

Por el Profesor de Geología de la Universidad
Central —

X Sr. Dn. Augusto N. Martínez —

Nuevas teorías sobre la for- mación de las montañas



AMPLIACIONES A UNA LECCION DE GEOLOGIA

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Nueva Teoría sobre la formación de las montañas

PRIMERA PARTE

Movimientos y desplazamiento de la Corteza Terrestre (1)

El rasgo más importante y que llame más la atención en el relieve de la superficie terrestre, es la oposición entre los continentes, partes salientes o levantadas de la corteza terrestre, y las hoyas oceánicas, partes situadas a grandes profundidades o hundidas. Desde hace mucho tiempo ya, se conoce no sólo que la configuración y la limitación actual de estas grandes formas son de fecha muy reciente, pero que, además, el repartimiento entero de las tierras y de los mares ha cambiado múltiples veces en el curso de la historia geológica de la tierra. No puede hablarse de una permanencia completa de los continentes y de los océanos. Con todo, un hecho sorprendente, es que muchos de estos macizos han conservado, durante la duración de los tiempos una posición relativamente elevada, y aún es probable que algunas extensiones, han formado siempre, o por lo menos durante épocas muy largas, parte del océano; estas como aquellos forman los miem-

(1) Mashatschek F.—Neure Theorien der Gebirgsbildung.—SCIEN-TIA. Vol. XLIII y XLIV.

bros *estables* en la construcción de la corteza terrestre. En cambio, otras, han cambiado muchas veces su situación de partes de las tierras o de fondos de los mares; encontramos depósitos de muy grandes profundidades marinas y aún depósitos de períodos muy recientes que participan en la construcción de altas montañas. Todos estos dominios son piezas *labiles* de la corteza terrestre. Pero esta distinción no se refiere sino a la situación vertical de los diferentes macizos y todavía no se ha dicho que los miembros estables han conservado igualmente siempre, en el sentido horizontal su posición de hoy, en la superficie de la tierra. Todos estos movimientos de la corteza que ocasionan las diferencias de altura entre los continentes y las hoyas oceánicas, que, por consiguiente, determinan también, en primera línea la repartición de las aguas y de las tierras, se designan, desde G. K. Gilbert (1890), bajo el nombre de *epirogénicos* (*epiros-continente*), y hay la costumbre de oponerlos a los movimientos *orogénicos*, o movimientos «propíamente dichos» de formación de las montañas, cuya acción nos aparece bajo la forma de plegamientos, acarreos (*charriages*), fallas y otras dislocaciones de la estructura *estratificada* de la corteza.

Pero, se conoce que toda masa continental, y sin duda también, todo suelo marino, está atravezado de abombamientos y depresiones, es decir, de torceduras (*gauchissements*) que cubren grandes espacios, que muchas de las altas cadenas montañosas actuales, como las de la parte septentrional del Asia Central y de grandes porciones de las cordilleras americanas, no se han originado por plegamientos o por dislocaciones de capas; las montañas modernas auténticas de plegamiento, ellas también, que no recibieron la organización interna de su estructura *estratificada*, sino en los tiempos terciarios por procesos de acarreo grandiosos, no deben su altura actual y sus límites con las profundidades que les rodean a la comprensión de sus capas, sino, al contrario, a un hinchamiento y a un levantamiento desigual, simultáneo o posterior al plegamiento y de larga duración. Es en extremo sorprendente que estos levantamientos estén ligados al curso de los plegamientos modernos y no pasen también sino con muy poco su límite y aún que repitan los detalles de la estructura *estratificada* en escala disminuida, como efectos póstumos de movimientos orogénicos. Todas estas deformacio-

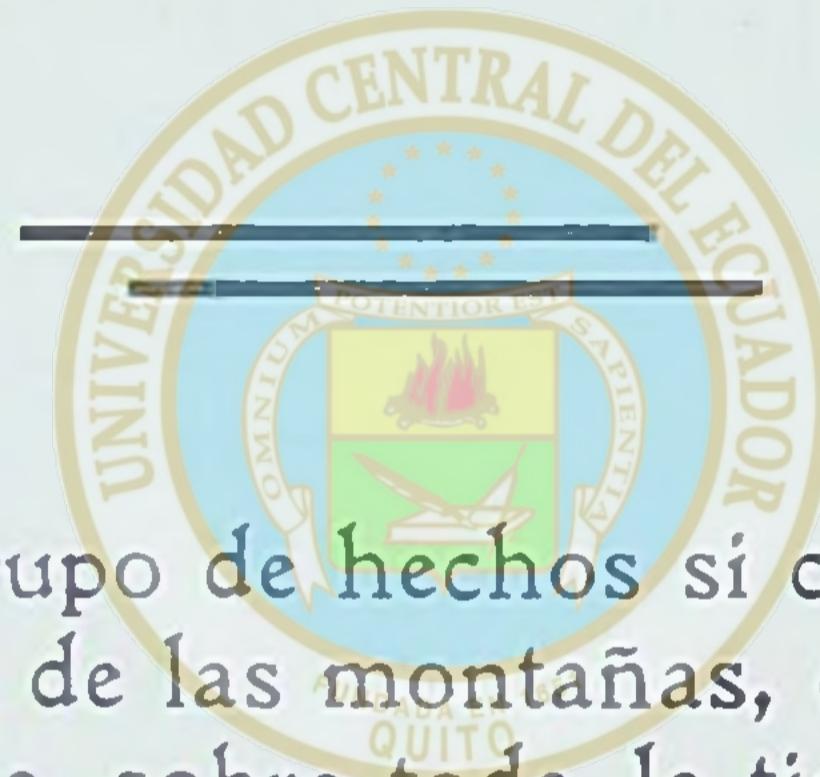
nes, extendiéndose siempre todavía sobre vastos espacios de la corteza terrestre y cuya duración se ha establecido en muchos lugares, se consideran como una clase particular de movimientos epirogénicos y designados también bajo el nombre de *ondaciones* (*Undation*).

