

000085



*Verfäktungsroll überreicht*

*von Nasdoff*

EXPERIMENTOS

SOBRE LA

# FORMACIÓN DE LAS MONTAÑAS

POR

CARL RIMBACH

Publicado en los «Anales de la Sociedad Científica Argentina», tomo LXXXIII, pág. 5 y siguientes

BUENOS AIRES

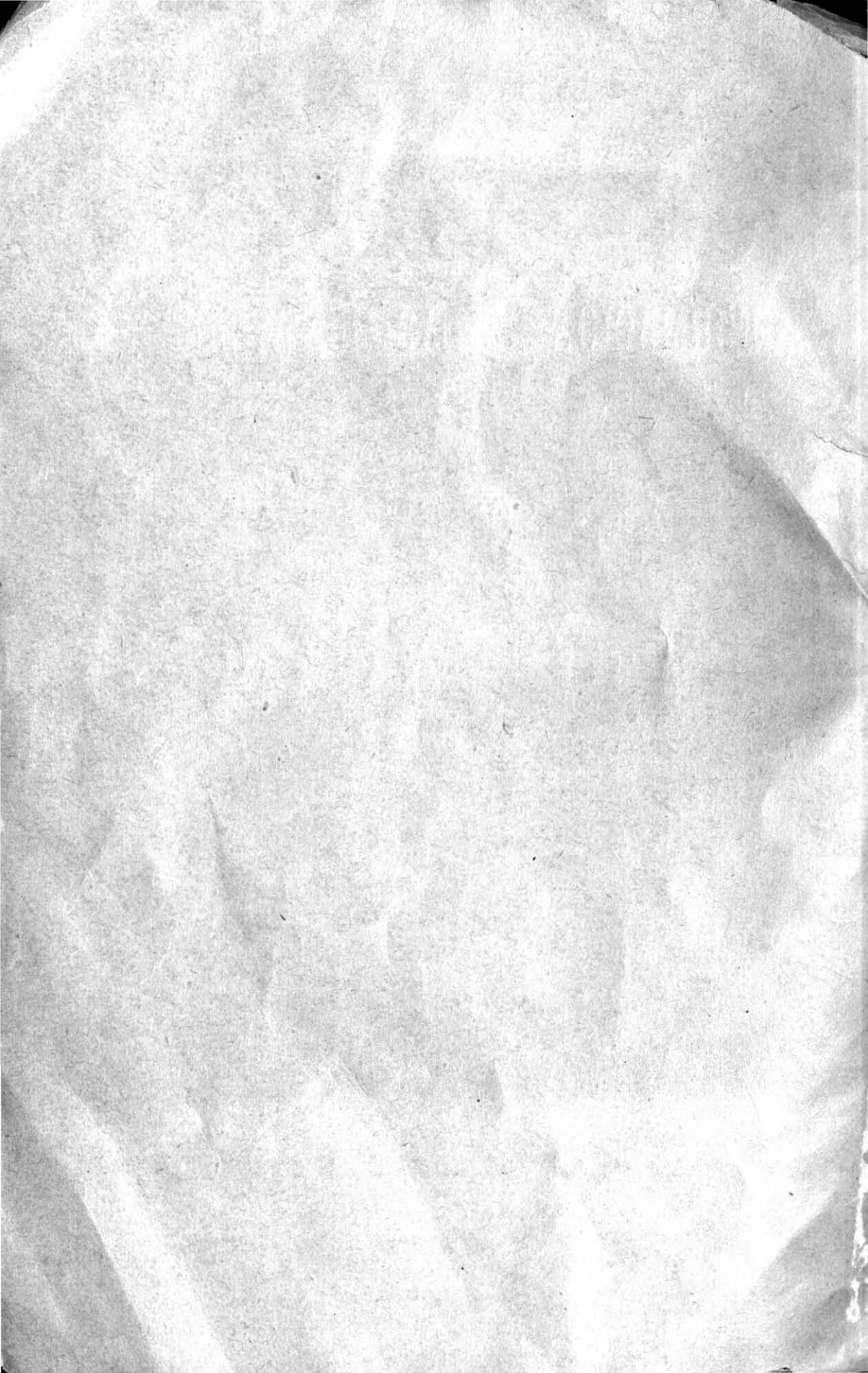
IMPRESA Y CASA EDITORA DE CONI HERMANOS

684 — CALLE PERÚ — 684

1917

61

LXXXIX



000085

EXPERIMENTOS

SOBRE LA



BIBLIOTECA

# FORMACIÓN DE LAS MONTAÑAS

POR

CARL RIMBACH

---

Publicado en los «Anales de la Sociedad Científica Argentina», tomo LXXXIII, pág. 5 y siguientes

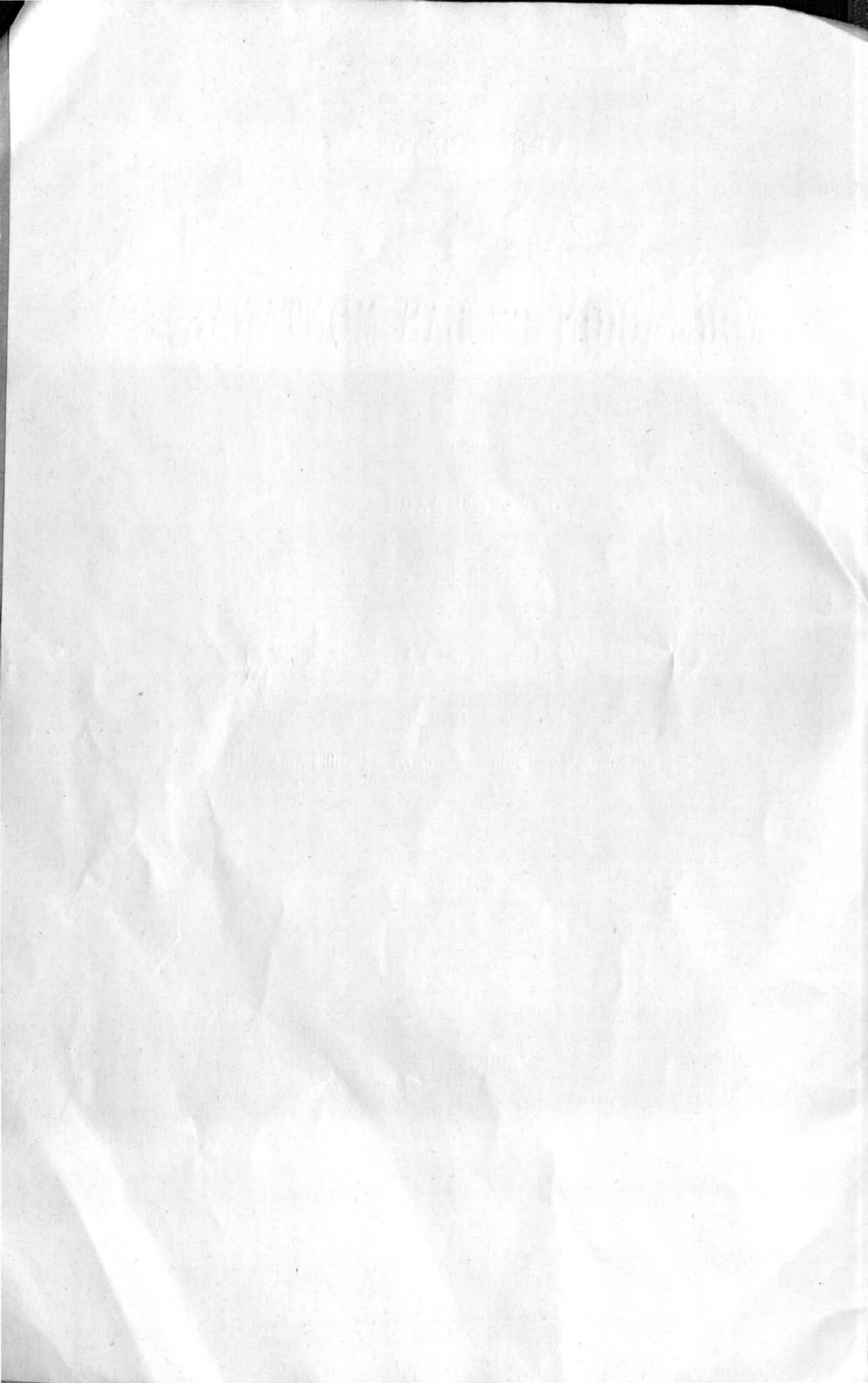
---

BUENOS AIRES

IMPRESA Y CASA EDITORA DE CONI HERMANOS

684 — CALLE PERÚ — 684

—  
1917





## EXPERIMENTOS

SOBRE

# LA FORMACIÓN DE LAS MONTAÑAS

POR CARL RIMBACH

La manera de encogerse la corteza terráquea a consecuencia de la contracción del núcleo del globo (1) se manifiesta en el curso horizontal y en la estructura del perfil de las montañas. Son sin embargo estas configuraciones solamente los vestigios superficiales de movimientos, que probablemente se extienden a una profundidad considerable y que por eso se abstraen a la observación directa. Para llegar a conocer el mecanismo de dichas dislocaciones abismales, he ejecutado una serie de experimentos, en los que las condiciones hipotéticas del interior del globo y los procesos probables que allí tienen lugar, en lo posible fueron imitados. El mayor o menor grado de semejanza entre los resultados del experimento y las conformaciones naturales permite concluir, si las presuposiciones hipotéticas son justificadas y si para ambos procesos se puede aceptar causas análogas (2).

