto de un continente emergido, hasta el instante en que una nueva incursión marina, característica de la que se ha llamado la fase *Aral-caspiana* (53), invadirá las regiones de Rumanía y de la baja Austria, partiendo del Caspio y del mar Negro, para evaporarse á su vez en una fase de retroceso, que bajo nuestros mismos ojos acaba de realizarse en la zona del mar Caspio.

Después de lo cual, los últimos pisos miocenos (52 y 53) veían producirse en Europa un desecamiento singular. Antes del levantamiento alpino, durante el luteciense, por ejemplo (44), ó el Oligoceno (47), el mar estaba casi en todas partes de Europa; ahora ya no está en ninguna, por decirlo así: nues-

tro Mediterráneo, tan constante hasta entonces, parece próximo á desaparecer por evaporación. En la época Sarmatiense (52) subsisten solamente dos grandes lagunas saladas: la una ligando á Andalucía con la punta Oeste de Cerdeña; cubriendo la otra una parte de Italia y de Sicilia y dirigiéndose hacia Egipto. Otra inmensa laguna une la cuenca de Viena á la del Caspio; pero el mar Egeo está seco lo mismo que la mayor parte del Adriático, y para marchar de Génova á Túnez por Córcega y Cerdeña apenas si se encuentra al Norte de Africa una estrecha laguna.

En conclusión, cuando el plioceno (54 á 56) comienza, se produce, en la geografía mediterránea, un cambio cuyas consecuencias son considerables para la fauna marina. Entramos ya claramente en la fase de demolición de los salientes alpinos, en el período donde los hundimientos se acentúan.

Primero es el desplome de la barrera elevada durante el tortoniense (51) al través del estrecho de Gibraltar, sobre el punto de unión de los pliegues béticos con los de Marruecos y Argelia. El Atlántico, un momento separado del Mediterráneo, vuelve á unirse con él, trayendo una fauna más fría, aunque haciendo, en cambio, al clima de Europa meridional más solidario del clima africano. Luego otro hundimiento hace desaparecer la extremidad Este del Atlas y avanzar el mar hasta la isla de Cos, y después, casi en el momento mismo en que el hombre aparece sobre la Tierra, el mar Egeo se hunde á su vez.

En lo sucesivo el Mediterráneo adquiere su forma actual, salvo algunos toques locales, en relación posible con la inestabilidad subsistente en el subsuelo, que marca, por otra parte, la actividad volcánica; su historia no está aún terminada (pues le quedan en lo porvenir otros muchos ciclos que recorrer); pero, al menos, he llegado hasta el punto que puede sernos conocida por hechos de observación y sin arriesgar hipótesis sobre su desarrollo futuro.

Movimientos generales de los mares.—En todo cuanto precede hemos examinado principalmente estos cambios de los mares que se pueden considerar como relacionados con una transformación más ó menos lejana, más ó menos general, de la estructura terrestre, y hemos pasado por alto una categoría de movimientos marinos muy interesantes en los cuales se ha creído advertir una especie de ritmo propio, de flujo y reflujo, análogo al de las mareas é independiente además de toda deformación estructural. La existencia de tales movimientos generales, afirmada con verdadera fe por algunos geólogos eminentes, es muy discutida por la mayoría de los demás. Hubo ante todo que abandonar la idea, muy natural, de una evaporación progresiva en los mares produciendo una emersión progresiva de los continentes; la persistencia sobre ciertas costas desde el triásico hasta nuestros días, basta, en unión de los cambios completamente independientes de las regiones ve-

cinas, para contradecir semejante hipótesis. Las mismas observaciones parecen igualmente opuestas á la idea de las grandes desnivelaciones generales por la creación de fosas nuevas desplomadas; pero pueden conciliarse perfectamente con mareas periódicas, produciendo como resultado el atraer la masa de los océanos, tan pronto hacia una parte de la Tierra, tan pronto hacia la otra, y originando, por consecuencia, sobre la misma región, «transgresiones» y «regresiones» sucesivas de extensión, de intensidad y, aun en épocas, variables, según los puntos y según los tiempos, como nuestras mareas cotidianas á lo largo de las costas. Quizá en este orden de ideas se podrá obtener algún resultado.

Rítmica ó no, causada por una influencia astronómica ó por simples cambios de estructura, el balanceo de los mares en la superficie de nuestros continentes es un hecho incontestable, cuya huella llevan impresa todos los sedimentos estudiados por nuestra estratigrafía. La superposición de terrenos amontonados en corte vertical sobre un punto cualquiera y atravesados por un sondaje, por ejemplo, muestran desde luego que ha habido en ellos alternativamente continentes, lagunas bajas, mares de más de mil metros de altura, después nuevos estuarios fangosos, costas arenosas, continentes emergidos y aun mares profundos. Algunos de estos casos de desplazamientos marinos son muy locales; el mar avanza y retrocede en un rincón del país; otros, mucho más generales, deben re-

lacionarse, como hemos visto, con los grandes plegamientos montañosos, ó quizá, como acabo de indicar, á un fenómeno de ciclo periódico. Estos últimos no tienen seguramente ni la generalidad ni el sincronismo absolutos que se les había atribuído otras veces de una manera completamente inverosímil; pero su zona de extensión es, sin embargo, bastante considerable para que los períodos de altos y bajos mares, en que su sentido ha cambiado, acusen fases características en nuestra cronología geológica.

Vemos, por ejemplo, en Europa, el mar devoniano (5) desbordar en todos sentidos y después retroceder la marea durante el carbonífero (11). Este mar baja en el comienzo del permiano (14), asciende durante el triásico (17), llega á su apogeo hacia el medio del jurásico (21), y vuelve á descender durante el jurásico superior. El principio del cretáceo comienza con un nuevo período de flujo que se desarrolla durante el albiense (35), llega á su *máximum* durante el cenomaniense (36), y desciende hasta el terciario (41).

A cada una de estas mareas corresponden, naturalmente, cambios en la fauna marina. Esto es, seres nuevos aportados por el mar ascendente, y especies desaparecidas cuando la marea baja las deja en seco en los continentes.

Lo difícil es separar entre estos desplazamientos, aquellos que podrían tener un carácter independiente de los cambios de es-

tructura, y sobre los cuales se tendría el derecho de fundarse para establecer evaluaciones en años con algún fenómeno exterior á nuestro globo. Esto facilitaría sobre la tectónica de la Tierra, nociones que estamos muy lejos de poseer aún. El conjunto de los mares ha debido necesariamente acusar una solidaridad general durante movimientos como los que han hecho surgir de las aguas los Alpes y el Himalaya ó hecho pasar sobre antiguos continentes el mar de las Indias y el Atlántico.

CAPÍTULO VII

HISTORIA DE LOS CLIMAS

LAS VARIACIONES FÍSICAS Y ASTRONÓMICAS

Temperatura de la Tierra y del Sol, volumen y salubridad de los mares, magnetismo, cambios en la velocidad de rotación, la posición del eje, etc...—Conclusiones relativas al pasado de la Tierra.—Ensayos de evaluación en años.

Hemos estudiado hasta ahora la historia de la estructura terrestre y de sus deformaciones que arrastran, de rechazo, cambios en la distribución y en el aspecto de los mares. He procurado, al hacerlo, mostrar la aplicación de los dos grandes principios que dominan el mundo físico, la evolución y la recurrencia, y relacionar unos y otros con fenómenos que nos parecen muchas veces independientes porque no acertamos á reconocer su solidaridad.

Por eso, en el dominio de la evolución, hemos explicado las deformaciones estructurales por una contracción progresiva de la Tierra, debida á un enfriamiento. Este, como también hemos tenido ocasión de ver, parece

haberse revelado al principio casi exclusivamente por plegamientos, á los cuales la simetría necesaria alrededor del eje de rotación daban un alargamiento según los paralelos; luego, cuando la corteza fué perdiendo su flexibilidad, se han producido, además, estallamientos según los meridianos; y hemos creído advertir en la repartición de estos accidentes, cierta tendencia grosera á la simetría tetraédrica.

Hemos hecho notar al mismo tiempo, que todo movimiento, sea positivo, sea negativo de la superficie, engendrando ya el surgimiento de una cadena de montañas, ya el hundimiento de una fosa oceánica, no podían por menos de influir de rechazo en la distribución de los mares, que á su vez ha producido, como es fácil de prever, transformaciones de la fauna y cambios en el clima. Y, por último, hemos relacionado á estos fenómenos tectónicos todas las manifestaciones de la petrografía y de la metalogenia.

En el dominio de las recurrencias, hemos ido estudiando sucesivamente la historia de una cadena de montañas, la de una región volcánica, la de un mar, y hemos visto de qué modo series análogas de fenómenos solidarios, formando por su conjunto un ciclo completo, se habían reproducido diversas veces sobre zonas, en general diferentes, de la corteza terrestre, y cómo cada una de estas fases podía servirnos para establecer divisiones, ó si se quiere, fechas críticas en nuestra cronología.

Pero el cambio de forma de la Tierra, de sus montañas y de sus mares, no es en la historia de nuestro planeta el único elemento que nos interesa, y como tenemos la pretensión de reconstituir todos los hechos característicos de las épocas pasadas, para comprender las mudanzas del mundo orgánico que han podido ser la consecuencia de ellas, debemos aún estudiar sumariamente algunos otros rasgos del universo físico, los climas, la temperatura de la Tierra y del Sol, la proporción y la salobridad de las aguas, la distribución del magnetismo, las indicaciones astronómicas, etc.; y vamos á hacerlo, tratando de aplicar las mismas leyes de evolución y de recurrencia.

Variación de los climas.—La historia de los climas terrestres sería por de pronto, si la poseyésemos, bien preciosa, porque del régimen calorífico y pluvial dependen las condiciones de vida, el modo de arroyamiento, de erosión continental, la distribución de los glaciares, etc., y de otra parte, puede uno proponerse indagar, en ciertas transformaciones terrestres, una causa exterior, que adquiere entonces un valor astronómico.

Cuando se habla así de un cambio en los climas, se puede sospechar que hacemos alusión á ciertos prejuicios corrientes de apariencia semicientífica.

Habiendo enseñado al público observaciones muy vulgarizadas, que ciertas plantas tropicales habían vivido antes en la zona po-

lar, no ha dejado de extenderse la opinión de «que la Tierra se enfría», como algunos años sin lluvias abundantes bastan para hacer pensar que se deseca.

Está bien demostrado, en realidad, que el calor interno de la Tierra apenas tiene acción apreciable en la superficie; hecho que se explica por la conductibilidad extremadamente débil de las rocas, cuya prueba inmediata nos la facilita la circunstancia de subsistir la nieve casi en contacto con las lavas fundidas (1). La temperatura superficial proviene únicamente del Sol. Luego, y aunque nuestras teorías admitan, en efecto, un lento enfriamiento en las partes internas de la Tierra, éste no ha debido tener más que una influencia bien escasa sobre la evolución de los climas superficiales, y en los cambios continuos de este género que han podido producirse, el enfriamiento del Sol influye mucho más que el de nuestro planeta.

Por otra parte, cuando se consideran directamente los primeros seres aparecidos en nuestros sedimentos más antiguos y se ima-

(1) Según Lord Kelvin, diel mil años después de la formación de una primera corteza sólida, el flujo de calor que la atravesaba no tendría ya influencia alguna sobre la temperatura exterior. Cuando se consideraban los terrenos formados por cuarzo, feldespato y mica, como constituyendo la corteza de consolidación del globo, se ha presentado su espesor como otra prueba en pro; pero este argumento cae por su base si se consideran aquellos terrenos como sedimentos metamórficos.

ginan sus condiciones de vida, según las especies similares existentes, tampoco se advierte la probabilidad de que la temperatura terrestre, en los tiempos precambrianos, haya sido muy superior á lo que es en la actualidad en la zona tropical. Algunos de aquellos seres existen aún sin evolución apreciable, y no hay razón, por lo tanto, para admitir que su medio se haya modificado. No se ven en estos primeros terrenos ni «salamandras» ni «pirozoarios» capaces de vivir en un medio abrasado. El fenómeno que resulta de este estudio directo acusa menos un enfriamiento continuo de la temperatura media (á no ser dentro de los límites de algunos grados) que el de una localización progresiva de las zonas calientes, por de pronto, uniformemente repartidas sobre toda la Tierra entre los Polos y el Ecuador, con independencia de la latitud, y concentradas después poco á poco en la proximidad del Ecuador. En este sentido, y en este sentido únicamente, es donde la paleontología (contra ciertas afirmaciones repetidas con frecuencia) comprueba una evolución de los climas, de que ahora habremos de hablar.

Pero, antes de abandonar la cuestión relativa á un enfriamiento progresivo en la temperatura de los mares para entrar de lleno en la localización de los climas, no debo de olvidar, como elemento de información, las indagaciones proseguidas fuera del campo geológico por un biólogo bien conocido, M. Renato Quinton; indagaciones preciosas

en muchos respectos, discutibles en otros muchos, y particularmente sobre este punto de los climas antiguos.

La ingeniosísima teoría de M. Quinton, sobre la cual he de insistir en otro capítulo (1), consiste en afirmar que la vida animal, aparecida en el estado de células en los mares, ha tendido siempre á mantener en el curso de su evolución las células componentes de cada organismo en un medio marino, idéntico como temperatura, luz, concentración salina, etc., al medio original. Siendo la temperatura más propicia para la vida de la célula la de 44°, deduce M. Quinton que cuando las primeras células aparecieron en el mar, éste tenía precisamente aquella temperatura. Después, mientras que la evolución creaba nuevas especies, la temperatura media de los mares descendía, resultando de ello una doble tendencia: de una parte, en las especies aparecidas con una temperatura superior y permaneciendo idénticas á sí mismas en un medio enfriado poco á poco, hubo adaptación progresiva de las células á esta temperatura nueva con vida detenida; de otra, en seres nuevos modificados por la evolución á una temperatura más baja, hubo reacción cada vez más fuerte contra el medio exterior (2) y

(1) Quinton, *L'eau de mer, milieu organique*.—Paris, Masson, y *Revue des Idées*, 15 de Enero y 15 de Marzo de 1904.