Fenómenos semejantes, describe Abendanon bajo el nombre de *gran-plis*; W. Penck, considera a estos últimos como las formas gérmenes de toda formación de montaña y, en fin, E. Argand, en su grandiosa síntesis de la estructura del Asia, que, a decir verdad, abraza a casi toda la tierra, ha establecido el concepto de *pliegues a fondo* (*plis a fond*), según los que, el bloque continental mismo, ya plegado antes, pero aplanado de nuevo, se ha dispuesto, independientemente del curso de los plegamientos particulares más antiguos, en bóvedas y en hoyas anchas y planas que, si se considera la magnitud y resistencia de las masas que allí se ponen en movimiento, deben considerarse como la manifestación más grandiosa de las fuerzas orogénicas. Argand opone sus pliegues a fondo también a los pliegues de cubierta, que no interesan sino a las capas superficiales, sino a los plegamientos geosínciales, es decir, a estas cinturas de montañas plegadas que han salido de zonas de hundimiento en forma de bandas y llenas con sedimentos.

A todos estos anchos abombamientos y depresiones, casi siempre están ligados desplazamientos de capas, fallas, aún a veces, como en el Asia Central, un plegamiento superficial de capas más modernas todavía y poco consolidadas. Como lo demuestra Argand, por el ejemplo de los Alpes occidentales, esta formación de montañas, u orogénesis, parece que se debe considerar como un ciclo de larga duración de fenómenos cíneticos, principiando por movimientos precursores bajo forma de simples hinchazones, levantándose en seguida hasta un paroxismo con formación de plegamientos y de lechos de acarreo y terminándose por una serie de movimientos tardíos, debilitados y que se extinguieren. Stille considera la relación espacial y cronológica de las diferentes formas de movimientos de la corteza, bajo otra forma, que parte del dominio de la orogénesis sajónica, en la hoyas de la Baja-Alemania. Demuestra como un territorio, durante largos períodos, experimenta así regularmente, primero movimientos epirogénicos como una evolución de su suelo que se manifiesta por un hundimiento de los espacios de sedimentación y por una subi-

da de los suelos continentales (macizos) que les rodean, por tanto, por ondaciones, en grandes espacios; luego, como aumenta este fenómeno y, en fin, se interrumpe por un episodio orogénico, una *revolución del suelo* bajo la forma de plegamiento (ondulaciones), de acarreos y de fallas, comenzando en seguida la evolución nuevamente, en los antiguos espacios hundidos. Así alternan periódicamente las evoluciones secuenciares con revoluciones episódicas.

De todas estas nociones, resulta que no hay un límite preciso entre movimientos epirogénicos y orogénicos. Así como que, en el tiempo, se pasa de los unos a los otros, se asocian en el espacio. Toda teoría de la formación de las montañas, por consiguiente, debe tratar de explicar los dos grupos de fenómenos, desde un punto de vista único; sin embargo, no puede decirse *a priori* si es también posible traerlos a una *causa única*.



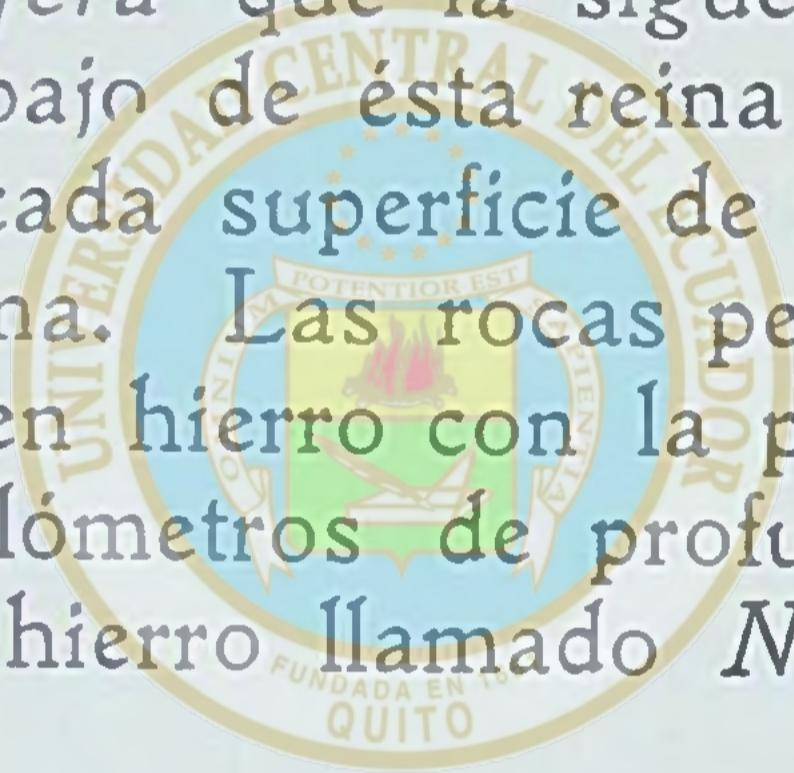
Tenemos otro grupo de hechos si consideramos los fenómenos de la formación de las montañas, en su sentido estricto, en su serie cronológica, sobre toda la tierra. El diastrofismo más antiguo es el único que ha comprendido de la misma manera a la totalidad de la corteza terrestre; se nos presenta en el plegamiento universal de las rocas arcaicas. Después, los procesos de formación de las montañas han acaecido en períodos, según ciclos bien determinados y relativamente cortos, el caledoniano en el paleozoico inferior, el herciniano, hacia el fin del paleozoico y el alpino, desde el mesozoico superior hasta los tiempos presentes, dejándose distinguir varias máximas, el plegamiento andino, en el tránsito del jurásico al cretáceo, el plegamiento llamado laramico, en el tránsito del cretáceo al terciario, y el plegamiento que dura todavía desde la mitad del terciario. Pero, en el curso de la historia geológica, el lugar tomado por el verdadero plegamiento de capas terrestres se ha contraído siempre más. Evidentemente, a consecuencia de los progresos de la diferenciación de la corteza terrestre en partes más o menos plegables y a consecuencia de la adaptación creciente de los plegamientos a los macizos ya plegados y consolidados ya antes. Así, hay macizos que, desde los tiempos precambrianos, no se han plegado más, tales el