(1) La dilatación de la corteza terráquea causada por la producción de calor por las materias radioactivas tendría el mismo efecto. En este trabajo se toma por base la contracción del núcleo.

(2) Las ideas para dichos experimentos me han sido sugeridas con ocasión de una serie de viajes científicos, que realicé durante ocho años en la Sierra Nevada de California, en las cordilleras del Ecuador, Perú, Chile y la Argentina, en el Uruguay y Rio Grande do Sul.

I

EXPERIMENTOS SOBRE EL ENCOGIMIENTO DE LA CORTEZA  
DEL GLOBO A CONSECUENCIA DE LA CONTRACCIÓN DEL NÚCLEO

1. *Experimento.* — El núcleo contráctil del globo está representado por una pelota inflada de goma de unos 25 centímetros de diámetro, provista de una canilla; la corteza rígida, que cubre el núcleo, por una capa de arena húmeda de algunos milímetros de espesor. Hay que observar, que en este arreglo varios puntos no corresponden a

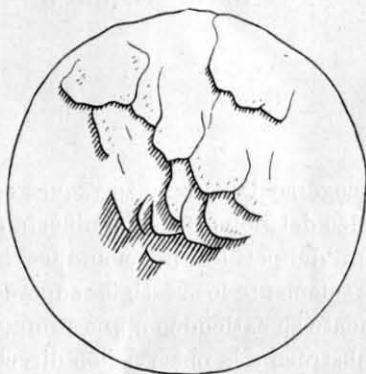


Fig. 1

las condiciones naturales: en primer lugar el contraste brusco entre la corteza arenosa rígida y el fondo muy contráctil; en segundo lugar la rigidez y la coherencia de la capa arenosa proporcionalmente demasiado grandes, y en mayor grado estas mismas propiedades en la pelota de goma, la cual no permite tampoco el hundimiento de las porciones gruesas de la corteza.

Cuando se efectúa la contracción de la pelota así preparada abriendo la canilla, se levantan en diferentes lugares de la capa arenosa arrugas bajas. Éstas se convierten poco a poco en escamas, cuyos *bordes arqueados* pasan sobre las escamas vecinas (fig. 1), apareciendo a veces como una red de *mallas semilunares*. A menudo se mueven tales escamas o témpanos en direcciones opuestas, una inmediatamente al lado de otra, o dos marchan la una contra la otra formando entre sí un foso.

Inflando de nuevo la pelota, los témpanos sobrepuestos se separan uno de otro, mostrando sus bordes, que antes se encontraban cubiertos por los témpanos vecinos. Se ve entonces que muchos de ellos afectan la forma de pentágonos o exágonos más o menos regulares. Resulta pues que aquella forma semilunar de las mallas se debe á menudo sólo a que sobreponiéndose algunos polígonos, sus bordes arqueados hacia el mismo lado se aproximan.

La forma arqueada de los bordes de los témpanos y la forma poligonal a veces regular de los últimos parecen ser causadas por la tracción horizontal, que la superficie de la esfera en contracción ejerce con igual fuerza en todas direcciones sobre la capa arenosa adherente. Pues si se coloca alrededor de la pelota en forma de anillo una faja de arena húmeda, en la que la tracción mencionada se verifica casi únicamente en sentido longitudinal, se forman arrugas paralelas perpendiculares a los bordes del anillo, pero nada de arrugas arqueadas.

El primer experimento muestra pues la manera de encogerse la corteza quebradizo-plástica de una esfera en contracción. En el globo terráqueo encontramos tales elevaciones en forma de mallas, parecidas a las que vimos formarse en el experimento, particularmente resalantes en las montañas arqueadas de Centro América y de las Antillas, y en mayor grado en los numerosos arcos formados por las islas del Asia oriental. Según el experimento éstas podrían considerarse como rodetes formados por superposición de los bordes de témpanos yacientes bajo los mares vecinos.

2. *Experimento.* — Encogimiento de una capa delgada de arena colocada sobre la pelota y en la que se encuentran porciones de mayor espesor.

Resultado. En las porciones espesas de la capa se forman mayores témpanos que en las delgadas; en porciones muy delgadas nacen arrugas numerosas pero bajas.

Según este experimento los parajes de la superficie del globo, que llevan montañas a grandes distancias, o han sido originalmente más gruesas que aquellas, que las tienen menos apartadas o constaban de material más resistente (1).

3. *Experimento.* — Para hacer visible la manera de formación y superposición de los témpanos en el *perfil*, una faja de arena húmeda

(1) Otro factor que determina el tamaño de los témpanos, es el grado de rozamiento en el sustrato, el que depende de la consistencia más o menos blanda de éste.

de algunos milímetros de espesor y con bordes perpendicularmente cortados, fué colocada sobre la pelota y sometida a la compresión.

Resultado. En medio de la faja, perpendicularmente a sus bordes largos, después de previo arrugamiento, se forma una *raja* en forma

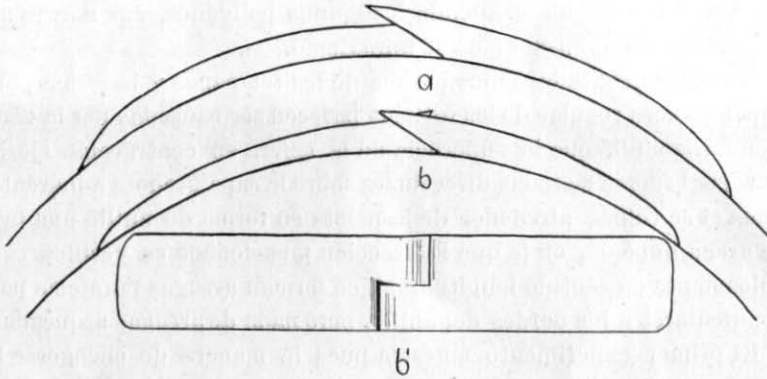


Fig. 2

de un *plano oblicuo*, la que divide la faja en dos partes con bordes en forma de *cuñas*. De estas últimas *aquella, cuyo filo está dirigido hacia arriba, se empuja sobre la otra, cuyo filo reposa sobre el plano de la pelota* (fig. 2 a). A menudo se forman dos planos de fractura en sentido

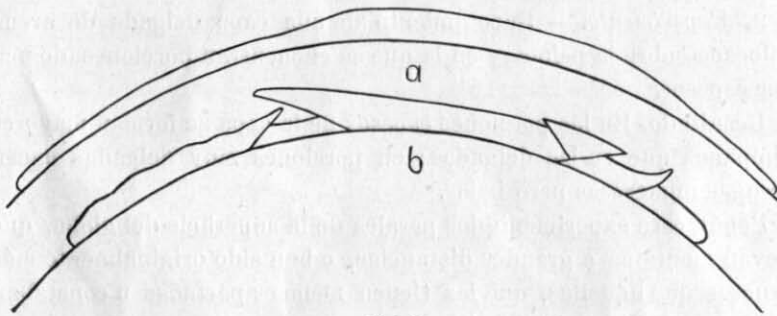


Fig. 3

opuesto, inmediatamente vecinos, de modo que se cruzan en el perfil (fig. 2 b y b' [visto desde arriba]). A veces en el borde que sube, por una segunda raja saliente desde el pie de la primera se segrega *un pedazo en forma de una cuña* de ángulo obtuso (fig. 3 a la derecha). Además la faja siempre se engruesa acortándose en cada punto de su extensión.



Explicación. La fractura en el medio de la faja de arena es causada por la tracción, que las partículas de la faja experimentan por su adhesión y rozamiento en la superficie de la pelota contráctil. Dicha tracción se suma desde ambos extremos de la faja hacia el centro, manifestándose allí como presión horizontal.

Según este experimento la corteza del globo terráqueo se encogería rajándose por planos oblicuos de fractura en témpanos, cuyos bordes se sobreponen uno sobre otro.

4. *Experimento.* — Compresión de fajas largas de arena húmeda, así de ancho uniforme pero de diferente espesor, como de fajas de espesor desigual (vista del 2 experimento en el perfil).