(2) No es completamente en esta forma como monsieur Quinton presenta los hechos; observa sólo, sin

facultad, llevada al límite extremo en los últimos, entre éstos, pájaros y mamíferos, de mantener su temperatura interior (como su concentración salina) independientes de las del medio ambiente (1).

La consecuencia es que los seres se habrían escalonado, por su temperatura específica, en el orden de su aparición: los más antiguos (peces, etc.), teniendo simplemente para sus tejidos la temperatura del medio exterior, mientras que los más recientes, dotados de una reacción térmica cada vez más fuerte, llegan á sobrepasar este medio en mu-

dar ninguna explicación del hecho, que en los más recientes vertebrados «la vida se comporta de una manera diferente y completamente extraordinaria». No pudiendo entrar aquí en una larga discusión de este importante trabajo, me veré precisado á interpretar los detalles experimentales de modo un poco distinto del autor.

(1) Los reptiles, en lugar de mantener su temperatura por encima de la del medio exterior, pueden, por excepción, sostenerla 6° por debajo. M. Quinton deduce de esto que cuando los reptiles salieron de los mares, la temperatura exterior era 6° más alta á la que convenia á la célula, ó sea 50° (lo que, entre paréntesis, parece poco conforme con lo que nos enseña la flora carbonífera). Lógicamente, los arácnidos, los batracios y los insectos, salidos de los mares antes que los reptiles, deberían tener entonces una reacción térmica negativa aun más intensa. Además, de los reptiles carboníferos á los mamíferos triásicos, la diferencia de edad es muy corta, y no explica, pues, cómo bruscamente la reacción de negativa se convertiría entonces en positiva. En suma, se pueden hacer muchas objeciones á la forma demasiado absoluta y precisa de tan curiosa teoría.

chos grados; y para la cuestión que ahora nos interesa, de todo lo dicho resultaría que los mares donde vivieron las primeras células organizadas, habían tenido una temperatura de 44° y se habrían ido enfriando poco á poco (1).

Claro está que todo lo que antecede no constituye más que una simple hipótesis, y es quizás, dentro del conjunto de los trabajos de M. Quinon, de las menos fundamentadas, pues además de las suposiciones un poco gratuitas sobre las facultades atribuídas al ser viviente de adaptarse ó de reobrar, conduce á la idea de que los carnívoros, los rumiantes y los pájaros son posteriores á los hombres. Y, sin tratar de conceder al hombre un lugar aparte ó considerarle como el coronamiento de toda la serie geológica, es contrario á los principios más elementales en paleontología hacer retroceder arbitrariamente la aparición de un ser más allá de los antiguos terrenos donde se han encontrado sus restos, sobre todo en ciertas proporciones. Por otra parte, tampoco se ve por qué la célula, que en esta teoría se ha ido progresivamente adaptando á una temperatura más débil con vida detenida, no se hubiera prestado inversamente,

(1) Hay que hacer notar que esta temperatura podía, aun dentro de la teoría de M. Quinon, ser completamente local en el punto en que la actividad vital habría comenzado á manifestarse en la célula y que después se haya extendido al conjunto de los mares.

cambiando de medio exterior, á una temperatura creciente con vida más ó menos acelerada, según las necesidades creadas por este medio, ni por qué la célula habría por necesidad encontrado de pronto las condiciones más propicias; lo que es, en suma, el fondo explícitamente formulado de toda la hipótesis (1). No me parece, pues, que hasta hoy se debe adoptar la conclusión precedente sobre la temperatura de los mares cambrianos. No obstante, la idea del medio marino conservado en el organismo conduce á un sistema tan bien coordinado y tan atractivo á primera vista, que era preciso discutir aquí este corolario.

Dejando, por consecuencia, de lado un enfriamiento progresivo y general, muy posible lógicamente, pero de ningún modo demostrado, debemos limitarnos á estudiar el hecho mucho más preciso de una localización de los climas.

Lo que caracteriza en la actualidad los climas terrestres es su gran variedad de una

(1) La vida, según M. Quinton, es un fenómeno sujeto á condiciones bastante estrechamente determinadas, puesto que desde los orígenes, á pesar de las ocasiones, á pesar de las causas de variaciones que se han ofrecido, la vida animal no parece haber hecho más que mantener invariablemente, por su actividad marina, las condiciones de los orígenes. Para el autor es ésta una conclusión; pero, como siempre, en materia semejante, la conclusión no es más que una premisa inconsciente; los hechos precisos podían comprobar otra multitud de explicaciones.

región á otra; por el contrario, durante todos los tiempos primarios existe una asombrosa igualdad de clima, puesto que las faunas son idénticas en todas partes. El hecho se ha explicado por un diámetro aparente del Sol bastante grande para que los rayos hubieran podido caer paralelamente sobre toda la superficie del planeta. Poco á poco solamente las diversas porciones de la Tierra han ido adquiriendo una individualidad creciente, y los cambios de la fauna y de la flora se hicieron cada vez más independientes los unos de los otros (lo que contribuye á hacer muy difícil el sincronismo preciso de los niveles terciarios). Todo gran plegamiento montañoso pudo también determinar un descenso local de la temperatura, que debió hacer sentir su influencia más ó menos lejos.

Este carácter de uniformidad en las épocas primitivas se acusa, principalmente, por la extensión de los arrecifes coralinos. Éstos se encuentran hoy día localizados en una zona tropical que no se extiende más allá de 30 grados por ambos lados del Ecuador. Los organismos coralinos, como todo el mundo sabe, sólo pueden vivir en agua tibia y pura, á 20° por lo menos de temperatura y á una profundidad menor de 37 metros. Admitiendo que siempre hayan necesitado límites de temperatura semejantes (1), hipótesis que

(1) No tenemos ninguna razón para suponer que seres semejantes se hayan prestado sin evolucionar á vivir en medios cada vez más distintos del medio original.

parece muy lógica, su presencia sobre un terreno nos ilustra sobre las condiciones en que éste ha sido depositado; y el hecho es que durante largo tiempo se los encuentra igualmente en las proximidades del Polo que en las del Ecuador.

Hasta el fin de la época devoniana no se advierte generalmente, de un extremo á otro de la Tierra, ninguna diferencia de fauna, ni, por lo tanto, de clima; y estando demostrado que al final de este período se vió comenzar el desarrollo del mundo vegetal, con la fijación del carbono, antes esparcido en el aire en el estado de ácido carbónico, hay derecho para preguntarse si una atmósfera muy espesa, muy cargada de ácido carbónico y de vapor de agua no contribuía, anteriormente, á rodear la Tierra de una capa de niebla en la cual se difundía por igual el calor solar; hipótesis que concuerda con la falta casi absoluta de animales de respiración aérea antes de esta época.

El período carbonífero (11 á 13) en que la vegetación alcanzó repentinamente tan extraordinaria expansión, ha sido todavía, por término medio, una época de notable uniformidad en los climas, puesto que aquella vegetación es entonces la misma en todas partes desde el Ecuador al 74° de latitud; en el Spitzberg, en Europa, en las Indias orientales, China, África, América del Norte; y también los corales carboníferos se encuentran á los 82° de latitud en la punta de Barrow al Noroeste de América. No obstante, se produce

entonces, por lo menos localmente, un cambio sensible en los climas, una abundancia especial de precipitaciones pluviosas en las alturas. Esta es la época de los primeros glaciares que conocemos con alguna certidumbre. Por otra parte, las variaciones tan rápidas de la flora durante el período carbonífero, que constituyen en este momento un tan precioso instrumento estratigráfico, parecerían indicar que las condiciones de los climas se han modificado sin cesar con los progresos del levantamiento producido en este período de plegamientos terrestres, y luego con los de la erosión de un modo análogo á lo ocurrido hacia el fin del período terciario, que bajo muchos aspectos recuerda la época herciniana.

Más tarde, en la época medio-jurásica (25), la flora de los países templados asciende aún hasta el 71° de latitud, y no hay, según Heer, diferencia en esta flora desde el 50° hasta el 71°, es decir, entre Inglaterra y Siberia. Pero éste no es, sin embargo, á juzgar por la fauna, el clima absolutamente uniforme de los primeros tiempos.

Después, la época cretácea (32) trae un cambio más sensible en la distribución de los organismos coralinos. En la región mediterránea de Francia, una transformación bastante rápida sustituye los corales propiamente dichos, primero por camideos, luego por rudistas, que no son organismos constructores en el verdadero sentido de la palabra, y que parecen haber vivido en mares

menos calientes hasta 35 metros de profundidad.

Un cambio paralelo se produce entonces en la flora: en el infra-cretáceo se ven aparecer las primeras plantas dicotiledóneas angiospermas, que durante el supra-cretáceo (36) adquieren un desarrollo considerable. Los árboles de hoja caduca y las plantas con flores, que hoy vemos predominar, rechazan entonces un mundo vegetal de carácter más primitivo. Se encuentran con las palmeras, laureles y magnolios, hayas, yedras, castaños, plátanos y álamos. Luego la luz es viva y las estaciones empiezan á marcarse. La flora, como la fauna, acusa un retroceso de la zona tropical hacia el Ecuador. Este retroceso parece, no obstante, poco acentuado aún, hasta el fin del cretáceo (40), puesto que subsisten palmeras en Silesia é higueras en la Groenlandia por el 70° de latitud.

Por último, en la época terciaria, sobre la cual he de extenderme más en razón de las mayores facilidades de estudio que nos ofrece, los climas, muy análogos á los nuestros, acusan cada vez más esta tendencia hacia el individualismo, algunas veces criticada en el mundo moral, aunque normalmente introducida por evolución en el mundo físico.

Al mismo tiempo que estos climas se particularizan, se los ve, por una consecuencia bastante lógica aunque no obligada, acusar localmente rápidas variaciones sucesivas, cuya historia nos permite seguir la fauna de los mamíferos mucho mejor que lo hubie-

ran permitido precedentemente los animales marinos si se hubiesen manifestado en ellos variaciones del mismo género. Cuando lleguemos dentro de un instante al período pleistoceno, que es el mismo en que vivimos, encontraremos en él este carácter llevado al último extremo. En el mismo punto dominan entonces simultáneamente, en un tiempo demasiado corto para permitir ninguna evolución en los seres marinos, el elefante de los países calientes (57), el mammoth con melenas de las regiones húmedas y frías (58), el reno de las estepas de frío seco (59) y los animales de nuestras comarcas. Durante todo el terciario se observan cada vez más marcadas en las distintas regiones, alternativas de calor, de frío y de humedad, luego oscilaciones de los glaciares, etc., que ofrecerán un gran interés teórico cuando se conozca la causa á que obedecen especialmente si representan, como se ha afirmado sin pruebas, fenómenos generales en relación con algún cielo astronómico, y, por lo tanto, evaluables en años, pero para los cuales este carácter de generalidad no está aún demostrado.

A este respecto se hacen con frecuencia algunas ilusiones que quizá sea útil combatir de pasada. Hay que darse cuenta, sobre todo, de que para los períodos más recientes, los instrumentos cronológicos resultan cada vez más defectuosos y cada vez más delicados de emplear á medida que se avanza, precisamente porque se particularizan. Contrariamente á las apariencias, es mucho más di-

fácil fijar la fecha de un período pleistoceno (es decir, contemporáneo del hombre), que de un terreno cambriano. Constantemente se ve uno expuesto á cometer en geología un error idéntico al que se cometería en antropología si se considerase como contemporáneos los Canacos que usan hachas de piedra en Nueva Caledonia y los hombres neolíticos de las estaciones lacustres, ó si se asimilase en historia las tres revoluciones de Inglaterra, Suecia y Francia porque las tres han ejecutado á un rey. Es, por ejemplo, una prueba bien débil de sincronismo entre los períodos glaciarios observados aquí y allá, y ya tan difíciles de distinguir localmente unos de otros por la alteración de sus materiales, como la de encontrar en diversas regiones casi el mismo número con faunas muy semejantes. La dificultad sube aún de punto por el hecho de las múltiples subdivisiones que se pretende establecer en un período muy corto para haber producido la menor de esas variaciones zoológicas, sobre las cuales se funda nuestra estratigrafía, y la manera cómo se estudian estas cuestiones, porque si bien es cierto que muchos sabios eminentes han desplegado maravillas de ingenio y de talento al examinarlas, no lo es menos que también han sido tratadas por husmeadores de ocasión, absolutamente desprovistos de experiencia, á quienes no es posible dar crédito.

Estas últimas reflexiones no se aplican, sin embargo, más que á la muy reciente fase

llamada pleistocena, y es fácil, remontándose hasta los comienzos del período terciario, para el cual el método de trabajo geológico resulta aplicable, razonar con alguna precisión.

De este modo se observa que la temperatura media del eoceno (46) debía ser aún, en las regiones boreales, por lo menos 20° superior á lo que es en la actualidad. Durante el oligoceno (47), los vegetales africanos y austro-índicos abandonan el Norte de Francia, mientras que los árboles de hoja caduca salidos de un clima más frío adquieren en ella gran desarrollo; la flora de Alemania del Norte es la de la Luisiana. Con el mioceno (48 á 53) el régimen de las lluvias parece acentuarse y la temperatura permanece siendo tibia; Francia y Suiza se asemejan á lo que hoy son Madera, el Japón meridional y Georgia. Luego el comienzo del plioceno (54 á 56) señala enormes precipitaciones pluviosas, un régimen torrencial, y erosiones considerables que dan poco á poco al suelo su relieve actual; después un desarrollo de los glaciares, que implican mucho menos frío que humedad, y, finalmente, se produce en Europa, á la terminación del plioceno, en el comienzo del que se llama pleistoceno, un primer período de frío intenso, correspondiente á una abundancia de precipitaciones pluviosas tanto más extraordinaria cuanto que parece haber sido concomitante en ambos lados del Atlántico, en Europa como en América.