báltico, el canadiense, el núcleo de la Angara en el Asia Nord-oriental; otras partes de la corteza están muertas en el sentido tectónico desde el plegamiento hercíniano, tales las montañas de Alemania central y la del sur, la Bretaña y la meseta central francesa, el Ural, las montañas del norte del Asia central, los Appalaches etc., y en fin, el paroxísmo terciario se ha limitado a la cintura de montañas del Mediterráneo y del Asia meridional y a las montañas circumpacíficas. Pero esta inmovilidad, en comparación a los movimientos más modernos, de las partes de la corteza ya plegadas antes no es sino relativa. Porque *simultáneamente* al plegamiento de las capas depositadas en los geosinclinales o sobre los bordes continentales, las masas antiguamente plegadas y que parecían rígidas estaban sujetas a movimientos epirogénicos; se formaban pliegues a fondo en el sentido de Argand, ligados a fallas que, frecuentemente, reducían a un macizo completamente a pedazos y aún a retrocesos; pero, lo que hay de primario y de esencial en estos movimientos, son sus componentes tangenciales.

El curso de los haces de plegamientos propiamente dichos, con sus curvaturas en las sinuosidades, a veces particulares, expresa netamente el influjo de los macizos rígidos y que producen retrocesos. Sinembargo, no hay que admitir que tales curvaturas fuesen ya dibujadas *a priori* en la forma de los geosinclinales; no se han realizado en verdad sino por los desplazamientos horizontales de los cuadros rígidos mismos. El estudio de las montañas de estructura alpina ha conducido al conocimiento de lechos de acarreo y de imbricaciones aplastadas entre sí, pero, si se trata de traerlas a las capas desplazadas a su dominio de yacimiento primitivo, a igualar de nuevo a los plegamientos y a los lechos de cubierta, se llega a valores absolutamente formidables de desplazamiento lateral. Es de esta manera, por ejemplo, como el dominio de yacimiento de las capas de las que salieron los Alpes Suizos, debería encontrarse en el interior del África actual; el mar en el que fueron depositadas no era por tanto, una delgada zona de sedimentación, sino un amplio espacio, aunque con profundidades y condiciones de depósito muy variables.

En fin, para comprender los movimientos tectónicos son de una importancia fundamental, algunos de los conocimientos adquiridos en estos últimos tiempos sobre la constitución

de los cuerpos terrestres. La zona superior en que se desarrollan estos movimientos y las deformaciones de la estructura estratificada, no tiene sino una débil potencia, cerca de 50 a 60 kilómetros; por consiguiente, efectivamente, una simple «película» (Ampferer) rígida e inerte, una zona de fractura, aunque, bajo una fuerte carga, se vuelve ya plástica en las profundidades, con bolsillos de magma muerto y activo; se compone principalmente de rocas ricas en silicio y aluminio, de donde el nombre de *Sial*. Está seguida, hasta cerca de 120 kilómetros de profundidad por la *Síma* de plasticidad latente, construida por rocas más pesadas que contienen hierro, silicio y magnesio, igualmente con bolsillos de magma en estado activo; es la verdadera zona de los movimientos líquidos (*écoulement*). Las dos zonas forman la *litoesfera*, separada de la *baryesfera* que la sigue por la *superficie de compensación*; solo debajo de ésta reina la misma presión en toda la extensión de cada superficie de nivel; ya no hay bolsillos o capas de magma. Las rocas pesadas del *Síma* se enriquecen siempre más en hierro con la profundidad hasta que cerca de los 1.200 kilómetros de profundidad, comienza el núcleo de nickel y de hierro llamado *Nífe*.



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

SEGUNDA PARTE

Los problemas de la importancia relativa de los diferentes factores orogénicos

Si ahora ensayamos en hacer rápidamente conocimiento de las concepciones desarrolladas en los 10 o 20 años últimos, por los geólogos y geofísicos, especialmente alemanes, para explicar los fenómenos de la formación de las montañas, no podemos evitar de tocar a esta hipótesis ligada a los nombres de los fundadores de la ciencia geológica, un A. von Humboldt y un L. von Buch y conocida bajo el nombre de hipótesis de levantamiento. Según ella, son las fuerzas volcánicas, accionando en el sentido vertical y centrífugo, las que han levantado simplemente a las montañas a lo largo de ciertos ejes de levantamiento que deben estar caracterizados por la aparición de zonas rocosas volcánicas. Estas concepciones han sido sustituidas por la teoría del empuje tangencial.