Resultado. En varios puntos de las fajas se forman arrugas transversales, las que por parte se convierten en superposiciones, es decir, se forman tales sobreescurrecimientos siempre a distancias tanto mayores uno de otro y quedan entonces tanto más largos, cuanto más gruesa es la faja o la porción respectiva de ella (fig. 3).

La causa de este fenómeno consiste en que en una capa gruesa, más resistente a la fractura, *la tracción compresiva*, que la pelota encogiéndose ejerce sobre aquella capa, tiene que accionar desde la primera raja, donde la presión se descarga, sobre un trecho más largo de la cara inferior de la capa para producir otra raja (1).

Aplicando esta regla (que la distancia de una raja a la otra es determinada por el espesor de la faja de arena) a la corteza esférica de la pelota, resulta que por la misma causa, que aquella faja de arena húmeda, bajo la compresión activa en tan *sólo una* dirección, se raja en porciones iguales en *una* dirección, así *la corteza esférica*, donde la compresión acciona en *todas* direcciones, tendrá la tendencia de compartirse en témpanos de diámetros iguales en *todas* direcciones, por cuanto esto fuera realizable según las leyes geométricas. Por lo tanto hasta en una corteza perfectamente homogénea se hallarán siempre polígonos (hexagonales) más o menos regulares al lado de enteramente irregulares.

Sobreponiéndose mutuamente los bordes de estos polígonos resultan aquellos rodetes de forma poligonal o arqueada, como aparecieron en la capa arenosa sobre la pelota.

(1) Un anillo de arena húmeda colocado alrededor de la pelota y atraído por gravitación central de la misma pelota, — suponiendo que la adhesión y el rozamiento sean insignificantes — formaría por la presión periférica una raja con superposición tan sólo en un lugar.

La tendencia de la corteza esférica de rajarse por fracturas arqueadas o bifurcadas, se manifiesta también, cuando se hace en medio de ella un corte rectilíneo inclinado (*c* en fig. 4, tres casos). Entonces, efectuándose la contracción de la pelota, el superior de los bordes cuneiformes formado sube encima del otro inferior, y desde cada uno de los extremos del corte continúa la raja o en forma de un arco o bifurcándose.

Este fenómeno se explica así, que por el corte la vecindad de este lugar pierde un sostén contra la compresión horizontal y sucumbe a la fractura. Tal continuación de la raja desde el lugar, que como punto más débil cede primero a la compresión, puede ser una causa del origen de las zonas continuas de fractura en el globo terrestre.

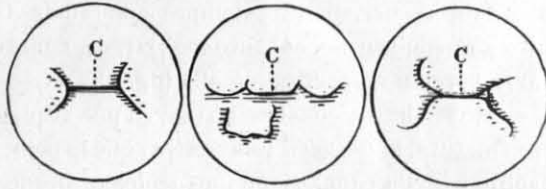


Fig. 4

Según lo expuesto queda demostrada la causa de la forma arqueada de los bordes de los témpanos y de las superposiciones de éstos bajo las condiciones que rigen en la pelota.

De esto puede deducirse que en la tierra — donde los plegamientos de las montañas densamente acumulados también hacen evidente una considerable compresión periférica y como causa de ella o la contracción del núcleo o la dilatación de la corteza como igual en su efecto — estos mismos procesos y su consecuencia, *la tracción compresiva de la superficie del núcleo sobre la corteza, efectuada de manera igual en todas direcciones, serán la causa de la prevalente forma arqueada de las montañas.*

Muy bien se presenta el mismo fenómeno del compartimiento poligonal en semillas cuya corteza es algo movable sobre el sustrato como en alberjas tiernas (1). Colocando éstas en agua hirviendo la corteza

(1) La comparación del arrugamiento de la corteza terrestre con el de la corteza de una manzana que se seca, no es exacta, porque la última está pegada a su sustrato por una fuerza en proporción incomparablemente más grande que la cohesión de la corteza terrestre con su sustrato (del cual tiene que despegarse)

se hincha, y se levantan sobre ella pliegues, comenzando como rodetes rectilíneos, que se alargan bifurcándose repetidas veces, y acaban por formar una red poligonal (fig. 5). Este fenómeno, que se explica exactamente como el anterior (sobre la pelota), enseña además que el plegamiento desde pocos lugares va extendiéndose poco a poco por encima de toda la esfera, de modo que los rodetes, del mismo modo como muchas montañas de la tierra, pueden mostrar durante algún tiempo la forma de arcos abiertos (1).

5. *Experimento.* — Una capa de arcilla blanda en cuyo medio se halla una faja arcillosa tiesa, se somete sobre la pelota de goma a la compresión.

Resultado. La capa de arcilla blanda se arruga igual y débilmente, pero se amontona mucho en los bordes angostos de la faja tiesa, su-



Fig. 5

biendo por encima de ellos; se arruga mucho menos en los bordes largos de la faja, la que luego se queda más baja que la masa, que la rodea.

Explicación. El mayor amontonamiento de la masa blanda en los lados angostos en contraposición con el menor en los lados largos de la faja es causado por la *infraposición de un trecho más grande del plano esférico de la pelota*, cuya cubierta allí amontonada es por consiguiente más extensa que la que se amontona en los lados largos.

y tiene por eso que arrugarse igualmente en toda su extensión, lo que evidentemente no corresponde al arrugamiento de la corteza terrestre, localizado en zonas bien distintas.

(1) Un compartimiento poligonal semejante, pero debido a un proceso contrario, al desgarro de la corteza se efectúa en la superficie de fango que se seca, y en un modo aun más perfecto al congelarse vaselina derretida en una cuba ancha. Se deben esos fenómenos a la competencia entre la cohesión de las partículas corticales — las que tienden a contraerse hacia un centro común — y la resistencia de rozamiento, que tienen que vencer en tal movimiento. Ese rozamiento tiene un efecto tanto más poderoso, cuando más ancha es la costra sobre la que acciona. Por eso la corteza se dividirá en témpanos de diámetros precisamente tan grandes que la cohesión de las partículas en su movimiento hacia el centro del témpano puede vencer todavía la resistencia de rozamiento, que se le opone.

Aplicación a la tierra: La formación de las montañas es más poderosa y pronta en los extremos de los diámetros más largos de los tímpanos firmes y por la misma razón más activa en los bordes de tímpanos grandes que de tímpanos chicos de forma semejante.

## II

### EXPERIMENTOS SOBRE EL PROCESO DEL SOBREENCURRIMIENTO

Para investigar el proceso del arrugamiento en los bordes de los tímpanos, como se presentó en los experimentos anteriores en el perfil, pero en mayor escala, me he servido de un aparato de la construcción siguiente: dos placas gruesas de vidrio de unos 80 centímetros de largo y unos 15 centímetros de ancho están paradas a una distancia de 5 centímetros la una de la otra sobre una lista y sostenidas en ambos extremos por dos listas arriba unidas. El espacio entre los vidrios se cierra en ambos extremos por dos bastidores largos de unos 6 centímetros de alto.

El material que ha de representar la roca plástica en la profundidad, para que corresponda lo más posible en pequeña escala a las condiciones naturales, debe poseer ya en capa poco alta bajo la presión del peso propio una movilidad fácil ni debe permitir la formación de huecos, que son imposibles en la profundidad plástica. Estas propiedades las posee aproximadamente la arena fina seca. Humedeciéndola se pueden crear los diferentes grados de consistencia desde la perfecta plasticidad de las rocas en la profundidad hasta la rigidez en los pisos superiores.

La contracción del sustrato contráctil hacia el centro de un tímpano, que en su efecto es igual al avance del borde de este último, se imita empujando adelante uno de los bastidores.

1. *Experimento.* — La compresión de una capa plástica en el borde de un tímpano rígido, a que queremos llamar «macizo», de borde perpendicular.

Se erige entre los dos bastidores una capa de arena seca de 1 a 2 centímetros de espesor y se le aplana desde arriba por medio de una lista. Sobre la capa se esparce polvo de tiza, el que desde fuera aparece como línea blanca. Encima de la tiza se colocan otras capas de arena en alternancia con líneas de tiza hasta llegar a la altura del

bastidor. Para la capa superior se emplea arena algo húmeda, para que sea menos móvil.

Hecho esto, cuando se empuja el bastidor hacia el centro del aparato, se hincha primero la masa de arena hasta una cierta distancia. Poco después se forma en ella un *plano resbaladero oblicuo principian-do desde un punto algo delante el pie del borde del macizo y subiendo en la dirección del empuje*, plano cuya presencia se manifiesta por la dislocación de las líneas blancas de tiza en forma de dientes (fig. 6 a,  $a_1$ ).