¿Cuál ha sido la causa de este gran cambio de régimen? Punto es éste sobre el cual se han amontonado ya muchas teorías. Unos invocan una causa astronómica, tal como una excentricidad de la órbita terrestre; otros, con mayor verosimilitud aparente, hablan de un simple movimiento geológico, tal como el de la acentuación del hundimiento atlántico. Pero la meteorología actual sigue siendo aún una ciencia muy problemática, cuando trata de analizar los fenómenos con bastante precisión para prever su retorno. Se debe pensar que la meteorología prehistórica es mucho más oscura aún, y á pesar del interés del problema, no podemos considerarle como resuelto. Solamente es útil hacer notar que esta intensidad de los fenómenos pluviosos, y por consecuencia glaciarios, tan manifiesta en el comienzo del pleistoceno, ha podido, en el pasado, realizarse muchas veces, especialmente después de los grandes plegamientos, sin que tengamos huellas de ello, y que no constituye, por lo tanto, un hecho único y excepcional en la historia. La fase glacial y de erosión, de que ahora se trata, nos salta á los ojos, porque es muy reciente y porque los continentes, sobre los cuales ha obrado, conservan desde este momento el mismo relieve. Para el plioceno (54 á 56) que le ha precedido, vemos aún fácilmente alguna cosa análoga. El oligoceno y el mioceno nos acusan también, por ciertas acumulaciones de pudingas, erosiones semejantes. Pero en cuanto ascenda-

mos en la historia geológica, la importancia de las formaciones continentales sometidas á nuestro estudio, se restringe muy pronto. Cuando llegamos á épocas en las cuales no poseemos más que depósitos marinos, ó en corto número trozos de sedimentos lacustres, perdemos la posibilidad de comprobar fenómenos que en el período pleistoceno parecen predominantes, porque la estratigrafía de esta última época se encuentra casi reducida, por el contrario, al examen de formaciones continentales.

El principio del pleistoceno, que generalmente se hace comenzar con la aparición del hombre, no es más que la continuación del terciario, geológicamente hablando, en el cual el piso entero no tendría siquiera el derecho de formar un período distinto si se continuara dividiendo el tiempo según esta evolución de la fauna marina, que puede ser groseramente proporcional al número de siglos transcurridos. En efecto, esto ya no es, propiamente hablando, *hacer* geología, sino arqueología ó historia; historia necesariamente local, según las razas ó los países. Nadie habrá de asombrarse, pues, de verme pasar con tanta rapidez sobre un asunto que, si es bastante interesante por sí mismo para constituir el objeto de un libro entero, no debe ser considerado en éste más que como un detalle. El verdadero interés para nosotros en este pleistoceno, donde ya sucede al pasado el presente de la Tierra, será comprobar en él la continuación de movimientos

orogénicos análogos á los de las épocas anteriores, preludio posible de nuevos movimientos futuros.

En lo que concierne á los climas de esta época, he dicho ya que en todas partes donde se había estudiado la cuestión, se habían reconocido también muchos períodos glacia-rios pleistocenos separados por períodos me- nos lluviosos ó más templados. Entre unos y otros se ha creído reconocer por el límite inferior de las nieves perpetuas, que la va-riación de la temperatura media no había de- bido exceder de 3 á 4 grados; es decir, tres ó cuatro veces lo que se produce diariamente ante nuestros ojos.

Se ha establecido, además, entre estos cam- bios de climas y las diversas razas humanas, relaciones que con la condición de darles un carácter estrictamente localizado en Francia, ó mejor en cierta parte de Francia, pueda ser digno de tomarse en cuenta. Después del primer período glaciario (58), aparición de los hombres paleolíticos con útiles de piedra sin pulir, luego tallados (*chelleano* y *musteria- no*) contemporáneos del mamuth; nuevos glaciares; en seguida frío seco con desarro- llo del reno y hombres de las cavernas lla- mados *magdalenianos* (59) sabiendo ya aso- ciar á sílex mejor trabajados instrumentos de hueso ó de marfil, grabando quizá ani- males sobre las paredes de sus grutas; des- pués de lo cual se inicia un período de clima más templado y lluvioso, emigración del re- no, coincidiendo con una nueva civilización

más refinada llamada neolítica (60) (que se supone venida de Asia), en que bien pronto el bronce se une á la piedra pulimentada y en la que la civilización no tarda en adquirir las formas que estudia más especialmente la historia.

Variación de los elementos físicos y astronómicos.—Las variaciones de la estructura, y accesoriamente las de los climas, que hemos examinado hasta aquí, forman los puntos más importantes de una historia geológica; pero antes de pasar, en el capítulo siguiente, á la historia de la vida, es preciso decir aún algunas palabras sobre las variaciones posibles de otros elementos, físicos, magnéticos y astronómicos, que además de su propia evolución, han podido tener un efecto de rechazo, más ó menos directo, sobre las transformaciones de la estructura y sobre las del mundo organizado.

Entre los caracteres físicos, he señalado ya más de una vez la temperatura interior del globo, y ya hemos visto también de qué modo su descenso progresivo podía ser invocado como la causa primera de todas las deformaciones estructurales.

Igualmente hemos hecho observar cómo la uniformidad primitiva de los climas, puesta en contraste con las diferencias actuales entre el Polo y el Ecuador, había conducido á suponer una reducción del diámetro solar, debiendo haber sido éste bastante extenso en el principio para que todas las partes de la

Tierra fuesen igualmente calentadas y la noche casi suprimida en todas ellas.

Dentro del mismo orden de ideas hay muchas probabilidades para suponer que la temperatura del Sol haya descendido y continúe descendiendo poco á poco, puesto que representa una irradiación continua y una pérdida incesante de energía, que ningún aporte exterior puede compensar. Que esta energía haya sido desde el comienzo facilitada bajo una forma calorífica, ó que, como hoy se supone á consecuencia de descubrimientos recientes, haya sido almacenada por de pronto en el estado potencial bajo una forma cuya idea nos puede proporcionar el radio, poco importa: una provisión limitada, sobre la cual se efectúa un gasto continuo, no puede por menos de tender hacia su agotamiento; y aunque esta disminución de la temperatura solar no ha debido ser muy extraordinaria desde la aparición de los seres vivos, puesto que la temperatura máxima de los mares más calientes parece haber sido, desde entonces, casi la misma de hoy, el fenómeno no por eso deja de ser exacto.

Otro elemento importante sobre la superficie de la Tierra es el agua, cuya provisión es considerable puesto que representa una capa de 3 kilómetros repartida sobre todo el planeta, provisión que también debiera disminuir muy lentamente por el hecho de las oxidaciones, realizadas hasta en la profundidad extrema de la corteza terrestre, donde existe alguna comunicación con la superficie.

También en este punto la observación es más teórica que práctica, y esta desaparición progresiva del agua y del oxígeno sobre la superficie terrestre no parece haber producido el menor efecto en el desarrollo de los fenómenos geológicos. La disminución actual de las fuentes, que recientemente se ha descubierto, es debida, según creo, á causas distintas sometidas á recurrencia y no á evolución, y no representa, en la historia de la Tierra, más que un incidente completamente transitorio.

Pero aun cuando el volumen de los mares no hubiera disminuído sensiblemente, su salobridad ha debido ir en aumento; y aquí nos encontramos en presencia de un hecho progresivo, que podría haber producido su efecto sobre la vida organizada. Los mares, que en otro sitio he llamado el desaguadero universal, constituyen, en efecto, el depósito necesario de todos los elementos solubles, con los cuales el arroyamiento de las aguas se encuentra en contacto en una parte cualquiera de la Tierra, puesto que todos, pronto ó tarde, acaban por llegar á los fosos marinos, siendo únicamente el agua destilada la que asciende hacia las nubes y es aspirada por ellas. Luego se deben de encontrar en los mares, en el estado de combinaciones con los principales metaloides, cloro, azufre, carbono, boro, fósforo, ázoe, etc., casi todos los elementos que pudieron ser susceptibles de una disolución total ó parcial en la masa entera de las rocas y sedimentos removidos por

las erosiones. Únicamente una parte de estos materiales, la cal en particular, escapa de manera momentánea á este destino final porque ha reformado sedimentos nuevos; pero el espesor medio de los sedimentos, cuyo estudio, proseguido constantemente por la geología, nos conduce á exagerar su importancia, es en realidad completamente insignificante, y se debe presumir que se encontrarán en el mar, como la química comprueba, la lista completa de los elementos químicos, ninguno de los cuales es completamente insoluble. Además de estos aportes continuos, podían también los mares encerrar desde su origen, las sales procedentes de los vapores esparcidos en la atmósfera y condensados después de la solidificación de la corteza; pero este acopio inicial no sería necesario para explicar la salobridad de los mares, salobridad que seguramente ha ido en aumento poco á poco. Bastaría con tomar la composición media de la corteza terrestre, teniendo en cuenta las solubilidades para explicar, sin ninguna otra hipótesis, esta salobridad, que ha tenido, como todo el mundo sabe, y como veremos bien pronto, una importancia tan esencial sobre las formas adquiridas por la vida. Y en este último orden de consideraciones es verdaderamente notable que esta idea de un aumento de salobridad progresiva, á la cual nos conduce sólo la geología, con toda claridad, se encuentre hasta tal punto de acuerdo con las experiencias de M. Quinton, de que ya hemos hablado, sobre

la conservación por cada especie orgánica, del medio vital más ó menos saturado de agua del mar, en cuyo medio parece haber comenzado á evolucionar esta célula.

Al lado de las acciones caloríficas y de las intervenciones acuosas, los fenómenos eléctricos y magnéticos desempeñan un papel muy importante en las transformaciones de la materia terrestre como en las de los seres organizados. Este papel, muy mal definido todavía, aun en sus manifestaciones actuales, apenas comienza á ser explorado cuando se trata del pasado. Se han hecho, sin embargo, á este respecto, muy curiosos experimentos recientes para determinar la dirección de las fuerzas magnéticas en el momento en que ciertas capas de arcilla han sido cocidas por las corrientes eruptivas, y según el magnetismo permanente que ha resultado para estas especies de ladrillos naturales, se ha creído comprobar, después de la época pliocena, un cambio marcado en la distribución magnética del globo.

En suma, el magnetismo nos lleva á hablar de estos elementos astronómicos tan tentadores de invocar para explicar y para datar más tarde todos los fenómenos de la historia terrestre. Hay indudablemente alguna ilusión al imaginarse que estos elementos están dotados de una fijeza irrealizable en el Universo, nada más que por el hecho de no haber advertido en ellos variaciones sensibles, en los períodos relativamente cortos sobre que se fundan nuestras observaciones, y na-

da impide teóricamente el suponer que cada uno de aquellos elementos ha evolucionado en muy amplia medida. La idea era tan natural, y los ensueños de este género ejercen de ordinario tal seducción sobre el público, que no hay que extrañar que se hayan formulado las teorías más ingeniosas y las hipótesis más atrevidas. Ya se pretende variar el eje de rotación terrestre, desde el Polo hasta el Ecuador, para explicar las transformaciones de los climas (1); ya, dejándole fijo, se ha supuesto ó bien un amortiguamiento de la velocidad y una elevación relativa de los polos para explicar los plegamientos Este-Oeste, ó bien un aumento de esta misma velocidad y un aplastamiento de los Polos para interpretar los estallamientos Norte-Sur. Otros han invocado las modificaciones de la excentricidad y la precesión de los equinoccios para explicar los ciclos de período glaciario. Luego se han relacionado las grandes transgresiones marinas, con inmensas mareas de largos períodos precesionales ó lunarios; y aún se ha hecho observar que si la Tierra contenía partes en ignición, debían estar sometidas á flujos y reflujos internos, pretendiendo deducir de esto la coincidencia supuesta de las erupciones volcánicas, de los terremotos, de las explosiones de gri-

(1) La variación constante de este eje en límites muy restringidos parece, por el contrario, un hecho de observación, que las cartas fotográficas del cielo en diversas épocas ayudarán á precisar.

sú, etc., con ciertas posiciones relativas de la Tierra, de la Luna y del Sol. Desde que las manchas solares se han puesto en moda, es á ellas á quienes se atribuye un papel preponderante, etc., etc. Todas estas ideas ofrecen gran interés. Si algunas, como la que se refiere á la variación, demasiado considerable, del eje terrestre ó á la de la influencia de la excentricidad sobre los glaciares, parecen desmentidas por las experiencias, otras son seguramente muy plausibles. Yo añado aún que los más transcendentales descubrimientos del siglo próximo en geología, los más sugestivos han de realizarse en este sentido. Pero estas grandes cuestiones no están maduras; nos faltan de modo absoluto, para resolverlas, largos catálogos de observaciones que el tiempo solo podrá facilitar. Entre tanto, la más simple reserva científica nos obliga á declarar nuestra completa ignorancia en tal orden de ideas.

Y no obstante, ha de ser por relaciones astronómicas de este género, y por ellas únicamente, como habrá de llegar un día á calcularse en años estos períodos geológicos cuya serie cronológica nos contentamos con poder registrar hasta el presente, como voy á decir ahora.

Evaluación de los períodos geológicos en años.
—Ya hemos visto de qué modo se dividía la historia de la Tierra en unos sesenta períodos principales, fundándose especialmente sobre las transformaciones de los animales mari-

nos de modificaciones rápidas, y accesoriamente sobre los incidentes más marcados relativos á la estructura terrestre. Estando caracterizado por su fauna cada uno de estos períodos, y estando también considerada hasta hoy la uniformidad de la fauna sobre todas las partes de la Tierra en los períodos más antiguos, como un hecho experimental se tiene así el medio de relacionar con un período determinado cada uno de los terrenos que se encuentran en un punto cualquiera, y, por consecuencia, de datar de este modo los movimientos diversos, cuya huella pueden llevar impresa estos terrenos. Pero, en esta cronología, completamente empírica, faltan una escala fija y términos de comparación equidistantes.