La teoría de la contracción, fundada hace más de 50 años, por J. Dana, E. Suess y A. Heim, parte del hecho que la tierra es un cuerpo que pierde calor y concluye que, como para todo cuerpo semejante, su volumen debe disminuir. La corteza ya enfriada debe entonces seguir el núcleo que se arruga (ratatine); allí aparecen tensiones, de manera que, por una parte, se rompen grandes macizos, lo que hace aparecer las hoyas oceánicas y otros campos de hundimiento, y que, por otra parte, en lugares particularmente débiles, la tracción hacia abajo está reemplazada por una presión tangencial, de donde el plegamiento de la corteza. Los grandes rasgos de la cara de la tierra, parecían encontrar así una explicación sencilla, la teoría encontró rápidamente numerosos partidarios

y se introdujo casi de una manera general en los libros escolares y de enseñanza, lo que nos evita penetrar más profundamente en sus motivos.

Sin embargo, del lado geológico y geofísico, pronto se suscitaron innumerables dudas sobre su exactitud. Es así como la moderna química física (Lawson) cree poder refutar la primera suposición aún de la teoría de la contracción, la de una pérdida persistente del calor de la tierra, produciendo la desintegración de las materias radioactivas, presentes en las rocas, una cantidad de calor suficiente para contrabalancear y, en mucho, la pérdida de calor por enfriamiento. Además, la contracción misma debe todavía producir calor y oponerse al enfriamiento. Con todo, si estos fenómenos, muy bien pueden tener una acción de disminución sobre la contracción y retardarla en su marcha, no pueden disminuir su importancia, si realmente ella se verifica.

De la misma manera, el hecho reconocido que la mayor parte, y en mucho, de la masa terrestre es, prácticamente, ya rígida, y aún más rígida que el acero, no puede ya atestiguar contra la posibilidad de una contracción del núcleo que continaría todavía, porque la condensación ya producida no prueba que ya haya alcanzado su mayor valor y el volumen más pequeño posibles. Otra objeción proviene del concepto de las presiones de los voussoirs (cada una de las piedras que forman el centro de una bóveda). Para explicar la limitación a zonas determinadas de todos los plegamientos que se han verificado después de la formación de las montañas arcaicas, se admite con Dana que, en la contracción del subsuelo, la corteza, o por lo menos, partes bastante importantes de ésta, pueden trasladarse por sí mismas libremente, que la presión lateral que resulta de esto, se transmite a largas distancias al través de la envoltura de la esfera y, adicionándose en algunos puntos débiles, particularmente favorecidos, se ejerce en un empuje de conjunto. Contra esta idea, Ampferer ha insistido con razón sobre lo que el peso de la corteza es muchísimo mayor y la resistencia de las rocas muy débil, para que se pueda imaginarse porciones de esta corteza llevadas así libremente encima de un subsuelo que disminuye. La corteza debería fracturarse en escombros y sumirse en las profundidades que se contraían. Al contrario, la envoltura terrestre carga como un cuerpo pesante, pero sin embargo, plástico, sobre su subsuelo, y por tanto, ya en el punto de acción

de las fuerzas de rehundimiento, se produce una deformación, pero no se sigue una trasmisión de la presión sobre anchas distancias. Stille cree, es verdad, poder combatir esta objeción representándose la corteza como desplazable sobre el núcleo, de manera que se producen ciertos movimientos de compensación entre los dos. En el fenómeno de contracción, las partes de la costra ya rígidas y no plegables no pueden sino deformarse en bloc; en cambio, las todavía capaces de plegarse se ajustan en el espacio que les queda todavía, plegándose y aún echándose sobre los territorios vecinos rígidos. Es así como los partidarios actuales de la teoría de la contracción tratan de poner de acuerdo con su principio fundamental los levantamientos de la corteza demostrados en todos los lugares y para los que, esta teoría, en su concepción original, no encontraba lugar.

Una serie de sabios apercibe precisamente en los movimientos de compensación, pero en los de las profundidades y separándose completamente de la hipótesis de la contracción, lo esencial y la causa principal de la formación de las montañas. Según Ampferer, los plegamientos superficiales están acondicionados y soportados por movimientos del subsuelo; la envoltura terrestre, por sí misma sin independencia e inerte, está obligada a adaptarse en su estructura, a las diferencias del subsuelo fácilmente móvil. Por tanto, es preciso admitir corrientes profundas que, según la naturaleza de los materiales de las partes superiores de la corteza y las circunstancias particulares del desarrollo en el espacio y en el tiempo del proceso entero, obran muy differently y pueden conducir a abombamientos o a hundimientos, a fallas con o sin erupciones volcánicas y en fin, también, a movimientos tangenciales, a plegamientos y a recubrimientos a lo largo de ciertas superficies de resbalamiento.