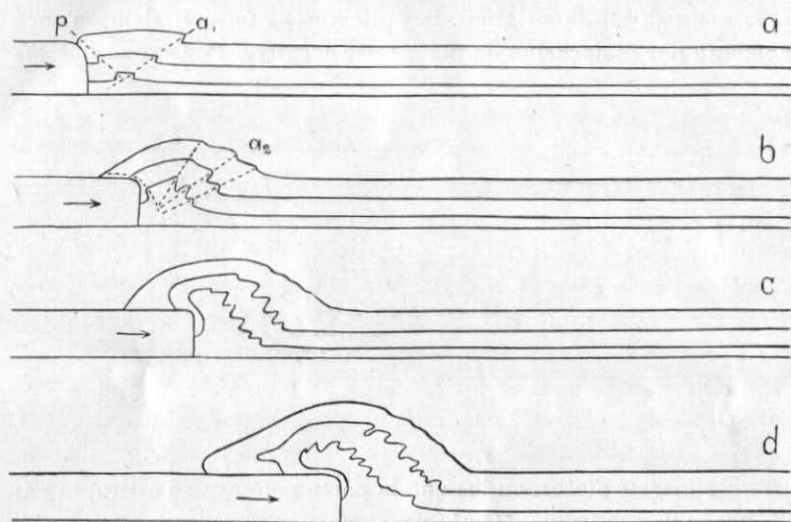


Fig. 6

De la parte inferior de dicho plano resbaladero sale casi al mismo tiempo *otro plano*, el que corre *hacia atrás*, dirigiéndose al borde superior del macizo (fig. 6 a, p). La masa de arena limitada por ambos planos en forma de *cuña* se alza bajo la presión del bastidor, de modo que su lomo se levanta sobre el nivel original de la capa arenosa formando hacia delante, encima de ésta, y hacia atrás, encima del bastidor, pequeñas superposiciones o sobreescurrecimientos. Mientras que esto pasa, tomando al mismo tiempo el primer plano una posición más empinada, súbitamente aparece *otro plano resbaladero* ( $a_2$ ) desde el pie del bastidor de la misma inclinación como el primero, reconocible por la aparición de nuevos ángulos en las líneas blancas. Repitiéndose este proceso, que se diseña en los plegamientos de las líneas de tiza con grande finura, se forma un número de escalones bastante re-

gulares en la superficie, los que suben hacia el macizo en forma de escalera, y de dientes en las líneas blancas. La masa de arena prensada hacia arriba crece por el aumento continuo desde un lado y va subiendo poco a poco por encima del macizo. Allí la serie de los pliegues toma una posición más o menos horizontal, mientras inmediatamente delante el macizo las líneas se estiran por encima del mismo formando un largo *sobreplegamiento* (fig. 6, b, c, d).

A consecuencia de hincharse la masa de arena antes y durante el plegamiento, las capas resultan más gruesas en estado plegado de lo que eran en su estado original. Los pliegues se forman siempre sucesivamente por dislocación de planos por arrastre. Por eso *no son plie-*

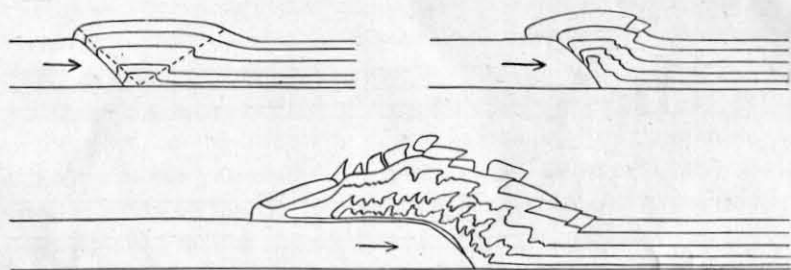


Fig. 7

*gues propiamente dichos*, en los que la parte convexa se estira, la parte cóncava se comprime. De ahí proviene que durante la dislocación el lado inferior de cada pliegue cambia continuamente de grosor, el que alcanza su máximo, si el lado inferior forma un ángulo recto con el plano resbaladero, pudiéndose disminuir después hasta la mayor delgadez. Se comprende que tal plegamiento aparente puede efectuarse en cualquiera profundidad de la corteza terráquea, es decir, bajo la mayor presión.

Si se ejecuta la compresión con un bastidor de frente inclinada, el fenómeno se verifica sin mayor diferencia (fig. 7, tres fases).

2. *Experimento.* — Se imagina que un área de la corteza terrestre se halle engrosada hacia la profundidad o, lo que es lo mismo, que descance sobre un macizo el que se adelgaza hacia sus bordes como un lente. Se comprima pues la parte colindante de la corteza por la capa que cubre el macizo, reforzada por la adhesión al mismo.

Para imitar tales condiciones el macizo mencionado fué representado por una canaleta de lata de bordes bajos, abierta en ambos ex-

tremos, y que ocupa la tercera parte del aparato; la corteza terráquea superior por una capa de arena seca cubierta de otra de arena húmeda, separadas ambas por una línea divisoria, el todo de 3 centímetros de alto. Dicha canaleta fué empujada lentamente hacia el centro del aparato.

Resultado : Saliendo desde el borde anterior de la canaleta nacen

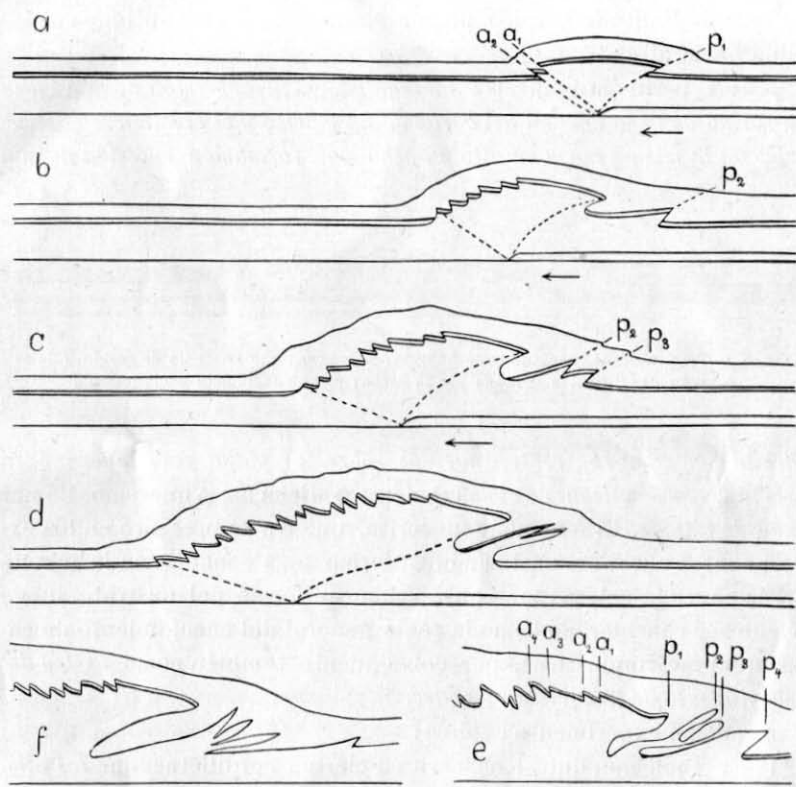


Fig. 8. — Experimento de compresión en cinco fases, *a-e*; *e*, una mitad de la masa comprimida con los pliegues inclinados hacia atrás; *f*, lo mismo en otro experimento; a la derecha se encuentra la canaleta, la que se mueve en la dirección indicada por la flecha.

casi a tiempo igual *dos planos resbaladeros simétricamente divergentes*, el uno inclinado en la dirección del empuje (fig. 8 *a*, *a*<sub>1</sub>), el otro dirigido hacia atrás (*p*<sub>1</sub>). Sobre este último la masa encerrada entre ambos planos en forma de cuña, sube para arriba, por encima del macizo, siendo seguida por otros pliegues que desde el borde del mismo en intervalos iguales nacen delante de ella. Cuanto más va creciendo la

masa amontonada, tanto más echados resultan los planos nuevos en su frente, mientras que el plano sobre el que aquella masa se mueve para arriba, declina poco a poco hacia atrás hundiéndose a veces en su medio (fig. 8 d). Entonces nacen tras de este mismo plano resbaladero sucesivamente algunos otros más, dando lugar a la formación de dientes, que se alargan poco á poco en lenguas (fig. 8 p<sub>1</sub> p<sub>2</sub> p<sub>3</sub> y el resultado de otro experimento fig. 8 f). En el curso del fenómeno el lomo de la cuña limitada por los planos resbaladeros más antiguos se inclina hacia atrás.