Presentimos, sin poder darnos cuenta más exactamente, que los períodos son desiguales, fundándonos para asegurarlo sobre nuestras facultades más ó menos grandes de observación, es decir, algo semejante á lo que se haría en historia si se pusiera en un solo compartimento todo el desorden de las invasiones bárbaras, para catalogar más tarde uno á uno los ministerios de la tercera república. Cuanto más avanzamos en la historia geológica, más numerosos son los restos organizados y más abundantes sus especies, tanto por la multiplicación de los seres y de las especies, como por las facilidades crecientes de las indagaciones en terrenos menos removidos y menos metamorfoseados, y más también los ejemplares mejor conservados

nos revelan los menores de estos detalles, sobre los cuales están fundadas las determinaciones paleontológicas, y mayores divisiones, por consecuencia, podemos establecer en ellas. Ya hice esta observación para el pleistoceno, que no debería ser en realidad más que una fase accesoria del plioceno. Es evidente también que cuando atribuimos al terciario sólo un tercio de las subdivisiones admitidas en la serie geológica, nos dejamos engañar voluntariamente por esta tendencia instintiva que nos impulsa á exagerar la importancia de los objetos más próximos, con detrimento de los más lejanos. Pero ¿cómo escapar á tal error? A falta de otros medios, se ha supuesto (lo que puede ser inexacto en el detalle y relativamente verdadero en un término medio) una proporcionalidad entre la duración de los períodos principales y el espesor de los sedimentos que los representan. Por este método, Dana había llegado á encontrar 75 por 100 para los tiempos primarios, contra 18,7 para los secundarios y 6,2 para los terciarios (1).

Pero éstas no son, sin embargo, más que duraciones relativas, y, naturalmente, esto nos ha llevado á preguntarnos si fuera de las indicaciones astronómicas, cuyo poco valor hasta ahora acabo de demostrar, no podríamos encontrar sobre la Tierra misma bas-

(1) M. de Lapparent admite que el total del tiempo en que se han efectuado los sedimentos podría estar comprendido entre veinte y cien millones de años.

tantes elementos para comprender, por lo menos, el orden de magnitud de que se trata; á saber, si es preciso contar por siglos, por milenarios ó por millares de siglos.

La respuesta que podemos dar á esta cuestión es que no se sabe absolutamente nada. Se ha tratado de tomar como base de cálculo, ya la velocidad de sedimentación ó ya la velocidad de erosión. La primera ha conducido, en ciertos casos, á cifras enormes, dividiendo el espesor de un terreno geológico por el espesor del depósito análogo que puede formarse actualmente en un año. En cambio, la velocidad de erosión, cuando se la ha aplicado, por ejemplo, al ahondamiento de las gargantas del Niágara, da dado cifras mucho más débiles de las que se había imaginado al principio, esto es, apenas diez mil años después de la retirada en este punto de las masas glaciarias; tres mil para producir el agotamiento futuro de las cataratas actuales y el descenso de las aguas hacia el golfo de Méjico.

Pero ¿cómo deducir que las fuerzas de sedimentación y de erosión no hayan variado, en una proporción imposible de evaluar, de una época á otra? La exposición de la historia geológica, que hemos hecho anteriormente, nos revela que la Tierra había pasado, á consecuencia de los grandes plegamientos, por períodos de destrucción excesivamente intensos, seguidos de una calma progresiva por efecto de la disminución creciente del relieve. También parece indudable

que hoy tendemos hacia una de esas épocas de calma, y, por lo tanto, los aportes sedimentarios deben contarse entre los más débiles que hayan podido producirse durante la duración de un ciclo geológico. De igual manera, habiendo llegado á su perfil de equilibrio la mayor parte de nuestras corrientes de agua, ya no ejercen más que una labor de erosión insignificante, excepto en casos particulares, como el del Niágara precisamente que acabamos de señalar. Luego para las medidas de sedimentación actuales, debemos en general obtener cifras demasiado ínfimas, pero la proporción se ignora; y además, ¿estamos seguros de que los plegamientos antiguos, con las erosiones conexas, no se hayan producido casi insensiblemente á la manera de los movimientos tectónicos realizados aun hoy en la corteza?

Todo contribuye á paralizar nuestros esfuerzos para establecer racionalmente un cálculo de esta índole. Los terrenos representados por término medio en nuestros pisos geológicos, son depósitos litorales, ó al menos, sedimentos de mares poco profundos, de un millar de metros como *máximum*. Y éstas son condiciones en las cuales la velocidad de las sedimentaciones es, de igual modo que su naturaleza, esencialmente variable en un mismo momento, según el sentido de las corrientes, su velocidad, su dirección, los materiales que encuentran y renuevan, etc... De un punto á otro de nuestras riberas, lo propio ha debido ocurrir en todas las épocas geoló-

gicas. Los únicos terrenos para los cuales se concebiría en rigor cierta constancia en la velocidad de la formación, es decir, los de las grandes profundidades oceánicas, faltan casi en absoluto en nuestros sedimentos, ya sea, como se ha supuesto, porque estas grandes profundidades no cambian de lugar y permanecen aún sumergidas, ó ya, acaso, porque estos depósitos, particularmente lentos en formarse y por lo mismo muy tenues, nos escapan en la gran masa de las formaciones litorales.

En resumen, no vemos ninguna base seria para apreciar en años los períodos geológicos, y así seguirá ocurriendo hasta el día en que se haya encontrado, en uno ú otro de los rasgos astronómicos de que he hablado antes, la solución soñada del problema. La única cosa que se puede decir con cierta verosimilitud, es que los períodos geológicos han debido ser muy grandes, no hasta el extremo que se ha supuesto antes cuando se abusaba del actualismo, aunque cada vez más dilatados á medida que nos remontamos en el curso de las edades. Para el último de todos ellos, el que comienza con la aparición del hombre, nada nos obliga á emplear cifras más superiores de las que se pueden contar por decenas de millares de años; pero ya he dicho cuán breve ha sido este período comparado con los anteriores, no solamente porque en él se ha realizado una proporción ínfima de sedimentos con movimientos casi insignificantes de la superficie (hecho que en

realidad se podría atribuir también á una mayor estabilidad de la corteza), sino porque no se ha producido ninguna variación sensible en las especies marinas.

Y es entrar en un círculo vicioso el admitir por de pronto la evolución, con la lentitud de acción que hoy se le concede, para deducir de ella la duración de los períodos geológicos; pero, no obstante, esta idea de transformismo, bajo una forma ú otra, está tan arraigada en todos los espíritus y es tan propia para coordinar las observaciones, que es difícil sustraerse á ella. Si algunos millares de años no han sido suficientes para modificar el menor molusco durante el pleistoceno, ¿cuántos se necesitarían para transformar la línghula en vertebrado? Además, los kilómetros de espesor por los cuales hay que contar muchas veces nuestros terrenos primarios, kilómetros de sedimentos fangosos, es decir, depósitos tranquilos y todos semejantes entre sí, implican igualmente duraciones enormes, aunque escapan, repito, á nuestros cálculos, siquiera tratemos de fundarlos de un modo aproximativo.

CAPÍTULO VIII

EL PRESENTE Y EL PORVENIR DE LA TIERRA

Los movimientos actuales de la corteza.—Playas levantadas.—Terremotos.—Las transformaciones futuras.

Movimientos actuales de la corteza. — Los tiempos geológicos no han terminado todavía, y aunque la aparición de un ser tan perfeccionado, con órganos tan sensibles y tan delicados como el hombre, haya debido necesitar seguramente condiciones bastante especiales en la historia terrestre, constituye una vanidad un poco pueril la de imaginarse que el día en que este hombre ha nacido se transformaron en absoluto todas las condiciones físicas del Universo.

Largo tiempo se ha desconocido esta noción, y en los antiguos tratados de Geología se observa aún la huella de esta división fundamental que presentaba el cuaternario (comenzado con el hombre), totalmente distinto de los tres períodos anteriores. Hemos roto esta barrera artificial, y el antiguo cuaternario ha sido colocado en su modesta categoría de una corta subdivisión que lleva el nom-

bre de pleistoceno, y que le asimila, por lo tanto, á los otros pisos del terciario, eoceno, oligoceno, mioceno ó plioceno. Al mismo tiempo hemos comprobado, por observaciones cada vez más numerosas y más precisas, que los movimientos de la corteza, muy visibles en los períodos precedentes, porque medimos sus efectos totalizados de un solo golpe, prosiguen aún ante nuestros ojos, modificándose la forma de los terrenos y los mares y cambiando también la superficie de las aguas.

Esto se resume prácticamente en el hecho, largo tiempo negado y hoy casi incontestable, de que se han verificado modificaciones en el nivel de ciertos mares, en el período histórico y aun en el corto espacio de dos siglos. Cuando hayan transcurrido algunos más, y dados los medios de que disponemos para registrar la forma de los terrenos, el nivel de los mares y la altura absoluta de un punto, las observaciones de este género no podrán menos de generalizarse, y su coordinación conducirá, sin duda, á resultados, á leyes de conjunto cuyo alcance no podemos actualmente ni imaginar siquiera. Pero el principio mismo puede ya ser admitido con certidumbre, y éste es un punto muy esencial para nuestras teorías.

Los cambios actuales de la corteza, si dejamos á un lado los fenómenos volcánicos que pueden prestarse á discusión, se clasifican en dos categorías, que igualmente se pueden relacionar con los antiguos plegamientos:

1.º, movimientos lentos, cuyo indicio más claro se observa en lo que llamamos playas levantadas; y 2.º, movimientos bruscos por sacudidas, por amontonamientos, cuya manifestación superficial más característica nos la facilitan los temblores de tierra.

En lo que concierne á los movimientos lentos, se han discutido mucho las observaciones referentes al mar Báltico, cuyo nivel ha cambiado sensiblemente desde hace dos siglos, observando que era éste un simple lago de nivel variable alimentado por corrientes de agua y que se vaciaba en el mar del Norte; pero no se puede negar la presencia de plataformas marinas á 200 metros de altura sobre las costas de Escandinavia y 330 metros en la costa del Labrador; igualmente es imposible negar la inclinación tomada, en la región de los grandes lagos americanos, por depósitos recientes, primero horizontales, y se llega de todas maneras para el período contemporáneo á la idea de una emersión progresiva, que debe afectar á estos dos continentes boreales tan antiguamente consolidados, tan estables en apariencia, en los cuales ningún fenómeno volcánico puede intervenir.

Inversamente, los *Fiordos*, que han sido valles de erosión ahondados al aire libre antes de la invasión de los hielos, prueban, en estas mismas regiones, un movimiento de inmersión más antiguo; y se tiene en esto, en el corto período del pleistoceno, el indicio de aquellos movimientos paulatinamente des-

cedentes y ascendentes que comprobamos por la Geología en los tiempos antiguos, y que entonces nos asombran por alternativas reiteradas de submersión y de emersión, acompañados de dislocaciones y discordancias conexas de los depósitos.

En cuanto á los terremotos, que se explicaban antes por explosiones del vapor de agua interna y aun por la intervención directa de las masas flúidas ígneas que forman el núcleo del planeta (sin hablar de todas las vagas teorías en que se las relacionaba con el curso de la Luna y del Sol, las estrellas errantes, etc.), está bien demostrado en la actualidad que su centro de conmoción es generalmente de 7 á 8 kilómetros y que nunca pasa de 30 kilómetros de la superficie; es decir, muy lejos de la zona en que, fuera del volcanismo, al cual no están ligados de ningún modo los temblores de tierra, la fluidez interna debe intervenir normalmente. Se ha comprobado también que las áreas de hogares sísmicos, independientes en cierta medida de las zonas volcánicas, corresponden de ordinario á las zonas «geosinclinales» de grandes profundidades marinas (1). Y, por otra parte, las desnivelaciones observadas en ciertos casos, los caracteres mismos del fenómeno han hecho suponer, bastante lógi-

(1) De Montessus de Ballore, *Los temblores de tierra*, 1906. Pueden hacerse algunas restricciones á la manera demasiado absoluta en que ha sido presentada la teoría.

camente, que podía haber en ellos el indicio de un cambio vertical, de una ruptura de equilibrio análogos á los que en el pasado estudia nuestra tectónica; en una palabra, que los terremotos constituían una fase en la formación de las cadenas de montañas.

Luego «la geología continúa», y salvo la evolución cuyas leyes hemos tratado de analizar precedentemente, es verosímil que habrá de continuar largo tiempo aún, de una manera análoga á lo que fué en el pasado, con recurrencias, volviendo á traer sucesivamente los mismos ciclos de fenómenos. Sin traspasar los límites de lo razonable, podemos, pues, atrevernos á indagar en qué sentido se habrán de producir quizá las transformaciones del porvenir.

Las transformaciones futuras.—Por las enseñanzas que nos facilita el pasado, nos inclinamos á tomar nuestro punto de comparación en la era herciniana, hoy en día concluída, para deducir de ella el término aún incompleto de los movimientos alpinos, pudiendo de este modo imaginarnos vivir en una era equivalente al fin del triásico ó al comienzo del jurásico. Los grandes plegamientos que han hecho surgir todas las cordilleras, á la vez las más recientes y las más altas del globo, los Alpes, el Cáucaso, el Himalaya, los Andes, parecen terminados. La intensidad primera de las erosiones que al final del plioceno y al comienzo del pleistoceno ha ejercido sobre estas cadenas plega-

das tales destrozos, transformado tales masas de aluviones y apisonado tan extensamente los terrenos para asegurar el libre curso de las aguas, con tendencia á un perfil de su equilibrio, está casi agotada; y la misma actividad volcánica es infinitamente menor de lo que ha sido en el plioceno. Nos hallamos, según todas las apariencias, en una fase de calma que es posible se prolongue largo tiempo todavía, acabando de gastar las montañas, de suprimir los diques ó las cascadas, de regular el curso de los torrentes, de llenar los lagos, de pulverizar los guijarros sobre nuestras costas, de acumular el limo en nuestros estuarios, mientras que en otras partes se edifican los arrecifes coralinos, ó que en el fondo de las aguas se acumulan en sedimentos calcáreos las conchas y las espículas.