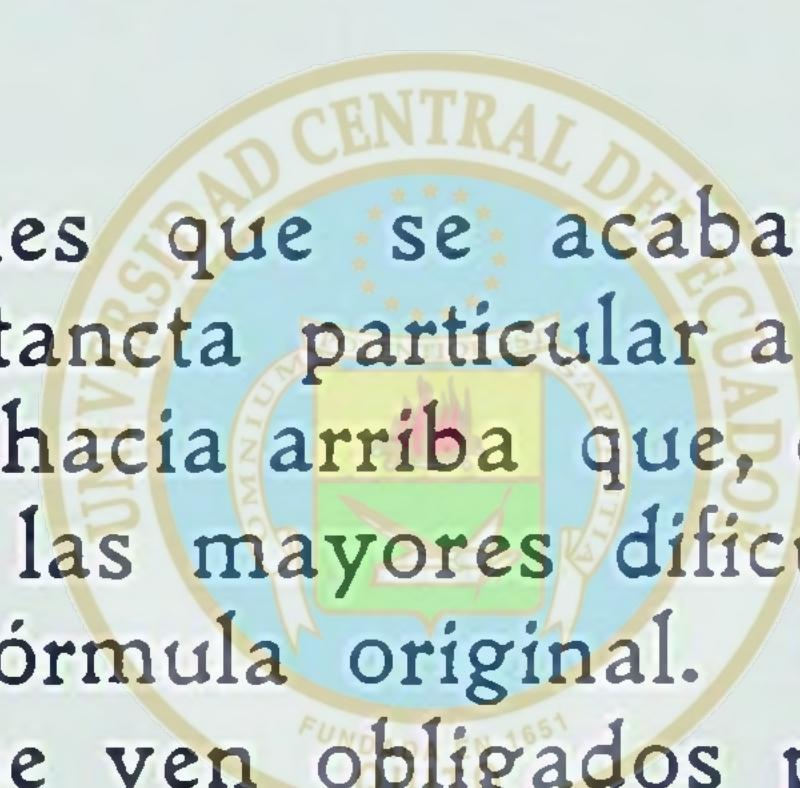
Sobre las causas de estas corrientes profundas, Ampferer no se expresa con precisión, pero evidentemente pueden ser de naturaleza muy diversa. Así, el desgasado progresivo del magma y su diferenciación, es decir, la separación de magmas de composición diferente, las oscilaciones de volumen y de temperatura de partes distintas del subsuelo fácilmente móvil, deben allí crear corrientes.

Joly, apoyándose de una manera, sin duda exagerada, sobre un sólo factor adhiere una importancia capital al calor engendrado por los procesos radioactivos y ha desarrollado

brevemente una teoría completa de la formación de las montañas, partiendo de los procesos térmicos que dependen de ellos. Un fenómeno que merece también la atención, es el establecido experimentalmente por Tamann, entre otros, que, en el enfriamiento y en el proceso de cristalización, hay aumento de volumen desde que la presión que se ejerce sobre la masa, pasa de un valor determinado. Según esta concepción, la hinchazón del magma, en el curso del enfriamiento, es la verdadera fuerza accionante de todos los movimientos de formación de montañas. Andree ha llevado a esta idea más lejos y, enlazándola con la teoría de Reyer, piensa en resbalamientos unilaterales de las masas sobre un soporte plástico bajo el influjo de la gravedad y coloca el verdadero sitio de las perturbaciones de equilibrio en el límite entre las capas exteriores y ligeras del Sial y las más profundas y pesadas del Sima.

Apoyándose en parte sobre las ideas de Ampferer, W. Penck, considera de una manera completamente general la formación de montañas como una representación de los movimientos del subsuelo plástico y líquido, pero da importancia principal al hecho reconocido que, en el magma, cuando la presión disminuye, reacciones químicas conducen a un formidable aumento de presión y a una extraordinaria producción de calor. Tan pronto que, sobre la superficie inferior de la corteza sólida, aparecen tensiones a consecuencia de los progresos del enfriamiento, el magma, por el aumento de volumen que ha adquirido así, penetra en las regiones de presión disminuida y obliga a la corteza a ceder hacia arriba. De este modo se originan primeramente grandes pliegues de estructura sencilla, al partir de los cuales, el empuje del magma persistiendo, se desarrollan todos los fenómenos del plegamiento y del recubrimiento en las masas que pueden todavía plegarse, mientras que, en las capas más profundas, no susceptibles de plegamiento, aparece una esquistisación (apizaramiento) y, a profundidades mayores todavía, una recristalización. De esto se explica la coincidencia de zonas de formaciones montañosas con poderosas intrusiones magmáticas. Cada inflación hacia arriba de la corteza, significa una nueva disminución de presión y este proceso dura hasta el agotamiento de la energía del magma y hasta que no pueda llenar el espacio donde disminuye la presión; entonces el magma afluye de más lejos, y sobre esta zona de reflujo, la corteza

se hunde; pero, en estas zonas de hundimiento, después del reflujo del magma liviano (pacífico), el magma pesado (atlántico) se enriquece; las corrientes del magma restablecen así el equilibrio perturbado. Se ve que, en esta concepción de la esencia de la formación de las montañas por W. Penck, el pensamiento fundamental de la vieja hipótesis del levantamiento puede celebrar su resurrección, bajo vestidos modernos. Sin embargo, es preciso notar que las bases geológicas de esta teoría para el dominio donde nació, las Cordilleras de la Argentina, han sido puestas bajo la tela de juicio por Gerth, y que A. Heim separa su aplicación a los Alpes. Ambos no reconocen al magma, sino un papel pasivo en la formación de las montañas.



Las concepciones que se acaban de indicar al último, conceden una importancta particular a los movimientos verticales de la corteza, hacia arriba que, desde el punto de vista geológico, preparan las mayores dificultades a la teoria de la contracción, en su fórmula original. Por tanto, los partidarios de esta teoría se ven obligados para explicar los movimientos epirogénicos de añadir ó la concurso de otras causas. Como fuerzas de este género, según las miras de innumerables sabios, es preciso, ante todo considerar los movimientos *isostáticos* de compensación.