Este experimento muestra la *segregación y expresión de una masa en forma de cuña encima del borde de un macizo y el crecimiento asimétrico de la misma masa en alto y ancho por formación sucesiva de mu-*

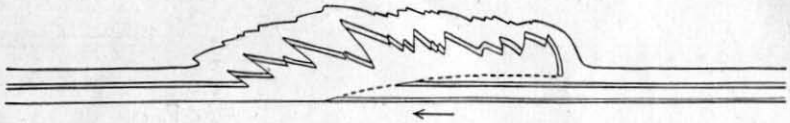


Fig. 9. — Tres capas de arena un poco húmeda; al lado derecho una hoja de cartón, que se mueve en la dirección indicada por la flecha; dientes inclinados hacia un lado

*chos pliegues en su frente, movidos sobre un plano resbaladero para arriba, y pocos pliegues en sus espaldas. A dicha masa queremos llamar cuña de empuje. El fenómeno descrito, que ya se presentó en los experimentos anteriores así como, en forma más sencilla, en la faja de arena sobre la pelota por contracción uniforme del sustrato, luego puede ser considerado como la regla general del encogimiento de capas quebradizo-plásticas, por consiguiente también como la ley del encogimiento de la corteza terrestre.*

El mismo experimento explica:

1° El fenómeno, que se observa en ciertas cordilleras, que *los pliegues en ambos flancos están inclinados hacia fuera;*

2° El fenómeno común, que la serie de los pliegues inclinados en una sola dirección asciende hacia un lado de la montaña, luego *la estructura asimétrica de las cordilleras formadas por plegamiento;*

3° La manera de formarse *largas superposiciones ó sobrecurrimientos.*

Se puede suponer que las dislocaciones descriptas se verifiquen suave e igualmente en la profundidad plástica, más que al contrario cerca de la superficie los bordes delgados de la cuña de empuje a causa de la resistencia de rozamiento se atrasen poniéndose las capas superficiales, que son hasta cierto grado elásticamente compres-



bles, en un estado de tensión horizontal. Soltándose esta tensión de tiempo en tiempo bajo avance repentino y brusco de aquellos bordes, se han de producir choques de tierra, los que donde llegan en contacto con el mar causarán temblores del mar y oleadas.

Según los resultados de los experimentos descritos, el encogimiento de la corteza terráquea se verificaría *por expresión de cuñas de empuje a lo largo de los bordes de témpanos*, acercándose los centros de estos últimos uno a otro. Por esta razón no se puede hablar propiamente de un empuje en una sola dirección. Sin embargo, considerando que los bordes de témpanos anchos y firmes a la vez avanzan más ligero que los bordes de témpanos pequeños y débiles (los que en los

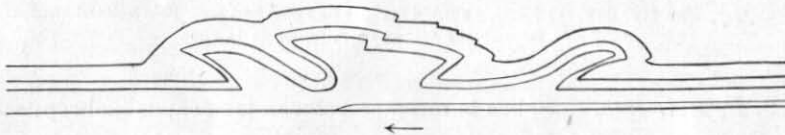


Fig. 10. — Una capa de arena seca entre dos capas de arena húmeda. Dos pliegues anteriores (a la izquierda) y tres pliegues posteriores (a la derecha); los pliegues anterior y posterior son casi iguales. El plegamiento hacia adelante y hacia atrás, producido por tan sólo un movimiento, resalta a la vista.

experimentos se sobreponen sobre aquellos), quiero hablar de un avance sólo en los macizos. De modo análogo llamaré los planos resbaladeros, que suben desde el borde del macizo en la dirección de su avance, «planos resbaladeros anteriores»; los que corren hacia atrás por encima del macizo «planos resbaladeros posteriores» y los pliegues correspondientes «pliegues anteriores» y «pliegues posteriores». Resulta, pues, que *el empuje se dirige desde ambos flancos de la cordillera por debajo de ella hacia el filo inferior de la cuña de empuje, lugar donde se efectúa la segregación de lo sobrante de la corteza*. Por eso los pliegues que forman los bordes de las montañas, avanzan aparentemente por encima de las planicies colindantes.

Los ángulos de inclinación del primer plano resbaladero anterior y del primer plano posterior son siempre iguales y de tamaño constante. En una serie de experimentos con arena seca y con poco húmeda hallé, que el ancho del lomo de la cuña de empuje está con el espesor original de la capa en la proporción de 3 : 1 en término medio. De ahí resulta la posibilidad de calcular la distancia entre las salidas de aquellos dos planos el espesor de la corteza terráquea, que toma parte en la formación de la cuña de empuje.

En los experimentos siguientes se trata de investigar el efecto, que la diferencia del material de las capas ejerce en la formación de la cuña de empuje. En el arreglo se evitó — si bien a costo de poder observar el desarrollo del proceso en el perfil — una desventaja de los experimentos anteriores, en los que por la adhesión o el rozamiento de la arena en las placas de vidrio los pliegues anteriores resultan demasiado cortos, los posteriores demasiado largos. El arreglo era el siguiente :

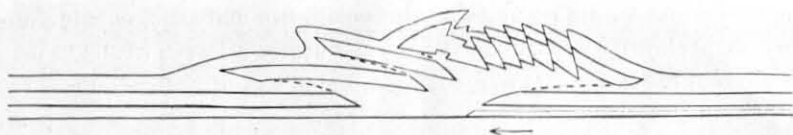


Fig. 11. — Una capa de arena húmeda entre dos capas de arena casi seca. Sobrescurrimientos largos de las escamas anchas en el frente de la cuña

3. *Experimento.* — Sobre la mesa se colocan tres capas sobrepuestas de arena poco húmeda, distinguidas por diferente color, de 1 metro de largo y de 2 centímetros de grueso. A un lado se encuentra colocada debajo de la masa una hoja de lata de unos 20 centímetros en cuadrado como macizo. Empujando la hoja adelante, se realiza el proceso de manera semejante como en los experimentos anteriores. Para

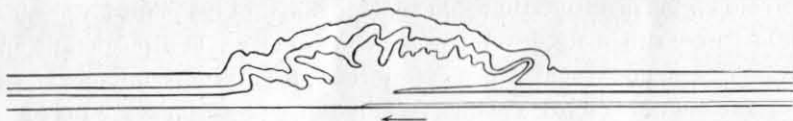


Fig. 12. — Una capa de arena seca entre dos capas de arena poco húmeda  
Plegadura inclinada hacia ambos lados

hacer visible el perfil de la masa amontonada, se la corta por medio de una hojalata y se aleja la una mitad.

Los resultados varían según la mayor o menor rigidez de cada una de las tres capas de arena. En capas muy rígidas se forman escalones largos como dientes (fig. 11), en menos rígidas pliegues cortos (fig. 12). Una capa de arena húmeda, que yace entre dos de arena seca, se raja en escamas. Estas se alzan poco a poco separándose una de otra en la arena móvil que las rodea, y formando una especie de escollos geológicos (fig. 13).

De las figuras 10 y 12 se reconoce, que no se puede hacer siempre una conclusión de la «dirección de los pliegues» sobre la «dirección

del empuje», es decir, sobre el lado en que se encuentra el macizo o el plano resbaladero posterior.

4. *Experimento.* — Una pequeña porción de la capa de arena húmeda se refuerza aplastándola ligeramente.

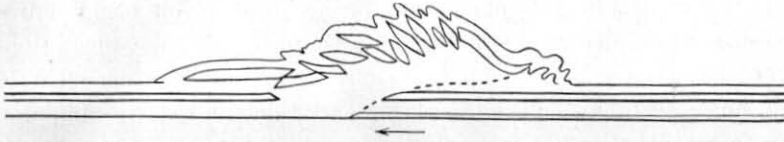


Fig. 13. — Arreglo de las capas como en la figura 11. Escollos geológicos en el flanco derecho algunos pliegues posteriores

Tan pronto que la cuña de empuje llega a este trocito reforzado, lo mueve para delante, levantándose en el frente del mismo una nueva cuña de empuje, la que sin embargo, junto con aquel trozo, sube para

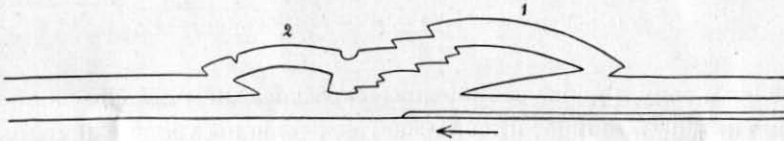


Fig. 14 a. — Dos capas de arena medianamente húmeda. Delante de la cuña de empuje primitiva (1) se ha levantado otra secundaria (2). Entre ambas se encuentra un foso

arriba en el plano resbaladero posterior de la primera cuña (fig. 14 a y fig. 14 b).