Pero no existe, como acabamos de ver, ninguna razón para presumir que los movimientos del pasado no se reproducirán en lo futuro, ni para atribuir á la costra terrestre una estabilidad definitiva, de que no ofrece indicio alguno cuando se la estudia. Por el contrario, se puede imaginar que el espacio que ha quedado libre en nuestras regiones europeas por los plegamientos entre los macizos consolidados de la Europa central y el macizo igualmente resistente del Africa central, pueden sufrir, siguiendo la zona mediterránea, plegamientos análogos á aquellos que más al Norte y más al Sur se han producido ya en un espacio cada vez más limi-

tado en las diversas fases de la historia geológica, el último de los cuales ha hecho surgir los Andes con todos sus ramales.

Igualmente se observan en seguida dos zonas débiles de la corteza terrestre, que parecen destinadas á formar «geosinclinales» futuros y ulteriormente cadenas plegadas. Nos referimos á esas dos líneas de ruptura, marcadas una de ellas por esta serie de reboses volcánicos que dibujan el eje del Atlántico, y la otra por el hundimiento lineario de los grandes lagos africanos. Y aún sería lógico suponer un crecimiento de los dos continentes asiáticos y europeos en el sentido del Pacífico, por la formación á lo largo de nuevas arrugas montañosas, viniendo á reproducir paralelamente aquellas otras que en las mismas regiones han surgido ya en la época terciaria, etc., etc.

En casi todos estos casos, la inducción, fundada únicamente sobre las observaciones geológicas, encuentra su apoyo en la posición de las áreas sísmicas, naturalmente supuestas en relación con las zonas inestables del globo. El espesor de la costra no es, sin duda, el mismo en los dos casos, y parece encontrarse un indicio de ello (entre muchos otros) en las diferencias notables que presentan los grados geotérmicos medidos, por ejemplo, en las minas del lago Superior ó en los sondajes de Auvernia. Pero como este mismo espesor ha sido siempre muy débil, estas variaciones deben ser muy restringidas, y la historia geológica nos demuestra,

conforme hemos visto ya, estallamientos completamente imprevistos, con manifestaciones volcánicas conexas, en el corazón mismo de macizos anteriores mejor asentados en apariencia.

De todos modos, no son éstas otra cosa más que simples suposiciones, que pueden ser formuladas sin peligro de contradicción, así como tampoco tienen demostración posible, porque ni nosotros ni las generaciones que habrán de seguirnos durante largo tiempo podrán verlas desmentidas ni realizadas. No obstante, me he creído en el deber de indicarlas para mostrar de qué modo, como tuve ocasión de anunciar al comienzo de este libro, la geología se propone, reconstituyendo las leyes del pasado y determinando las que han regido su realizada evolución, aplicar estas mismas leyes (como se puede hacer en física, en mecánica ó en astronomía) para la previsión más ó menos lejana de una evolución futura.

CAPÍTULO IX

HISTORIA DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

La influencia de las teorías filosóficas sobre la coordinación de los resultados paleontológicos.—El periodo de Cuvier.—El periodo de Darwin.—Las ideas actuales.—La ley general de la evolución y sus etapas sucesivas para la fauna y la flora.—El sentido de la evolución futura.

Objeto y dificultades de la paleontología.—Casi hemos llegado al término de esta obra, y contrariamente á lo que se acostumbra en geología, he pasado en silencio las subdivisiones de la historia terrestre, basadas sobre la transformación de los seres organizados, y apenas si de cuando en cuando hice algunas alusiones á esta transformación misma de los organismos, para no fijarme más que en la Tierra, considerada como soporte sólido, sobre el cual este fenómeno transitorio de la vida ha aparecido un día para evolucionar después.

Quizá habrá sorprendido mi actitud á muchos lectores, y aún les sorprendería más que dejase de lado la historia de la vida sobre la Tierra, con el pretexto de que este fenómeno desempeña un papel insignificante

en su estructura, y hasta hubiera podido dejar de existir sin afectar ningún cambio de importancia en el planeta.

Pero la historia de esta vitalidad efímera, por una multitud de razones que es ocioso enumerar, ofrece un interés tan esencial, tan predominante, á la mayor parte de los espíritus, que el problema se plantea para ellos de un modo inverso; es decir, que la historia material de las deformaciones terrestres no resulta, para los que así piensan, más que como un simple medio de reconstituir con precisión la historia de los organismos vivientes.

La ciencia que estudia esta historia es la paleontología, y su método puede exponerse en dos palabras, pues consiste, luego de haber clasificado los sedimentos según su orden de superposición, y por consecuencia, según su edad relativa, en recoger, agrupar y determinar los restos orgánicos depositados en cada uno de ellos, comparándolos después con las especies todavía existentes, para deducir de esta comparación las leyes según las cuales la transformación de los seres se ha operado en el curso de las edades.

Si desde el primero al último día poseyéramos una muestra de todos los seres que han vivido, en un estado de conservación tal que pudiéramos por ella especificar y analizar la estructura de cada ser, determinando además su modo de vida, el problema planteado sería fácil de resolver. Pero en la

práctica no sucede nada de esto; el número de los tipos que han llegado hasta nosotros es ínfimo, porque pocas veces se han reunido las condiciones especiales que se necesitan para que se perpetúen los restos orgánicos. Excepto en los pisos recientes, donde se conserva en cierta medida la forma continental, los seres antiguos no han podido ser salvados más que cuando vivían en el agua ó en su vecindad. Las especies terrestres de los períodos un poco lejanos no nos son, pues, conocidas sino de una manera imperfecta, lo que contribuye, sin duda, á hacerlos retardar su aparición y á disminuir su importancia. Cuanto más retrocedemos en el pasado, con mayor frecuencia nos encontramos también enfrente de sedimentos que, según todas las probabilidades, han debido sufrir los efectos del metamorfismo y de la cristalización, en los cuales se borraron hasta los últimos vestigios de la vida orgánica, de manera que no tardamos en llegar á un período en que la fauna entera desaparece, en que la misma edad y el orden de sucesión de los terrenos se nos escapan, en que bruscamente nos encontramos circundados por las tinieblas más absolutas; y no porque ningún ser organizado haya vivido antes de este período, sino porque ninguno de ellos pudo llegar hasta nosotros.

Así, pues, por todos lados se encuentran hiatos, lagunas, comienzos de series de pronto interrumpidas, tipos desaparecidos sin transiciones y sin suturas, y en el principio, has-

ta cierto período que se ha llamado precambriano, la nada absoluta: he aquí lo que nos ofrece la paleontología.

Hay que añadir que la distinción de las especies y la clasificación de los seres organizados, aun cuando se trate de seres vivos, son cosa bien delicada, convencional y abandonada por lo general al libre albedrío, á la teoría preconcebida del sabio. ¿Qué ocurrirá cuando sólo se posean como materiales de estudios algunas partes óseas, esqueletos, carapachos ó huellas? Al encontrarse muchas veces, como suele ocurrir con frecuencia, veinte formas yuxtapuestas de conchas análogas en un mismo depósito donde indudablemente vivieron juntas, tal paleontólogo creará, y hasta parece que con razón, que las debe colocar todas en la misma especie. Encontrando formas mucho más asimilables en pisos diferentes, otro sabio las dividirá en especies diversas. Si fuesen bastante numerosas, una observación compensaría la otra; pero cuando son raras, la objeción subsiste y la determinación paleontológica que debería constituir el punto de partida de la clasificación estratigráfica, resulta entonces algunas veces, por consecuencia casi fatal, un verdadero círculo vicioso.

Por eso, en presencia de tales dificultades inherentes al asunto mismo, los que han querido reconstituir la historia de los seres, casi siempre han seguido más ó menos implícitamente un camino inverso al que hubiera exigido la sana lógica.

En vez de estudiar sin idea preconcebida la serie paleontológica, para buscar solamente en las ciencias biológicas y embriológicas puntos de comparación y deducir finalmente de ellas una teoría filosófica, la tesis filosófica ha servido de base á los biólogos y embriólogos, que han interpretado y forzado á su capricho los resultados de la paleontología para adaptarlos á su teoría y á sus experimentos. La historia de la vida sobre la Tierra ha sido escrita en gran parte, no según los documentos que su transformación ha dejado en nuestros estratos, sino según las concepciones inspiradas por los fenómenos actuales, tratando ulteriormente de encontrar su aplicación en el pasado.

Durante toda la primera mitad del siglo anterior, como ya tuve ocasión de explicar más de una vez, esta historia aparecía muy simple, puesto que consistía en una serie de creaciones sucesivas, enteramente independientes una de otra y reconstituídas de arriba á abajo por una especie de «refundición» completa después de cada cataclismo.

Luego, á partir de 1859, vino el período darwiniano, en el que se daba una explicación completamente distinta á todos los fenómenos, pero también muy simplicista; esto es, cadena continua y única de los seres, poco á poco seleccionados en la lucha por la vida y las necesidades de la reproducción sexual, partiendo de un ser ínfimo y llegando después, por una línea progresiva, hasta el ser superior, que es el hombre.

Pero ante la complejidad de la Naturaleza, las teorías demasiado simples permanecerán siendo, hasta el día en que la Ciencia se aproxime á su término, andamiajes provisionales, basados por lo general en un número insuficiente de observaciones. Las leyes simples que nuestra imaginación supone, tienen muy poca probabilidad de ser vistas en cuanto lanzamos la primer mirada sobre la Naturaleza. La teoría darwiniana, en su conjunto, ha pasado de moda, y aunque el fermento arrojado en los espíritus por el genio de Darwin quede en el origen de las propias teorías que la contradicen, se consideran de ordinario los hechos completamente diferentes y mucho más de acuerdo con la concepción primitiva emitida por Lamarek.

Ideas actuales sobre la evolución.—La influencia que en la actualidad se considera dominante es la del medio. Adaptación ó reacción contra este medio, igualmente provocadas por la necesidad de vivir, he aquí las dos bases (un poco contradictorias, es forzoso decirlo) de todas las tesis actuales en las que se supone modificaciones de la célula vital ó agrupamientos celulares (las «colonias de zoonitos», de M. Perrier), producidas bajo la acción del medio, conservadas por atavismo y transmitidas largo tiempo en el estado potencial, hasta el día en que ellas provocan un cambio en la especie, una fase en la evolución. En dos palabras, la necesidad crea por de pronto el órgano ó la facultad, que se per-

petúan en seguida por la herencia, aun cuando dejen de resultar útiles.

En esta idea, sobre la cual he de volver, cada especie actual depende, pues, de sus antepasados y de las condiciones de vida á que estos antepasados vivieron sometidos; y es, además, la consecuencia y el coronamiento de un árbol genealógico. Al tratar de reconstituir éste se reproduce, por una imagen de la antigua evolución infinitamente acelerada, el desarrollo embriogénico, donde, una vez adoptada la teoría, podemos llegar á sorprender el dibujo general.

Este árbol genealógico que consideramos así para el caso restringido de un ser determinado (sea ascendiendo por la paleontología el camino recorrido desde la extremidad de una rama hasta la raíz, sea siguiendo por la embriogenia el camino inverso, aunque siempre para una sola corriente continua de savia), debe la paleontología permitirnos reconstituírle en toda su complicación real, á partir del origen único ó múltiple, con su tronco poco á poco bifurcado en infinidad de ramas. Se concibe así que existan simultáneamente innumerables especies, descendiendo de un mismo antepasado, habiendo evolucionado durante el mismo tiempo, pero en condiciones de vida diversas y que pueden ser totalmente diferentes, al propio tiempo que parecen representar fases muy desiguales sobre esta serie de escalones mal definida que se llama, por un resto de psicología, el perfeccionamiento ó la superioridad. Hay

en la familia parientes ricos y parientes pobres.

Por otra parte, parece difícil que muchos árboles genealógicos distintos hayan llegado á dar dos seres realmente idénticos, puesto que habría necesidad de una extraña coincidencia en todas las circunstancias por las cuales han sido producidos estos seres. Todo lo más que se puede suponer es que habrán dado seres análogos; pero entonces, inversamente, no hay ninguna razón teórica para que los árboles genealógicos de todos los seres converjan hacia una raíz común, como parecen admitir la mayor parte de las teorías de una manera implícita; para que no haya, en suma, más que un solo árbol genealógico extremadamente ramificado. Cualquiera que sea la causa primera de la actividad vital, y cualquiera que sea su forma primitiva, es muy difícil de admitir (á menos de suponer lo que en otro orden de ideas se llamaría un milagro) que las condiciones necesarias para la producción de la vida se hayan realizado una y única vez desde el origen de la Tierra, ó que partiendo, por ejemplo, la evolución de la misma célula primitiva en diversas fases de la historia terrestre, haya reproducido siempre exactamente los mismos seres, á pesar de las variaciones de todos géneros introducidas por el tiempo en los medios distintos en que estos seres se desarrollaban (1). En lo que concierne á la

(1) Á esto tienden, sin embargo, las teorías en que se trata de demostrar que la vida animal se ha esfor-

primera hipótesis, tan digna de ser examinada cuidadosamente, el carácter propio de un hecho físico es el de repetirse cuando se renuevan todas las condiciones que le han determinado; por lo tanto, se debe de suponer, en pura lógica, que estas condiciones materialmente necesarias para la vida debieron de realizarse diferentes veces, según las probabilidades; y en épocas muy diversas ha debido existir también un gran número de estos troncos primitivos, destinados á bifurcarse evolucionando. Y si en realidad, la serie de estos «fenómenos» originales se ha reproducido en períodos sucesivos hasta el nuestro, hay una razón más para encontrar simultáneamente seres procedentes de un árbol genealógico distinto y correspondiendo á fases desiguales en el curso de la evolución.