TEORÍA DE LA ISOSTASIA.—Fue fundada por Dutton, en el suelo americano hace 35 años y se funda en las observaciones del repartimiento de la gravedad en la corteza terrestre. Según esta teoría, es la gravedad, ante todo, diversamente difundida en la corteza terrestre; los macizos más pesados bñan más profundamente en las capas inferiores líquidas y viscosas y forman los fondos oceánicos para los cuales, efectivamente, se ha observado un exceso de gravedad, relacionada a un mismo nivel; los macizos más livianos, forman las masas continentales en las que, nuevamente, las montañas modernas, fuertemente levantadas se distinguen por una masa más grande, pero de una gravedad más débil, en comparación de los macizos hundidos, pero más densos. Esta anomalía negativa de la gravedad en las montañas plegadas modernas no es, según una concepción más reciente, una consecuencia

del desmigajamiento de la estructura rocallosa, sino de la acumulación de rocas, en sí mismas, más ligeras, en la parte superior de la corteza, y de masas magmáticas más densas por debajo. Hay pues, en la corteza, una compensación (*isostasia*), es verdad incompleta, entre la densidad y la altura de los diferentes macizos que flotan sobre una capa inferior móvil y común. Se turba este equilibrio por la destrucción prolongada de las montañas y el depósito de sedimentos en los mares, levantamientos y hundimientos deben aparecer de los diferentes macizos: los fondos oceánicos por una sedimentación prolongada tienden a hundirse más, los continentes, por su *peneplanación*, tienden a levantarse. De allí, movimientos de compensación de las zonas de sedimentación a las de denudación. Si entonces, estos fenómenos prevalecen sobre la gravedad obrando en sentido inverso de la compensación, debe aparecer, a causa de las fuerzas que provienen de las corrientes horizontales de compensación, un hundimiento y un plegamiento de las capas depositadas hacia los bordes continentales.

Pero esta teoría, por seguras que sean sus bases geofísicas, no satisface a una explicación de valor general, o aún satisfaciendo en la mayoría de los casos, de los movimientos de formación de montañas. El cargue y descargue que es preciso admitir para los macizos, no están del todo en relación con la magnitud e intensidad de sus movimientos, y, sobre todo, la observación demuestra que macizos que, antes, han estado situados constantemente, profundamente y por tanto eran pesados, según la concepción isostática, se han levantado sin ser descargados e inversamente; así los macizos ligeros y los pesados habrían debido cambiar de posición con el tiempo. No son sólo los geosinclinales que, sin plegarse, se han vuelto regiones elevadas, o las hoyas marítimas, altas planicies, como en el caso de la planicie del Colorado; también los océanos y los continentes han permutado frecuentemente de lugar sobre la superficie terrestre. Las perturbaciones de la posición de equilibrio isostático, no pueden, por tanto, ser tomadas en consideración, sino como fenómenos de acompañamiento secundarios y dirigentes, pero no como causas principales verdaderamente motrices de la formación de las montañas.

En fin, igualmente son, la compensación ísostática y los movimientos de flotación de los macizos de la corteza, sobre las capas profundas plásticas y más pesadas, las que constituyen las suposiciones en la base de la teoría de las *derivas continentales* edificada por A. Wegener, hace 15 años por la primera vez y que se halla hoy en el primer plano de la discusión. Supone una muy ancha movilidad de la corteza en el sentido horizontal, tal como se admitió, ya antes de Wegener, también por otros sabios, aunque por causas muy diferentes. Es así como A. v. Böhm y de una manera semejante, Quiiring, pensaron en una disminución del aplastamiento de la tierra a causa de la disminución de su rotación que debería aparecer como la acción resultante del movimiento de las mareas cuya dirección es inversa. Tal proceso debería conducir a grandes levantamientos y hundimientos epirogénicos, pero, también, a compresiones paralelamente al ecuador actual que, según el cálculo, serían máxima entre los 35° y 45° de latitud norte y sur. Pero la conducta y la disposición de las montañas plegadas que se originaron simultáneamente, no concuerdan con esta condición.

Otro grupo de teorías admite cambios de posición de la corteza terrestre, quedando el mismo, el eje de rotación o, también, desplazamientos de los polos y del ecuador, a causa de los cambios de posición de masas, tales, como se ha observado en pequeña escala, desde hace mucho tiempo en las variaciones de la latitud geográfica y que, en el curso de grandes espacios de tiempo, pueden haber alcanzado valores importantes. Tratando la corteza terrestre, de adaptarse a la forma modificada, se manifiestan presiones y tensiones, a saber, hacia el polo, a consecuencia del acortamiento del radio terrestre, compresiones y plegamientos, hacia el ecuador, distensiones. El desprendimiento de las masas en el sentido horizontal del polo hacia el ecuador, crea para las masas continentales una tendencia a separarse del polo, lo que, igualmente, da presiones paralelamente al ecuador.