Plegamiento retrógrado tiene pues lugar siempre delante trozos

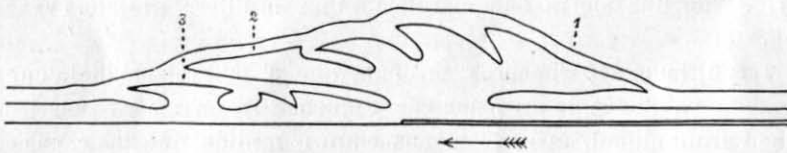


Fig. 14 b. — Cuña de empuje secundaria (2) en una fase posterior, cubriendo a dos pliegues anteriores más recientes y a una cuña terciaria (3)

más firmes de una capa. También aquí *un empuje en una sola dirección causa plegamiento en dos direcciones opuestas a la vez.*

La formación de una cuña de empuje secundaria aparece también tras del pliegue posterior de la cuña principal. Ambos procesos re-

presentan además una manera posible del levantamiento de sierras bajas paralelas a las cordilleras grandes.

5. *Experimento.* — Compresión de una capa de arena húmeda, en la que está intercalada una hoja delgada de papel, la que representa una capa flexible y coherente.

Resultado. La hoja de papel, por no ser compresible como la arena, se pliega inmediatamente en uno o en varios puntos y hasta dentro de la misma cuña de empuje primitiva, la que a consecuencia de esto no se destaca siempre tan claramente como en los experimentos con arena sola. El pliegue posterior es cubierto a veces por el próximo siguiente, los demás pliegues toman — según el menor o mayor espesor de la capa superior de arena — formas más o menos simétri-

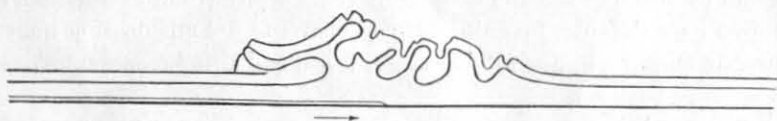


Fig. 15. — Una hoja de papel entre dos capas de arena húmeda

cas hasta muy torcidas con pliegues especiales, despegándose a menudo del sustrato a dar origen a cuevas debajo los vértices (fig. 15).

Cuevas debajo de vértices de pliegues se encuentran en gran número en la sierra de la Ventana en Argentina (prov. de Buenos Aires).

La rigidez de la hoja de papel tiene además el efecto que ésta, resbalando por encima del sustrato compresible, se pliega a veces a una distancia de la cuña de empuje, hasta donde por lo pronto los pliegues anteriores o posteriores no alcanzan, ilustrándose también así el origen de una sierra baja paralela a una cordillera grande. (Véase fig. 18.)

Los últimos experimentos enseñan, que el mecanismo de la cuña de empuje, que es de precisión casi esquemática en masas plásticas de la profundidad, aparece menos claro a medida que las capas se vuelven relativamente más y más rígidas y coherentes en los pisos superficiales, donde además sus desigualdades y heterogeneidad ejercen mayor influencia.

En todos los experimentos descritos se hizo siempre uso de refuerzos particulares, imitándose así varios casos posibles de desigualdad de la corteza terrestre. Queda pues que investigar todavía — lo que es de importancia fundamental — el modo del encogimiento sin tales

refuerzos en medio de una capa homogénea, en la cual, como en la faja de arena húmeda sobre la pelota, la distancia de una raja de la otra depende únicamente del espesor o la firmeza de la capa respectiva, así como en la mayoría de los casos corresponderá a las condiciones naturales. Con ese objeto se hizo el

6. *Experimento.* — Se erige sobre la mesa, entre un marco largo rectangular, una capa de arena húmeda con una capa blanca divisoria, de tal manera que va engrosándose poco a poco hacia un extremo, donde se la comprime además de arriba. Así se consigue que el arrugamiento tenga lugar en medio de la capa, y no delante del refuerzo artificial del marco. Empujando el marco desde el lado refor-

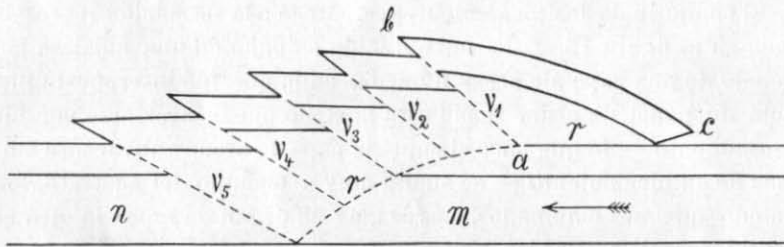


Fig. 16

zado hacia delante, se levanta una cuña de empuje ( $a, b, c$ , fig. 16) entre dos planos resbaladeros ( $v_1$  y  $r$ ), y sube sobre la una parte de la capa ( $m$ ) seguida por la otra parte de esta ( $n$ ); la última en intervalos bastante iguales, se divide en escamas por los planos anteriores ( $v_2, v_3, v_4, v_5$ ), exactamente del mismo modo como en los experimentos precedentes. Habiendo alcanzado la cuña de empuje cierto tamaño, se para el arrugamiento en este punto, y se levanta otra cuña en otro lugar. Se muestra además, que no depende de la dirección del empuje, sobre cual de los planos resbaladeros primitivos (como plano posterior) la cuña subirá, sino — como demuestran los experimentos con refuerzo — solo de la mayor firmeza, aun insignificante, de una de las partes de la capa.

El fenómeno descrito se realiza siempre y sin ninguna excepción de la misma manera, documentándose como *regla general del encogimiento de capas quebradizo-plásticas bajo la compresión horizontal.*

INDICIOS DE LA FORMACIÓN DE CUÑAS DE EMPUJE  
EN MONTAÑAS NATURALES

Formaciones semejantes a las que se obtuvieron en los experimentos, se muestran también en los perfiles de las montañas naturales. Algunos de éstos, donde la estructura de cuña de empuje parece resaltar de un modo particular son los siguientes :

1. La sección transversal de la zona del Briançonnais a lo largo del valle del Guil, según W. Kilian, escala de 1 : 100000, en *La face de la terre*, por E. Suess, tomo III, 2, figura 141, página 707.

El conjunto de los plegamientos se parece a la formación representada en la figura 18. Esta fué obtenida empujando una hojalata por debajo de una capa de arena húmeda, en la que fué interpuesta una hoja de papel de seda. Como esta hoja no puede acortarse por engrosamiento — lo que hace siempre la capa de arena subyacente además de su plegamiento — se suelta muy a menudo del sustrato, formando pliegues empinados, cuyas alas se pegan la una a la otra en sentido paralelo. Por la misma causa se levantan también a veces pliegues encima de la cuña primitiva, lo que nunca sucede cuando se emplea arena sola.

Condiciones semejantes existen aparentemente en el perfil natural presente. Muestra éste la estructura asimétrica propia de la cuña de empuje. Al lado derecho se encuentra la cuña primitiva hundida un poco en su medio y algo ondulada, con dos grandes pliegues posteriores a la derecha, cuyos vértices están doblados para abajo, y a la izquierda un pliegue anterior, el primero, inclinado en sentido opuesto. A este pliegue se juntan hacia la izquierda diez otros pliegues anteriores, los que, como sucede comúnmente en tales formaciones, están inclinados hacia delante, con excepción de tres en el medio, los que — como en el experimento — están parados con las alas apretadas la una contra la otra. Debajo de la cuña primitiva se halla un plano resbaladero el que correspondería al plano resbaladero posterior.

2. Sección transversal de los Pirineos Bascos al sur de Tardets, según L. Bertrand, en *La face de la terre*, tomo III, 2, figura 207, página 919.

Una formación artificial, parecida a este perfil, la muestra la figura 20, obtenida por compresión (entre dos placas de vidrio) de una capa

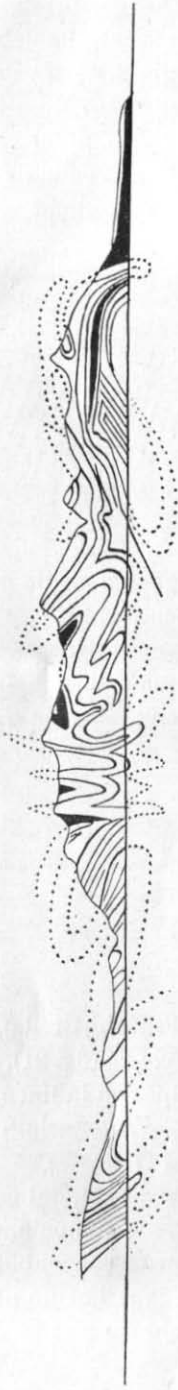


Fig. 17. — Perfil del Briançonnais segun W. Kilian

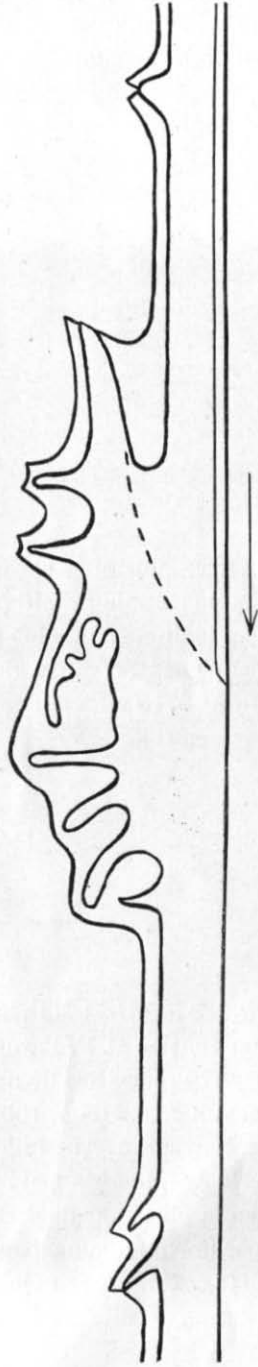


Fig. 18

de arena seca, cubierta por otra de arena húmeda, compresión verificada empujando adelante una canaleta que se encontraba debajo de un lado. Se formaron muchos dientes cortos dirigidos para delante, y dos de mayor largo y de forma de lenguas, dirigidos para atrás, en la sucesión indicada por los números. Según esto, el perfil natural, por cuanto está visible en la figura, representaría una cuña de empuje con dos pliegues anteriores (a la izquierda) y cinco pliegues poste-