Por último, un carácter al cual se tiende hoy á atribuir mucha importancia, es el de la

zado siempre por mantener condiciones originales bastante particulares. Pero estas condiciones no son tan particulares, no obstante, que no hayan podido y debido encontrarse realizadas muchas veces, por lo menos localmente. Imaginemos, por ejemplo, una célula inicial a , comenzando á evolucionar antes del precambriano, y dando las especies a' , a'' , a''' ; en los períodos siguientes, no importa en cuál lugar, debieron existir (ó producirse) otras células iniciales, análogas ó semejantes; si se toma en cuenta una cualquiera de ellas, b , aun admitiendo que haya sido idéntica á a , no hay ninguna razón para que, comenzando á evolucionar más tarde é independientemente de la primera en un medio diferente, haya dado seres b' , b'' , b''' , y que estos seres hayan sido idénticos á a' , a'' , a''' . He aquí dos árboles genealógicos independientes.

brusquedad que podrían acusar los hechos evolutivos, mientras que otras veces se admitía con Darwin únicamente la acción lenta. En la actualidad existe una tendencia á asimilar en cierto modo las familias, los agrupamientos de individuos, por vastos que los supongamos, á estos mismos individuos. El ser, por de pronto débil, aumenta, llega á un período de prosperidad, en que se reproduce y retoña, y luego declina y muere. La manifestación creatriz que de un ser único hace surgir innumerables seres, no se produce insensiblemente, sino con rapidez, en una fase propicia. Los experimentos recientes de M. de Vries han dado mucho crédito á la teoría según la cual, las especies aguardarían así durante largo tiempo un período favorable en que de un salto darían nacimiento á una multitud de especies nuevas. Muestra, en efecto, la historia paleontológica que para cada categoría de seres ha sido encontrado un período en que estas variaciones eran incesantes y multiplicadas, y en el cual daban lugar á infinidad de categorías nuevas; después de esto, en los períodos siguientes, el número de estas especies disminuye, preparando de este modo la desaparición total del conjunto.

Basta con citar, como ejemplos bien conocidos, el de los cefalópodos, que durante el siluriano (4) facilitan más de 1.000 especies; el de los graptolitos, cuyo período floreciente es también el siluriano antes de su desaparición al final de este piso; el de los braquió-

podos, que alcanzan su apogeo en esta misma conclusión del siluriano y cuentan en un momento con más de 6.000 especies, para no estar ya representadas en la actualidad más que 140 especies; el de los vegetales, que durante la época carbonífera constituyen un indicio precioso para la estratigrafía; y por fin, el de los mamíferos, que evolucionan y se diversifican con rapidez suficiente para permitir datar los terrenos, mientras que la evolución de las faunas marinas es mucho menor en el mismo tiempo.

Se ha llevado tan lejos esta idea, que hasta se ha propuesto admitir como característica del grado de evolución y de avance de un grupo, el número de las especies que le constituyen y su variabilidad, mirando, por ejemplo, á las aves, cuyas especies son casi indiscernibles, como uno de los grupos más tarde aparecidos, y en que menos se han dejado sentir los efectos de la evolución. Mucho habría que decir sobre esta teoría, pues hay necesidad de tener en cuenta las necesidades del medio, que han podido exigir más ó menos variaciones adaptativas, según que este medio fuese más uniforme, como el mar, ó más mudable en sí mismo, como un continente.

La verdad es que, á menos de penetrar en las regiones de la psicología, se encuentra uno muy embarazado cuando, llegando hasta el fondo de estas explicaciones «provisoriales», tropieza con estas dos tendencias contradictorias, por las cuales se ha intentado

resumir la evolución del mundo orgánico: «adaptación» á un medio desfavorable con actividad detenida, y «reacción» contra él con actividad aumentada. En ausencia de hechos precisos, no podemos menos de considerar el segundo caso como un indicio de «superioridad» y acusando, por consecuencia, una fase más avanzada de la evolución, pues parece que ésta ha producido como resultado el de dar al ser orgánico facilidades cada vez mayores para vivir con más independencia de su medio, para circular con más libertad y para entrar más ampliamente en posesión de la Naturaleza por el auxilio de órganos más sutiles. Pero todo esto no constituye más que una simple idea preconcebida, y cuando nos arriesgamos así á proceder por inducción para reconstituir la cadena lógica de los seres orgánicos, supliendo con ella tantos eslabones ausentes para el paleontólogo, podemos imaginar, bajo otras muchas formas aún, esta «superioridad» progresivamente adquirida. La duración de la vida, por ejemplo, parecería por de pronto digna de ser considerada; si se despreciasen los hechos de observación, y si se admitiera que el solo fin de la vida es el de vivir, aunque esta vida fuese la más restringida, la más inerte y la más análoga á la de la materia bruta, que realiza en mayor escala la superioridad sobre los seres organizados de retardar, de no conocer la muerte, aún podríamos considerar la perfección de los sentidos, aunque á condición, no obstante, de que el desarrollo de uno no pro-

duzca una atrofia de todos los demás; porque el olfato del perro, la velocidad del caballo, la vista del águila y el instinto del pájaro emigrante, parecían una compensación insuficiente al hombre si tuviera que soportar todos los inconvenientes que lleva la vida de aquellos animales.

De todos modos, los sabios se han lanzado en esta vía peligrosa y llena de incertidumbres. Es preferible, por lo tanto, desterrar, provisionalmente al menos, estas palabras de superioridad, de progreso, de tendencia, etc., que hacen atribuir á la célula ó á los agrupamientos celulares una especie de antropomorfismo psíquico, para limitarse, en tanto que no se sale del dominio de la ciencia positiva, á comprobar, en la medida posible, el camino recorrido, sin pretender calificarle ni prejuzgar si ha habido avance ó retroceso. Siempre tendremos tiempo, cuando aborremos deliberadamente otros dominios, de apreciar, según nos convenga, el sentido de la senda recorrida por los seres diversos, y sobre todo por aquél de entre ellos que consideramos, á pesar de todo, como superior á los demás, á fin de determinar en cuál sentido habrá de continuarse la evolución futura.

Historia de los seres organizados.—Entre las teorías modernas que se han formulado con el propósito de coordinar la historia del mundo orgánico, escogeré para someterla á la crítica la de M. Quinton, teoría, según mi parecer, demasiado simplificadora y en mu-

chos puntos discutible, pero de la cual se puede sacar más de una idea sugestiva. Consiste, como ya hemos dicho, en admitir que la célula ha aparecido en un medio marino particularmente propicio, cuya temperatura era de 44° y la salobridad de 8 á 9 gramos por litro (en vez de la concentración actual de 33), y que, desde entonces, la vida animal ha «tendido» siempre á mantener en cada ser el medio marino original, una especie de «acuarium», en medio del cual viven las células. Habiendo tenido los seres, cada vez en mayor escala, á medida que su tipo es más reciente, la facultad de reobrar hacia el exterior contra el medio ambiente por «reacción térmica y por distensión osmótica», para reconstituir interiormente este medio inicial, adquiriendo de este modo una vida más acelerada. Los hechos positivos sobre los cuales se apoya esta teoría, son los siguientes, en resumen:

En primer lugar, la existencia en los seres vivos, del medio salino, más ó menos análogo al agua del mar, es un resultado experimental. Por ejemplo, en un hombre que pese 60 kilogramos, existen 20 de agua del mar; se puede inyectar á un perro el equivalente de su peso en agua del mar, y se le puede sangrar por completo y reemplazar la sangre por aquel líquido en igual cantidad; y, por último, se pueden hacer vivir, en el agua del mar, los glóbulos blancos de un animal cualquiera.

En segundo lugar, si se estudian los animales en el orden de su aparición, se encon-

trará: en los invertebrados, hasta 33 gramos de cloruros; en los peces cartilagosos (tipos antiguos), de 16 á 22 gramos; en los peces óseos (tipos más recientes), de 9 á 11; en los de agua dulce y en los vertebrados terrestres, de 6 á 8. Una hipótesis que yo adopto con mucho gusto, y á la cual he llegado por un camino diferente, como dejo dicho, lleva á suponer que la salobridad de los mares ha ido aumentando progresivamente, y que, por lo tanto, los peces más antiguos, casi incapaces de reobrar contra su medio (1), y con mayor razón aún los invertebrados, cuyo medio vital es solamente el medio exterior introducido en ellos por ósmosis, se han adaptado poco á poco á esta salobridad creciente, mientras los seres marinos más recientemente formados, como los peces óseos, ó los antepasados de nuestros vertebrados, han adquirido cada vez con mayor vigor la facultad de reobrar contra la concentración de su medio por una «distensión osmótica», en virtud de la cual podían mantener en sus tejidos una salobridad inferior á la del medio. En los seres salidos hace largo tiempo del medio marino, como los mamíferos, se habría conservado con extraordinaria constancia, é in-

(1) Esta reacción contra la salobridad del medio destinada á conservar la salobridad original, constituye la distensión osmótica equivalente á la reacción térmica, y, como ésta, progresivamente aumentada con el tiempo, de suerte que los peces óseos, es decir, los más recientes, llegan á contener solamente de 9 á 11 gramos de sal en un medio de 33 gramos.

dependientemente de todas las circunstancias exteriores, la salobridad original de los mares, en la cual su célula había encontrado las circunstancias más propicias (1).

Esta hipótesis general, como la mayor parte de las que se han formulado recientemente, nos lleva á suponer como origen de la vida células independientes, ó simétricamente agrupadas, según un principio análogo al de la cristalografía. Algo así como los protistas mono ú homo-celulares de Hæckel.

La paleontología no puede confirmar ni negar esta suposición, pues ya he dicho que el metamorfismo sufrido por los terrenos más antiguos ha debido eliminar todo rastro de vida organizada. Todos los terrenos anteriores al precambriano (1) conocidos por nosotros hasta ahora, han adquirido, sin excepción, este aspecto cristalino, y algunos han supuesto que aquellos terrenos constituyen la primera costra de consolidación terrestre. Existen en ellos probablemente, aunque en un estado indiscernible, los sedimentos de

(1) M. Quinton ha tratado de probar, para el caso de los cetáceos, que según él son mamíferos terrestres adaptados á la vida marina después del eoceno, que la concentración salina de los mamíferos terrestres eocenos no excedía mucho de la de los mamíferos actuales. Esto constituye para él la prueba de que el medio terrestre ha modificado muy poco la concentración salina de los vertebrados, y que, por consecuencia, la salobridad primitiva de los mares, en los cuales vivieron antes sus antepasados, no excedía mucho de 7 á 8 gramos. El conjunto de esta teoría ha sido vivamente censurado por M. Le Dantec.

períodos enormes, durante los cuales todas las evoluciones han podido comenzar; pero no tenemos medio de decir nada, y aun cuando se encuentren un día, como hay derecho á esperar, algunos sedimentos no metamorfoseados con restos orgánicos anteriores al precambriano, es casi imposible que hallemos en ellos el rastro de seres blandos, sin carapacho ni esqueleto que debieron predominar en el origen.

En el mismo precambriano (1) apenas conocemos otra cosa más que algunas huellas, probablemente dejadas por anélidos arrastrándose sobre el limo pastoso. Pero desde que el cambriano principia (2), la fauna llamada primordial nos ofrece ya seres singularmente diversificados y complejos; braquiópodos, uno de los cuales, la língula, se ha conservado sin cambio hasta nuestros días: trilobitas, cuya embriogenia revela ya una larga serie de antepasados; equinodermos; espongiarios; graptolitos; y quizá medusas y anélidos. La segunda fauna (ordoviciense 3) está caracterizada principalmente por la abundancia de los trilobitas con algunos cefalópodos; pero desde entonces aparecen peces ganoideos y un escorpiónido. La fauna tercera (*gothlandiano* 4) marca el desarrollo de los nautilidos con conchas rectas ó enroscadas y el de los braquiópodos; los cefalópodos resultan extremadamente numerosos; los graptolitos desaparecen. Luego los insectos, y probablemente los batracios, se presentan en el devoniano (10); los reptiles, en el carbo-

nífero (13); los mamíferos, bajo la forma de marsupiales, en el triásico (18); los primeros mamíferos placentarios, en el eoceno (41); el hombre (1), en el pleistoceno (58).

Resulta, por lo tanto, que al principio existe un medio marino universal, después comienzo de respiración aérea con seres intermedios entre los animales acuáticos y los animales terrestres, tales como los peces (Dipneustos), teniendo á la vez branquias y pulmones, y especialmente los batracios, que comienzan por las branquias de sus antepasados para adoptar en seguida la respiración pulmonar. Los insectos y los reptiles son los primeros seres francamente continentales; de los batracios, cartilaginosos sin duda en el principio, hay transición á los reptiles carboníferos, cuyas vértebras, por de pronto rudimentarias, se sueldan poco á poco. Pero luego los reptiles pasan ellos mismos á los mamíferos y á las aves; la transición de los reptiles á los mamíferos se verifica aparentemente por los teromorfos permotriásicos, que son reptiles carniceros, y por los monotremos, que son mamíferos inferiores; la de los reptiles á las aves se verifica mucho más claramente por los reptiles voladores, los

(1) La existencia del hombre antes del pleistoceno, digase lo que se haya dicho, no ha sido nunca demostrada; si ha existido antes, como es perfectamente posible, sería muy extraño que no se encontrase un día, en un terreno anterior, alguna parte de su esqueleto, y no únicamente fragmentos de sílex muy problemáticos.

iguanodontes, cuyos miembros posteriores anuncian los de los pájaros; los quelonios (tortugas), de pico córneo como el de las aves, y, como postrer escalón, los primeros pájaros jurásicos que aún tienen dientes como los reptiles.