Estas ideas desarrolladas por Krichgauer, Reibisch y Simroth, bajo formas diferentes, utilizó Wegener de un modo incontestablemente genial y poniendo en obra los conocimientos más recientes sobre la constitución de la corteza terrestre, para construir una teoría, completamente original. Según él, los continentes forman el resto de la envoltura del Sial que, antes, envolvía a toda la tierra y, más tarde, fue fraccionada

por desgarramientos y compresiones y flotan, móviles, sobre el Sima más pesado que aparece en el estado endurecido al fondo de los océanos. La dirección del desplazamiento de los continentes es, en primera linea, dada por la tendencia a *huir* los polos que, según Koeppen, se produce de la manera siguiente: se sabe que la dirección de la gravedad en el interior de la tierra, o la vertical para la superficie terrestre no coincide con el radio terrestre, pero que, a causa del aumento de la densidad de las masas con la profundidad y de la disminución simultánea de la fuerza centrífuga, traza una linea, cuya concavidad, se dirige hacia el polo. Además, el centro de empuje de los macizos que inmergen en el Sima pesado, es más bajo que su centro de gravedad. La dirección del empuje y la de su peso, por tanto, de la gravedad, perpendicular a la superficie de nivel del punto considerado, no están, por consiguiente, exactamente opuestos el uno al otro, sino dan una pequeña resultante que, precisamente porque el centro de gravedad del cuerpo flotante se encuentra sobre el centro de empuje, está dirigido hacia el ecuador. Esta fuerza que obra hacia el ecuador es la que produce la repulsión del polo. Pero todavía hay juntamente la tendencia a una deriva de las masas continentales hacia el oeste, quizás bajo el influjo de un movimiento de marea del Sima, dependiente del frotamiento de este con el Sial. Pero, las consecuencias de estos movimientos son, por una parte migraciones del polo y, acondicionados por ellas, desplazamientos de las zonas climáticas de las que no podemos ocuparnos aquí; pero, por otra parte, los bordes anteriores de los macizos en movimiento, deben empujarse bajo forma de montañas, bajo el influjo de las resistencias de frotamiento. Como la fuerza accionante es máxima en las latitudes medias y que la dirección del movimiento cambia en el ecuador, tales presiones y tales aplastamientos deben aparecer sobre todo en las cercanías del ecuador y manifestarse por el plegamiento de poderosas cadenas montañosas a lo largo de todo el ecuador o paralelamente a él y a una débil distancia.

De esta manera se explica, según Wegener, la gran zona de plegamiento de la Europa mediterránea y del Asia meridional que se verificó en el terciario, cuando el ecuador se encontraba casi allí, como resulta de la reconstitución de la posición del polo. Así mismo, en el ecuador del período carbonífero, se construyeron las montañas hercyno-variscas; en

los dos casos, eran las masas en desplazamiento hacia el ecuador, las de la Indo-Africa, por una parte, y las masas de la Eurasia que venían del norte, por otra, sobre cuya parte anterior se originaron las montañas. El movimiento de los continentes del este al oeste se deja sentir, sobre todo, en la formación del océano Atlántico que, no es otra cosa, sino una grieta giganteca, originada por desgarramiento, y cuya formación no se terminó en su aspecto actual, sino en el presente geológico; los enderezamientos sobre el borde anterior de las masas americanas condujeron al plegamiento de las Cordilleras de los Andes. Al contrario, las guirnaldas de islas del Asia oriental, son bandas litorales separadas del bloque continental Eurasiático que, durante su movimiento hacia el oeste, quedaron atrás y recibieron la forma de arco, a consecuencia de un empuje ulterior que vino del norte, mientras que, en las grandes profundidades de los mares que la costean, el Sima, aparece en ventanas. El océano Pacífico, al contrario de los otros dos océanos relativamente modernos, es una formación muy antigua estable, pero sus fosas profundas son grietas desgarradas por tracción en el Sima solidificado.

Mientras que plegamientos verifican así por enderezamiento de los continentes contra el Sima enfriado, se originan levantamientos y hundimientos del nivel de los mares, transgresiones y regresiones, para la mayor parte, a consecuencia de los cambios de posición del eje de rotación del esferoide terrestre, elevándose las superficies del nivel en las regiones hacia las cuales se ha ido el ecuador, mientras que inversamente aparecía una regresión allí, donde los polos se han trasladado. Además, los macizos rígidos del Sial, experimentan por estos cambios de posición, desgarraduras y arrancamientos que se manifiestan por grandes fisuras y fracturas en forma de fosas.

Tal es, en pocas palabras la teoría de las derivas continentales. Los argumentos que se invoca en su favor son múltiples y diversos. Pertenecen, por una parte, al dominio paleo-biológico, por ejemplo, la concordancia del mundo fósil del África meridional, de la India y de la Australia, por un lado, de la América del Sur y del Antártido, por el otro, y en seguida de los dos costados del Atlántico, concordancia para cuya explicación, se admitía hasta el presente, puentes continentales hipotéticos; hay también la aparición sorprendente

dente de dos máximas de frecuencia de las alturas, en la arquitectura de la superficie terrestre, la meseta continental que va de 200 a 1.000 metros y los fondos de los mares abyssales de 4.000 a 5.000 metros de profundidad; allí es preciso evidentemente, ver dos capas de construcción diferente de la costa terrestre; hay todavía la concordancia de estructura, entre montañas, separadas hoy por grandes espacios del mar, por ejemplo, las montañas armoricanas de la Bretaña y de la Irlanda y las de los Apalaches de la América del Norte y la forma correspondiente de los unos a los otros del perímetro de los continentes, lo que, desde 1907, por otra parte, había conducido a Pickering, a las mismas ideas. En fin, las determinaciones de la posición geográfica de la costa occidental de Groenlandia ejecutadas en 1873, luego nuevamente, en el mismo lugar, en 1922, parecen haber probado una persistencia del movimiento hacia el oeste (cerca de 20 metros, por año).