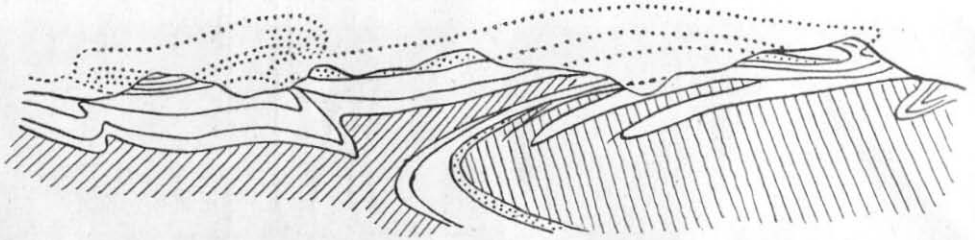


Fig. 19. — Perfil de los Pirineos según L. Bertrand

riores (a la derecha). Muy claramente se distingue en medio del cuadro la cuña de empuje primitiva (en el experimento entre  $r_1$  y  $r_1$ ).

La misma inclinación de los pliegues hacia los dos flancos, propias de las formaciones de cuñas de empuje e ilustrada particularmente por las figuras 8, 10 y 12, se encuentra también en la *Sección transver-*

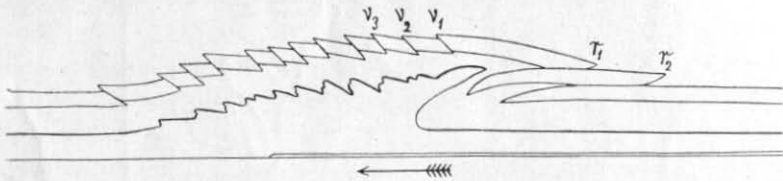


Fig. 20

*sal geológica de los Alpes Marítimos* (Zaccagna, Franchi, Stella), figura 210, página 403; en C. F. Parona, *Trattato di geologia* (fig. 21).

3. Ensayo esquemático de un perfil de los Alpes en la línea Sântis Chiasso, según Alb. Heim, 1908, en *Lehrbuch der Allgemeinen Geologie*, von E. Kayser, 4. Aufl., figura 581, página 747.

Una serie de pliegues parecidos a dientes de sierra, tal como se presenta en la parte sur de dicho perfil, fué obtenida empujando una hojalata por debajo de una capa de arena húmeda con cubierta de arena seca (fig. 23). Al principio aparecen en el experimento pliegues cortos en forma de dientes de sierra. Los que siguen más tarde, son



más largos, llevando a veces, como los en el perfil natural, dientes dirigidos para atrás. Tal «plegamiento retrógrado» aparece siempre — según un experimento anterior (fig. 14a y fig. 14b) — delante un trozo más firme de la capa, representando el diente dirigido hacia

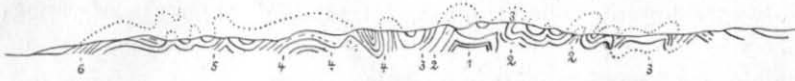


Fig. 21. — Perfil de los Alpes Marítimos (Zaccagna, Franchi, Stella)

atrás el pliegue posterior de la cuña secundaria. La cuña de empuje primitiva se encuentra en la figura 23 al lado derecho en la extremidad de la serie de dientes.

4. Perfil esquemático de los Appalaches en Pennsylvania según W. B. y H. D. Rogers (1842), en *La face de la terre*, tomo I, páginas 744 y 745, figura 104.

Este perfil muestra la ascensión de la serie de los pliegues, característica de la cuña de empuje, hacia el flanco de la montaña opuesto a la dirección de los vértices de los pliegues (véase fig. 8). Dicho flanco representa la parte más antigua de la masa plegada. La denuda-



Fig. 22. — Perfil de los Alpes según Alb. Heim

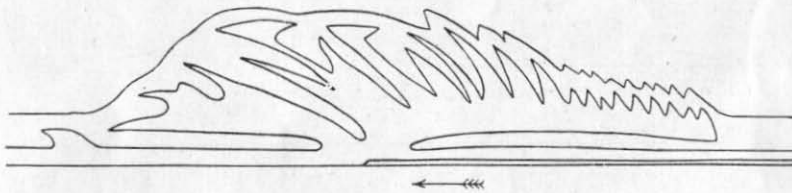


Fig. 23

ción de los pliegues se muestra progresivamente más profunda desde el oeste hacia el este, en proporción con la edad más avanzada de los mismos. La cuña primitiva, a no haber desaparecido completamente por la abrasión, se encontraría más al este (a la derecha).

7. Plegamientos de los terrenos metamórficos del Perthshire, según A. Geikie, en *La face de la terre*, tomo III, figura 86, página 514.

Se puede explicar este perfil según el experimento reproducido en la figura 8. Representaría pues una cuña de empuje con muchos pliegues anteriores a la izquierda, la cuña primitiva algo deformada en el centro, y algunos pliegues posteriores, por parte de considerable largo y de la forma de lenguas a la derecha.

De la comparación de las formaciones obtenidas por el experimento, con la estructura de las montañas naturales se llega a suponer, que también éstas se hayan formado a la manera de cuñas de empuje. Con tal suposición está de acuerdo la circunstancia, que para la formación de los pliegues de la corteza terráquea a veces densamente apretadas, no podía bastar ni de lejos la contracción del sustrato antiguo de las capas plegadas, sino que se requería la de un trecho mucho más largo, cuyo efecto sin embargo se concentraba sobre un espacio pequeño. Esto era posible únicamente de tal modo, *que la superficie del núcleo en contracción se introducía por debajo de témpanos no plegables, acumulándose su cubierta en los bordes de aquéllos.*

### III

#### EXPERIMENTOS ACERCA DE LA INFLUENCIA DE LA COMPRESIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS ROCAS

Se trata de determinar por experimento, cual posición toman las laminillas cristalinas contenidas en las rocas plásticas de la profundidad,

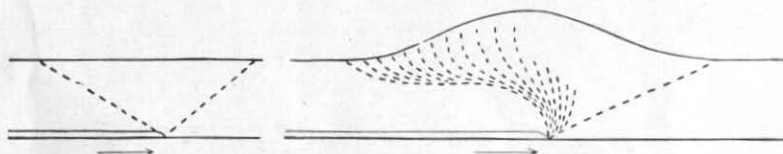


Fig. 24

por el proceso del encogimiento de la corteza terrestre. Para que tal ensayo dé resultado sin aplicar alta presión ni un fondo de masa plástica, el material que ha de representar aquella roca, debe constar de granos muy lisos de la forma de discos y de bordes afilados, en los que por lo tanto fácilmente se da a notar un cambio de posición. Por su homogeneidad en tamaño y forma se prestan para este objeto ciertas semillas vegetales, principalmente las de lino, distinguidas por su lisura

*Experimento.* — Determinación de la estructura que toma la roca plástica, comprimida por el avance de un macizo situado debajo de ella.

La roca plástica está representada por una capa de semilla de lino, colocada entre dos vidrios parados, el macizo por una canaleta de lata.

Resultado. Los planos resbaladeros anterior y posterior tienen al principio inclinación casi simétrica; el plano posterior se inclina pronto en su parte superior hacia atrás tomando la forma de una S. Los granos se colocan, encima del borde de la canaleta, con sus lados anchos en planos perpendiculares, inclinados arriba débilmente hacia atrás y estirados encima del macizo en forma de una S, la que poco a poco se acuesta (fig. 24).

Por este experimento se explica el origen de la estratificación transversal. La masa de la cuña de empuje, denudada por erosión, mostraría en aquel borde que está encima del macizo, una estratificación débilmente erguida hacia fuera, en su parte central una estratificación más empinada y hasta perpendicular.