Finalmente, los mamíferos representan un último grupo, muy homogéneo en su plan, aunque muy diversificado en su forma por consecuencia de variaciones adaptativas procedentes del régimen alimenticio ó al modo de locomoción que de él resulta. Comienza este grupo por los marsupiales triásicos (18), algunos de cuyos descendientes aún subsisten; después, muy largo tiempo después, en el eoceno (41) aparecen los mamíferos propiamente dichos ó placentarios, con cinco tipos, uno de los cuales parece ser el tronco de los insectívoros y de los carnívoros; el segundo de los roedores, el tercero y el cuarto de los ungulados, el quinto de los lemúridos y de los simios. El sistema dentario, que, como nadie ignora, es para esta categoría de animales el elemento más característico en que se acusa mejor su diferenciación, permite establecer, al mismo tiempo, entre las especies aproximaciones y series, cada día más numerosas por descubrimientos nuevos, que han venido á confirmar las correlaciones entre las diversas partes del sistema óseo.

De igual modo en botánica, los vegetales inferiores y marinos, tales como las algas, se muestran los primeros. Las plantas terrestres comienzan únicamente al fin del siluria-

no (4). En este momento, las criptógamas vasculares, vegetales sin flores y de generaciones alternas, predominan. Después viene la era de las gimnospermas, que principian con las cordaitadas del givetiense (8), se acentúan con los pteridospermas carboníferos (12), y resultan predominantes con las cicadofitas y las coníferas del triásico (17) á la terminación del jurásico (31). En fin, antes del cretáceo (32) comienza la era de las angiospermas, en las cuales los óvulos están mejor protegidos. Estas plantas son, por de pronto, monocotiledóneas (palmera), después dicotiledóneas (la mayor parte de los árboles actuales). Las higueras, los olmos, los plátanos, los álamos, datan del cretáceo inferior (32); los sauces, las hayas, los abetos, los magnolios, los laureles, del cenomaniano (36); los castaños, y quizá las encinas, del cretáceo superior (40).

M. Zeiller ha hecho notar además con cuánta brusquedad aparece de pronto una especie, por algunas muestras esparcidas en medio de una flora anterior, pero ofreciendo ya todos los caracteres que habrá de presentar más adelante.

Tales son, en resumen, los hechos adquiridos; tal es el campo recorrido por la Ciencia natural experimental para reconstituir la historia de los seres organizados. Si pretendiéramos ir más lejos y, mirando hacia el objeto final de toda ciencia, tratáramos también de deducir la ley general de estos hechos pasados para prever la evolución futu-

ra, nos veríamos obligados á entrar en un dominio más aventurado.

El sentido posible de la evolución futura.—La serie ya realizada de los seres, nos ha conducido de unos en otros hasta llegar al ser particular, en quien nos vemos obligados á reconocer, si no una naturaleza especial, facultades intelectuales, por lo menos, que ni el mundo organizado, ni el mundo material, nos habían ofrecido hasta entonces. El progreso de esta inteligencia, que es forzoso apreciar con instrumentos nuevos y traducir en un lenguaje distinto, resulta un elemento esencial dentro de la evolución futura. Se me perdonará, pues, que antes de concluir aborde aquí una cuestión que parece más propia de los ensueños un poco fantásticos del poeta, que de la rigurosa lógica del hombre de ciencia.

Si tratamos de caracterizar en su conjunto el sentido de la evolución pasada, lo primero que llama nuestra atención es la tendencia creciente de los seres organizados á la independencia del medio y á su especialización. Esta tendencia la hemos considerado hasta ahora como el resultado de acciones materiales, de fuerzas físicas equilibradas, de necesidades vitales, y también hemos tratado, en tanto que nos lo permitía el lenguaje, de evitar todo lo que pudiera contribuir á hacer ver en ello un esfuerzo, una voluntad, un libre albedrío. Pero no hemos podido por menos de ser conducidos á invocar

un poder cada vez más desarrollado en los organismos menos antiguos para resistir al medio exterior y reconstituir, á pesar de él, un medio interior más favorable para la vida de la célula, por una reacción térmica creciente, por una distensión osmótica aumentada.

Consideremos ahora la escala entera á partir del mundo inorgánico. ¿Qué vemos en la materia? Equilibrios de fuerzas físicas. Estos equilibrios se traducen, siempre que el medio lo permita, por la forma cristalina, que constituye su expresión concreta y su síntesis, y, entre las formas cristalinas, por la más perfecta de todas, que es la forma cúbica. Las mismas moléculas disimétricas se amontonan y se agrupan también en apilamientos cúbicos; de este modo sus fuerzas interiores hacen equilibrio á las fuerzas externas. Así parecen resistir mejor á la destrucción. Por este motivo, los cristales, conservados en su licor madre, como los seres vivos, se alimentan, crecen, reconstituyen las partes cuando se las despoja de ellas y cicatrizan sus heridas.

Cuando se pasa al mundo organizado, esta simetría, que era la ley esencial, aun cuando continúa subsistiendo, se atenúa cada vez más, á medida que la evolución avanza, y cede el primer papel á otras leyes. En lugar de un centro de simetría, que puede subsistir en el ser absolutamente elemental y apenas distinto de su medio, se tiene bien pronto más de un eje (como en los radiados), después solamente un plan que ya no determina por sí

mismo más que la apariencia exterior del ser complejo, la estructura de su periferia, donde se localiza la defensa contra los elementos extraños (1). Mientras que interiormente la célula guarda su forma y sus primeros agrupamientos en el medio vital, esta forma exterior aparece, al mismo tiempo, más y más complicada por la aparición de órganos múltiples. El ser viviente ha adquirido, por su evolución, una independencia que le permite moverse, resistir, huir, luchar y reobrar contra el medio exterior, en vez de someterse, de adaptarse y de fundirse con él. Por esta reacción llega á conservar el medio vital necesario, sin verse constreñido, como al principio, á agrupar todas sus moléculas para la defensa en un inmóvil poliedro centrado.

Cuanto más progresa la evolución, más aumenta también esta fuerza de reacción, como hemos visto. Traducida en otro lenguaje, parece producir como consecuencia directa cierta apariencia de libre albedrío, que se manifiesta ya en la planta, dirigiéndose hacia el aire libre ó inclinándose hacia el

(1) La sensibilidad que permite esta defensa, alcanza su máximum de intensidad en la epidermis. No sentimos lo que pasa en nuestro cerebro, en nuestro corazón ó en nuestro pulmón. La sensación entra por un órgano sensual y recorre, sin que nos demos cuenta de ello, algunos filamentos nerviosos, como alambres eléctricos, atraviesa los conmutadores del cerebro, y sus reflejos vuelven á accionar hacia afuera de otros órganos, y únicamente en la periferia son perceptibles de nuevo.

Sol, tendencia que se acentúa en los animales y encuentra su última y suprema expresión en el hombre. En esta independencia con respecto al medio, en este «libre albedrío» es donde se revela la marcha de la evolución, marcha que cuando se la compara con la actividad de un Fidias ó de un Platón á la inercia de un cristal de pirita, nos parece que llega á su máximum de superioridad. Si la «reacción térmica» de los mamíferos basta para probar su postrera aparición á la de los peces, un paso más decisivo se dió el día en que, según el hermoso símbolo de los antiguos, el fuego del cielo fué conquistado por Prometeo.

Esta «superioridad» de una especie sobre otra, que no es, en realidad, otra cosa más que la expresión simbólica del camino recorrido por la evolución, siempre en el mismo sentido, de la más antigua á la más reciente, conduce á manifestaciones muy diversas para todas estas razas, cuyas ramas genealógicas han ido divergiendo. No hay que imaginarse que la evolución tenga siempre el carácter de inteligencia, pero, según todas las vías que ha recorrido la marcha de un punto á otro, se ha producido en igual sentido, y en este sentido de la evolución definimos el progreso. Todas las especies, cualesquiera que ellas sean, tienden hacia la «superioridad», siguiendo la vía escogida, y, dentro de una especie, los que no pueden alcanzarla, no tienen posibilidad de vivir, porque una selección implacable los elimina.

Superioridad, repito, de naturaleza bien variable, según los casos y según el órgano al cual la especie ha confiado la preservación de la vida. Allá en lo más bajo de la escala, entre los primeros seres aparecidos sobre la Tierra, tenemos animales cuyo esfuerzo único, si á esto se puede llamar un esfuerzo, consiste en ocultarse, en desaparecer, en someterse al medio en lugar de resistirle, en adaptarse, en confundirse con él: ejemplo, las medusas transparentes como el agua que las circunda y los moluscos primitivos. Un poco más tarde, el animal se ampara bajo una concha, bajo una coraza, bajo un carapacho, cuyo espesor se acrece para protegerle. Más tarde aún huye, y la longitud, la movilidad de sus piernas constituyen sus elementos de progreso. Después comienza á defenderse, y sus armas se afilan, el cuerno, el colmillo ó la garra. Al propio tiempo se agregan á estos medios materiales de preservación, de subsistencia y de reproducción, la destreza, la ingeniosidad, la iniciativa, la inteligencia, que permiten, en fin, á los últimos seres llegados, permanecer casi desnudos como los primeros. Y, en cada especie, se puede decir que la lucha sostenida por el individuo contra el enemigo, con una habilidad, cada vez más grande, tiende, con la eliminación de los incapaces, por la selección vital, á mejorar la raza.

Pero si este progreso es visible en la Naturaleza entera, si en los mismos animales se ha acentuado por el esfuerzo individual,

¡cuánto más grande aparece en el ser que ocupa hoy día la cima de esta escala! En él la fuerza no reside ni en la coraza que no tiene, ni en sus piernas, demasiado débiles para huir, ni en sus garras, ni en sus dientes; está toda entera en el cerebro, en la facultad pensante, que suple á la incapacidad material del cuerpo. La evolución ha desarrollado este órgano pensante, con detrimento de todos los demás; y para que el hombre viva y resista, es forzoso que ella le desarrolle cada vez más; es forzoso asimismo que el hombre encuentre en su sola actividad cerebral los medios de protegerse contra un medio hostil, contra animales mejor armados en apariencia; es forzoso, por fin, que afile él también por el uso, por el esfuerzo individual, esta arma que le es propia, como el león se ejerce en el combate, el perro en el descubrimiento de la caza ó el caballo en la carrera.

Para el hombre, en mucha mayor escala que para todos los demás seres, existe la posibilidad de ayudarse, de acelerar la marcha de la evolución por esta aparente iniciativa, que apunta ya en los animales inferiores y se acentúa cada vez más en aquellos que consideramos como los más elevados de la serie. El hombre que se conforma al plan incesantemente proseguido por la Naturaleza, es, por lo tanto, aquel que se esfuerza en aumentar su desarrollo cerebral. La ley de especialización, que existe en todos los grados de la escala animal, y que la evolu-

ción ha acentuado de día en día, multiplicando cada vez más las especies, le empuja en este sentido. Someterse al medio, confundirse con la materia, como la medusa, ó refugiarse en un pedazo de roca, bajo una coraza, como la lapa, no es propio del hombre, pues ya no puede volver atrás, después de haber tomado otro camino en el origen de las edades; es preciso, por el contrario, que se desprenda de esta materia que le rodea; es preciso que para progresar en el sentido mismo de la evolución, continúe esta lucha contra la carne, cuya admirable ley ha formulado el cristianismo. Su superioridad consiste en pensar, es preciso que piense; su superioridad consiste en trabajar, es preciso que trabaje; su superioridad consiste en indagar la verdad, es preciso que la busque; su superioridad consiste en amar, es preciso que ame. Al hacerlo, arrastra en pos de sí á todos los que le rodean y sobre los cuales influye su ejemplo, y mejora, al propio tiempo, por el atavismo toda su raza futura. Para él, como para los demás seres, la selección ejerce su ley fatal; los que no marchan hacia adelante en la vía donde está formada la Humanidad; los que no se esfuerzan por todos los medios de que disponen en llegar al grado de «superhombres»; los que caminan al revés de la ley natural, encharcándose en el fango ó rompiendo, por su maldad, el lazo de amor sobre el cual la Humanidad solidarizada funda su mayor esperanza de sobrevivir, todos esos no son dignos de estar en el

mundo; son inútiles, son peligrosos, y deben desaparecer.

Henos aquí bien distantes de la geología, que generalmente no tiene otro objeto que el estudio estratigráfico de los terrenos, ó el examen petrográfico de las rocas, que fueron nuestro punto de partida; pero quizá no habrá sido inútil, como conclusión de esta historia de la Tierra, demostrar que la Ciencia no es por necesidad ni deprimente ni demoralizadora; que en la misma evolución, aunque la supongamos directamente sometida al medio, existe un germen espiritualista, y que se puede, mirándola bien, encontrar el motivo de un *sursum corda* en el espectáculo, á primera vista angustioso, de la Naturaleza.

Cuadro cronológico de la Historia de la Tierra.