Por seductoras que sean estas ideas, en su grandiosa unidad, no pasan desadvertidas numerosas objeciones, contra su exactitud. Desde el punto de vista geológico en particular, ven la relación admitida entre el antiguo y nuevo continente por sobre la Atlántica, porque, en la composición y la estructura de los sistemas montañosos de los dos lados, como en las propiedades de sus rocas eruptivas, existen diferencias esenciales. El plegamiento de las cordilleras y de los Andes, se verifica en varios periodos desde el mesozoico, mientras que el Atlántico, según Wegener, debe ser de una formación completamente moderna; por otra parte, existía ciertamente ya en el terciario. La naturaleza simática de los fondos del Atlántico, no está tampoco demostrada y los datos sobre la continuación del movimiento hacia el oeste de Groenlandia, todavía hoy, igualmente, no son demostrativos, estando afectadas todas las determinaciones de longitud un poco antiguas, de fuentes de error apreciables.

Pero, a pesar de todas estas objeciones, si no se admite movimientos horizontales poderosos de las partes superficiales de la corteza, no se llega a explicar las montañas de plegamientos de recubrimiento y de estructura complicada, del tipo Alpino. Los acortamientos de las bandas plegadas de la corteza que allí se producen, no pueden explicarse únicamente por la contracción. También Argand, sin admitir por otra parte, en el detalle la construcción teórica de Wegener, le ha

tomado la *movilidad* de los macizos en el sentido horizontal y explica, exactamente como R. Staub, el plegamiento de toda la cintura de cadenas montañosas del Eurasia por el efecto del desplazamiento hacia adelante del bloque indo-africano. En el sistema alpino, este se ha deslizado sobre los sedimentos eurásicos del mar llamado Téthys, en Asia se ha deslizado debajo de la Eurasia. Pero, en lo que concierne a las fuerzas que pusieron el movimiento en marcha, no sabemos casi nada. La repulsión del polo, no basta ya como fuerza motriz única, porque no tiene como demostrar un movimiento que tienda de una manera continua hacia el ecuador, debiendo al contrario, los continentes, y sobre todo durante los períodos bastante antiguos, ser desplazados los unos con relación a los otros en diferentes direcciones. Podemos admitir únicamente, como lo hace hoy Ampferer modificando su hipótesis de las corrientes profundas, que debe haber allí en el Síma, corrientes que causan un transporte pasivo de los macizos siálicos a distancias importantes. Todo el mecanismo del movimiento, por tanto, se verifica primariamente en profundidades bastante considerables; lo que observamos, son sólo acomodaciones de la costra pasiva en el Síma en movimiento.

Lá cuestión que se impone entonces, es saber si estas nociones pueden ligarse todavía a los fundamentos de la teoría de la contracción. Muchos geólogos importantes adoptan este punto de vista. Así, Kober, que separa los desplazamientos continentales, en el sentido de Wegener, pero que cuenta, sin embargo, con un movimiento horizontal muy importante, para explicar el plan de construcción alpino, queda un defensor de la teoría de la contracción y, ensaya de poner de acuerdo, con ésta, las diferentes categorías de los movimientos de la corteza. Leuchs, considera también que es posible ver en las fuerzas que accionan en las profundidades el efecto de una contracción desigualmente intensa que se transforma en movimientos horizontales de los macizos de grandes dimensiones. Kossmat, toma una posición intermedia, porque, de un lado, ve, como determinantes en la evolución de los geosinclinales y de las cadenas montañosas que han resultado de allí, grandes movimientos horizontales, no, por otra parte, en el sentido de Wegener, y apercibe en las montañas plegadas, dominios intermediarios fuertemente flexibles que se desarrollan, en donde y cuando anchas puertas de la

corteza se aproximan; de otro lado consideran sin embargo a las hoyas oceánicas, también como macizos continentales hundidos, para cuyo descenso es preciso tomar en consideración, los desplazamientos de masas, debajo de la corteza. Como causa de los viajes lentos de ésta, le parece que hay diferencias regionales originales de la repartición de las masas, por tanto de la gravedad, lo que produce siempre nuevas impulsiones a los movimientos tangenciales. En último análisis, serían corrientes de gravitación en las capas, subyacentes a la corteza, las que constituirían los movimientos directores.

Así, hoy, la cuestión de las últimas causas de la formación de las montañas, está aún en plena fermentación y estamos demasiado lejos de la solución final, más de lo que se pensaba, ahora diez años. Con todo, algunos resultados se han sacado a luz completamente. De una manera casi general se acuerda hoy, que la contracción sola no explica todos los fenómenos de la formación de las montañas. Una serie de otros hechos, movimientos de compensación isostática, procesos magmáticos, pero ante todo, corrientes de masas en las capas más profundas, a causa de oscilaciones en el volumen, la temperatura y la gravedad, obran como una complicación inmensa en concordancia o en discordancia, de modo que es absolutamente imposible esperar poder explicar los fenómenos de la formación de las montañas, en su extraordinaria y múltiple variedad, por una fórmula única y de someterlos a una sola ley. Así, cada teoría posee un núcleo exacto y aplicable, aunque ninguna por sí sola, no esté suficientemente demostrada. La investigación del futuro tendrá, por tanto como tarea, ante todo, aportar un nuevo material de observación para apreciar la importancia cuantitativa de los factores distintos que toman parte en el fenómeno total y para explicar su contribución, en los casos particulares.