SISTEMAS		PISOS	HISTORIA DE LA VIDA	HISTORIA DE LA ESTRUCTURA
PRIMARIO	Siluriano.	1. Precambriano.....	Huellas de anélidos.	<i>Plegamientos precambrianos (zona boreal).</i>
		2. Cambriano.....	<i>Fauna primordial.</i> Primeros Graptolitos y Crustáceos.	
		3. Ordoviciano.....	<i>Fauna segunda.</i> (Trilobitas; primeros peces ganoides; primeras plantas marinas.)	
		4. Gotlandiano.....	<i>Fauna tercera.</i> Primeros escorpiónidos (de respiración aérea). Desarrollo de los Cefalópodos. Nautilidos y Braquiópodos. Fin de los Graptolitos. Primeras plantas terrestres (Licopodiáceas).	
	Devoniano.	5. Gedinense.....	<i>Plegamientos caledónicos.</i> (Escocia, Noruega, Montañas verdes).
		6. Coblenziense.....	Crecimiento de los peces ganoides. Fin de los Trilobitas. Desarrollo de las Goniatites.	
		7. Eifeliense.....	Expansión del mar en Europa.
		8. Givetiense.....	Primeros helechos.....	
		9. Frasnense.....	Primeros insectos (neurópteros) y primeros Batracios?	
		10. Fameniense.....	
Carbonífero.	11. Dinantiense.....	Batracios (Estegocéfalos). Numerosos peces (Seláceos). Braquiópodos..... Comienzo de la Era de las Criptógamas vasculares.	Retroceso del mar.	
	12. Wesfaliense.....	<i>Plegamientos hercínianos.</i> (Europa Central, Ural, Apalaches). Reducción máxima de los mares en Europa.	
	13. Estefaniense.....	Primeros reptiles.		
Permiano.	14. Autuniense.....	Comienzo de los Ammonitas.		
	15. Sajoniense.....			
	16. Turingiense.....			

SECUNDARIO

SISTEMAS	PISOS	HISTORIA DE LA VIDA	HISTORIA DE LA ESTRUCTURA
Triásico.	17. Werfeniense.....	Reptiles. (Dinosaurios bípedos.) Primeros Saurios nadadores, primeros Cocodrilos, primeras Tortugas.	
	18. Virglioriense.....	<i>Primeros mamíferos</i> (marsupiales) (?).	
	19. Tiroliense.....	Comienzo de la Era de las Gimnospermas (Cicadofitas y Coníferas).	
Infrajurásico ó Liásico.	20. Rético.....	Insectívoros y Herbívoros. Reptiles nadadores (Ictiosauros y Plesiosauros).	Expansión del mar en Europa... (21)
	21. Hetangiense.....	Primeros Saurios alados (Pterosaurios).....	
	22. Sinemuriense.....	Desarrollo de los Belemnitas. Expansión de los Ostráceos. Raros Equinoideos.	
	23. Charmutiense.....		
Medio jurásico.	24. Toarciense.....		
	25. Bajociense.....	Pequeños marsupiales: Cocodrilos, Dinosaurios. Numerosos Ammonitas y Belemnitas.	
Suprajurásico.	26. Batoniense.....	Desarrollo de los Equinoideos.	
	27. Calloviense.....	Mamíferos insectívoros y roedores, pasando poco á poco de los Marsupiales á los Placentarios.....	Retroceso del mar en Europa.
	28. Oxfordiense.....	Desarrollo de los Pterosaurios (Lagartos voladores), Cocodrilos y Tortugas.....	
	29. Secuaniense.....	Continuación de las Ammonitas y de los Belemnitas.....	
	30. Kimerigiense.....	<i>Primeros pájaros, con forma de reptiles.</i> (Arqueopterix, Estereodáctiles).....	
31. Portlandiense.....	Desarrollo de las Cicádeas..... <i>Comienzo de las Angiospermas</i>		

SISTEMAS	PISOS		HISTORIA DE LA VIDA	HISTORIA DE LA ESTRUCTURA
Infracretáceo.	32.	Neocomiense.....	Apogeo de los Dinosaurios (Iguanodón)....	Comienzo de la expansión marina en Europa..... (32)
	33.	Barremiense.....	Desarrollo de los Cami-deos (Requienia).	
	34.	Aptiense.....	Aparición de los Rudis-tas.	
	35.	Albiense.....	Numerosos Foraminiferos.	
Supracretáceo.	36.	Cenomaniense....	Avestruces, primeras serpientes.....	Expansión máxima del mar en Euro-pa..... (36)
	37.	Turonense.....	Extinción de los Dino-saurios.....	
	38.	Emsqueriense....	Fin de los Ammonitas. Desarrollo de los Rudis-tas.	
	39.	Aturiense.....	Extensión de las Dicote-ledóneas.	
	40.	Daniense.....	Angiospermas.	
Eoceno.	41.	Tanetiense.....	<i>Primeros mamíferos placentarios.</i>	Primeros plegamientos de las Monta-ñas Pedregosas..... (42)
	42.	Esparneciense....	<i>Primeros cuadrumanos (Cenopitecos). Prime-ros Cetáceos y Sirenas,</i>	
	43.	Ipresiense.....	<i>Pájaros (Gastornis)...</i>	
	44.	Luteciense.....	<i>Decadencia de los Bra-quiópodos.....</i>	
	45.	Barteniense.....	<i>Apogeo de los Forami-níferos.....</i>	
	46.	Ludiense.....		
Oligoceno.	47.	Tongriense.....	Paleoterium y Antraco-terium. Reinado de los Paquidermos. Deca-dencia de los Cefalópodos. Progreso de los Gastrópodos.....	Máximum de los pliegues pirenaicos. Formación profunda de las capas pre-alpinas. Epoca del Flisch Alpino. (47)
Mioceno.	48.	Aquitaniense....	Proboscidianos (Masto-donte).	Plegamientos del Atlas, Himalaya. (49)
	49.	Burdigaliense....	Desarrollo de los Her-bívoros.....	
	50.	Helvético.....	Primeros Équidos.	
	51.	Tortonense.....	Apogeo de los Gastrópodos.	
	52.	Sarmático.....		
	53.	Pontiense.....		

Terciario

SISTEMAS		PISOS	HISTORIA DE LA VIDA	HISTORIA DE LA ESTRUCTURA
Plioceno.	54. Plasanciense.....	}	Proboscidianos. Elefante meridional, Rinoceronte, Hipopótamo... Desarrollo de los Cervídeos y Bovídeos.....	Unión del Mediterráneo y del Atlántico. Grandes precipitaciones pluviosas y desarrollo glaciario..... (54) Hundimiento del mar Tirreno y del Adriático..... (55) Fin del hundimiento Atlántico.. (56)
	55. Astiense			
	56. Siciliense.....			
Pleistoceno.	57.	}	Edad del Elefante antiguo..... Edad del Elefante primigenius, Fauna de Toundras..... Primeros hombres paleolíticos. (Chelleanos y musterianos.)..... Edad del Reno. Fauna de las Estepas (Magdalena).....	Clima caliente. Hundimiento del mar Egeo; hendidura del mar Rojo. (57) Frío húmedo. Período glaciario intenso en Europa..... (58) Frío seco..... (59) Mejoramiento del clima en Europa.
	58.			
	59.			
	60.			
			Neolítico. Edad actual.	

ÍNDICE

CAPÍTULO PRIMERO

Historia de las teorías geológicas.

Págs.

La historia de la Tierra: su interés, su papel intermedio entre las ciencias históricas y las ciencias físicas.—Las tendencias opuestas del espíritu humano: actualismo, catastrofismo y evolucionismo; su relación íntima con todas las opiniones filosóficas, religiosas y científicas. El carácter quizá atávico de las dos últimas y su combinación en los sistemas de los griegos y de los hebreos.—Triunfo alternativo de estas tres teorías en la historia de las ideas geológicas. Evolucionismo de Babilonia, de Heráclito y de los pitagóricos. Catastrofismo de las religiones antropomórficas.—Reacción actualista del Renacimiento (Leonardo de Vinci y Palissy).—Los principios de Stenon.—Actualismo de Buffon.—Catastrofismo de Cuvier, de Orbigny y de Elie de Beaumont.—Evolucionismo de Lamarck y Darwin.—Actualismo de Lyell. Retorno actual al catastrofismo y á la saltación.

1

CAPÍTULO II

Principios de los métodos geológicos.

Cómo se puede reconstituir la Historia de la Tierra.—Carácter científico de los métodos geológicos y su grado de precisión.—Nociones fun-

damentales.—La mineralogía.—La petrografía.—La metalogenia.—La estratigrafía.—La paleontología.—La tectónica.—La paleo-geografía.....	36
---	----

CAPÍTULO III

Las fuerzas que han actuado en las transformaciones terrestres, y sus efectos generales.

Agentes físicos, químicos y orgánicos.—Acción del calor y del agua, de la cristalización, de la alteración superficial, del arroyeo de las aguas y de la sedimentación.....	78
---	----

CAPÍTULO IV

La historia de la materia terrestre.

La distribución de los elementos químicos en la Tierra y su evolución posible.—La consolidación de la corteza terrestre y los fenómenos preliminares de la sedimentación.....	89
---	----

CAPÍTULO V

Historia de la estructura terrestre. Su evolución.

- 1.º La generalidad de las deformaciones terrestres.—Los dos tipos de deformaciones (plegamientos y fracturas) y el cambio de su importancia recíproca en el curso de las edades.—Predominio antiguo de los plegamientos; ac-

ción más reciente de los hundimientos.—Localización progresiva de los accidentes con el tiempo.

2.^o Ley teórica y sistemática de las deformaciones terrestres; su plan de conjunto revelado por las más recientes.—Sistema tetraédrico.

3.^o Coordinación geológica é historia de las deformaciones terrestres.—Las cadenas de montañas sucesivas, huroniana, caledónica, hercyniana y alpina 112

CAPÍTULO VI

**Historia de la estructura terrestre.
Las recurrencias.**

1.^o La historia de una cadena de montañas.—Formación del «geosinclinal».—Periodo de plegamiento, periodo de destrucción.—Las consecuencias para la sedimentación, la petrografía y la metalogenia.

2.^o La historia de un macizo volcánico.—Rocas profundas y superficiales.

3.^o La historia de un mar.—Caso del Pacífico, del Atlántico y del Mediterráneo.—Posibilidad de movimientos rítmicos.—Transgresiones y regresiones..... 159

CAPÍTULO VII

**Historia de los climas.
Las variaciones físicas y astronómicas.**

Temperatura de la Tierra y del Sol, volumen y salobridad de los mares, magnetismo, cambios en la velocidad de rotación, la posición del eje, etcétera...—Conclusiones relativas al pasado de la Tierra.—Ensayos de evaluación en años. 215

CAPÍTULO VIII

El presente y el porvenir de la Tierra.

	<u>Págs.</u>
Los movimientos actuales de la corteza.—Playas levantadas.—Terremotos.—Las transformaciones futuras.....	247

CAPÍTULO IX

Historia de la vida sobre la Tierra.

La influencia de las teorías filosóficas sobre la coordinación de los resultados paleontológicos.—El período de Cuvier.—El período de Darwin.—Las ideas actuales.—La ley general de la evolución y sus etapas sucesivas para la fauna y la flora.—El sentido de la evolución futura.....	255
CUADRO CRONOLÓGICO DE LA HISTORIA DE LA TIERRA.....	283

LIBRERÍA GUTENBERG DE JOSÉ RUIZ
Plaza de Santa Ana, 13.—MADRID

SALOMON REINACH

Miembro del Instituto de Francia y Profesor en la Escuela del Louvre.

APOLO

HISTORIA GENERAL DE LAS ARTES PLÁSTICAS

TRADUCCIÓN CASTELLANA Y APÉNDICES REFERENTES AL ARTE ESPAÑOL

POR

RAFAEL DOMENECH

*Profesor de Historia del Arte en la Escuela Especial de Pintura,
Escultura y Grabado de Madrid.*

Hace tiempo que se dejaba sentir la necesidad de un Manual de Historia del Arte en lengua castellana. Difícil es que se pueda escribir uno mejor que el de Reinach, que á su exactitud y concisión une la condición de ser completísimo. Por esto se ha publicado la edición española, con un éxito tan grande como el obtenido por las ediciones francesas.

Un tomo en 8.^o de VIII-464 páginas, ilustrado con cerca de 700 grabados, impreso en papel de lujo, encuadernado en tela flexible con plancha especial 8 pesetas.

L.-G. KUMLIEN

LA GIMNASIA PARA TODOS

*Un volumen en 8.^o con infinidad de grabados
y 3 cuadros, 2 pesetas.*

Esta obra, única en su género, ostenta el siguiente lema: «Para llegar á viejo y con buena salud, haced todos los días algunos minutos de ejercicio sin aparatos, según el método sueco»; y para poderlo practicar se explican las series de ejercicios convenientes á hombres, mujeres y niños. Las ilustraciones son curiosísimas fotografías del natural, donde se ve instantáneamente el modo de ejecutar los movimientos. Al final, se han reunido los grabados en tres grandes cuadros para que, separados del libro y puestos en lugar conveniente, sirvan de guía en el preciso momento de verificar los ejercicios.

LIBRERÍA GUTENBERG DE JOSÉ RUIZ
Plaza de Santa Ana, 13.—MADRID

UPTON SINCLAIR

LOS ENVENENADORES DE CHICAGO

NOVELA TRADUCIDA DEL INGLÉS

POR

VICENTE VERA

Un volumen en 8.º de 400 páginas, 3 pesetas.

Esta novela, creadora de la fama de su autor y traducida á casi todas las lenguas europeas, ha obtenido un éxito colosal, debido á la habilidad con que Upton Sinclair sabe entretener al lector con una bien tejida trama de asunto tiernísimo. El desarrollo de su novela le da ocasión para hacer una fiel pintura de la vida industrial en los Estados Unidos, y es tan manifiesta la sinceridad con que se expresa, que convence de que la fama de ciertas empresas industriales yankis está basada más que en la seriedad, en el reclamo, en el engaño y hasta en criminales fraudes.

E. DE LABAIG

INVESTIGACIÓN Y ALUMBRAMIENTO DE AGUAS

APLICABLES AL REGADÍO Y OTROS USOS

Un volumen en 8.º con 40 grabados, 4 pesetas.

Libro de grandísima utilidad para los propietarios, agricultores, y toda persona que se interese en cualquier clase de cultivos, porque se ocupa del estudio de las aguas, determinación de los terrenos donde se pueden encontrar y medios de alumbrarlas y utilizarlas, haciendo subir el valor y el rendimiento de las tierras.





BIBLIOTECA UNIVERSIDAD DE MALAGA



6101166665