#### IV

##### EXPERIMENTO SOBRE EL EFECTO ESTÁTICO DEL LEVANTAMIENTO DE LAS MONTAÑAS

En el fondo de una cuba ancha, llana y rectangular se colocan corchos cilíndricos de igual tamaño parados y apretados uno contra otro,

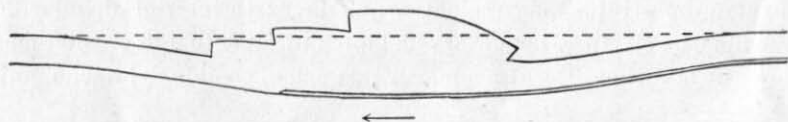


Fig. 25

y se cubren con una hoja de papel. En un lado de esa última se halla colocada otra hoja más pequeña representando un macizo. Encima del todo se coloca una capa de arena muy poco húmeda. Hecho esto, la cuba se llena de agua, de modo que los corchos con la capa de arena naden. La capa de corchos representa aquí el interior plástico de la tierra capaz de acomodarse a dislocaciones de peso, que se verifican en la corteza rígida sobrepuesta.

Si se mueve la hoja de papel superior por encima de la inferior, se

forma luego sobre su borde delantero una cuña de empuje, la que, cuando más crece en volumen, tanto más se hunde con el sustrato de corcho. Al mismo tiempo también las fajas de la capa de arena inmediatas a la cuña en ambos lados se hunden bajo el nivel primitivo, resultando *depressiones* a lo largo de ambos bordes de la cuña. Estas depresiones se quedan más hondas en aquel lado de la montaña, donde la mayor parte de la masa se ha acumulado, que en el lado opuesto. En consecuencia de tal hundimiento la serie de los escalones, ascendiente en los experimentos anteriores, toma una posición más horizontal (1) (fig. 25).

Por este experimento podrá explicarse por qué delante de algunas cadenas de islas y de montañas colindantes con el océano se encuentran depresiones considerables de la forma de fosos (Foso de Atacama, aleútico, japonés) (2).

En la naturaleza la presión que el sustrato deprimido ejerce hacia arriba contra el fondo del foso queda parcialmente compensada por el crecimiento de la columna de agua marina que allí va confluyendo. Además tales fosos se llenarán comúnmente de sedimentos, cuyo espesor se aumenta a medida que con el crecimiento de la cuña de empuje el foso se profundiza. Por guardar aquellos sedimentos siempre una superficie horizontal, alcanzarán mayor espesor inmediatamente delante la montaña, donde el foso tiene la mayor profundidad. Esta misma parte más gruesa de sedimentos será luego plegada encima de nuevos pliegues que van formándose en el borde de la cuña de empuje (3).

De tal modo se puede explicar por qué los bordes de las montañas constan de estratos más recientes que la parte interior de ellas, lo que apenas siempre puede ser debido únicamente a la erosión más larga de la última. Resulta además una causa posible del hecho uni-

(1) Podría imaginarse que la corteza terrestre a causa del hundimiento de las montañas se raje y abra por quedarse, según las leyes geométricas, en estado ondulado demasiado pequeña para la forma nueva del mismo contenido, distinta de la esférica; o que suceda lo mismo a causa de la presión, que el sustrato de los fosos laterales ejerce contra el fondo de ellos. Lo primero podría sin embargo acontecer sólo, si después de un empuje brusco la presión periférica quedase suspendida por algún tiempo.

(2) Esos fosos han conservado su profundidad evidentemente por no recibir ríos caudalosos, que acarrearán sedimentos.

(3) La porción del sedimento depositada encima de los pliegues ya hechos quedaría menos plegada que éstos.

versal, que en las montañas formadas por plegamiento los estratos sedimentarios tienen mayor espesor, que no poseen los de la misma edad fuera de esas montañas y que ocupan todavía su situación horizontal primitiva (1), así como cuanto más grande es la montaña, tanto más gruesos son los estratos sedimentarios que la componen.

El hecho que las masas anchas de las montañas de la tierra no son más altas que alrededor de 10 kilómetros sobre el fondo del mar, se puede — prescindiendo de la erosión — referir a diversas causas: se puede concluir primero, que la corteza terráquea, por cuanto toma parte en el arrugamiento, es sólo tan espesa, que por plegamiento y superposición no puede rendir mayor altura que 10 kilómetros; segundo, en caso de que siendo más espesa pueda rendir más, que habiendo la montaña por su levantamiento alcanzado aquella altura sobre el fondo del mar, entonces la resistencia de rozamiento en el plano resbaladero posterior impida mayor avance y por tal causa el plegamiento continúe en el próximo punto más débil de la corteza; en fin que las montañas tan pronto que hayan alcanzado la altura de 10 kilómetros, se hundan en el sustrato, aplastándose su base bajo el peso sobrepuesto. Con tal suposición está en concordancia el hecho, que las rocas se vuelven plásticas bajo una presión, que corresponde a la de una columna de roca de unos 10 kilómetros de alto.

## V

### VOLCANISMO

A raíz de los resultados, que los experimentos descriptos han dado sobre el modo del encogimiento de la corteza terrestre, se puede formar, con ciertas suposiciones, alguna idea respecto de las causas del volcanismo, en cuanto éste parece ser unido a la formación de las montañas.

La presión horizontal en la corteza terrestre se descarga por la expresión de cuñas de empuje. En este proceso la energía del empuje se concentra en el alzamiento de la masa de la cuña en los planos resbaladeros. El rozamiento unido a tal movimiento causa el calenta-

(1) Para este resultado coopera el engrosamiento de las capas antes y durante el plegamiento, descrito arriba.

miento y la dilatación de la roca en dichos planos, en un grado progresivo hacia la profundidad según el aumento del peso sobrepuesto. Los efectos mencionados resultan tanto más fuertes, cuanto más espesa es la capa terrestre atravesada por los planos resbaladeros, y cuanto más ligero aquellos movimientos se efectúan, lo que, como se ha demostrado, alcanza el mayor grado en los extremos de los diámetros más grandes de los témpanos. Importando la dilatación lineal de la roca un milésimo por cada 100° de aumento de temperatura, resultaría que un área de un plano resbaladero de 100 kilómetros de largo (correspondiente a un espesor de la corteza de 50 km.), de 1 kilómetro de ancho y de 1 metro de espesor, aumentaría su volumen por dicho aumento de temperatura en término medio en toda su extensión, en 300.000 metros cúbicos.

Como en la parte profunda de los planos resbaladeros bajo la alta presión que allí rige, el calentamiento de la roca, caliente ya por su situación profunda, resulta considerable, se puede suponer, que allí la roca pase al estado pastoso o líquido poniéndose a manifestar su fuerza expansiva con presión hidrostática. A tal presión cederá la cubierta en su punto más débil, el que se halla sobre el límite superior de la roca fundida en el plano resbaladero, donde la distancia hasta la superficie es la más corta. Allí el magma encerrado por todos lados penetraría hacia arriba como el mercurio, en el tubo estrecho de un termómetro sensible, forzándose entre las capas sobrepuestas como lacolito, o abriéndose una hendedura en sentido paralelo a la dirección del plano resbaladero, o con ayuda de los gases que contiene absorbidos, un cráter para derramarse por el mismo (1). La fuerza eruptiva y la cantidad del magma derramado aumenta por el empuje para arriba, que el magma en el plano resbaladero sufre por el peso de la cuña sobrepuesta a causa de la disminución de su densidad, debida a la dilatación, y por la permanente presión horizontal, la que principalmente en la parte más profunda y empinada del plano resbaladero exprime el magma hacia arriba.

(1) La erupción del magma puede ser facilitada y hasta causada por rajadas, las que por lo arriba dicho pueden formarse en la cuña de empuje, en caso que éstas corten los planos resbaladeros o — lo que pudiese suceder también fuera de la cuña de empuje — al plano inferior del borde del témpano, el que avanza con rozamiento por encima del sustrato contráctil. Con todo, tales rajadas pueden pasar sólo hasta la profundidad de unos 10 kilómetros, la zona donde a causa de la alta presión todas las rocas se encuentran en un estado de plasticidad latente.

Por acabarse el movimiento en un plano resbaladero anterior tan pronto que el próximo plano nace, mientras que en el plano posterior está continuando largo tiempo, la actividad de un volcán, según que haya tomado su origen del uno o del otro, sería de menor o mayor duración.

Como además el avance de los bordes de la cuña no se realiza de una manera continua sino periódicamente, después de haberse acumulado en la corteza la tensión necesaria para vencer la resistencia de rozamiento en los planos resbaladeros, podría ser esto una causa de la actividad intermitente de los volcanes.

Realizándose erupciones en varios puntos del rumbo horizontal de un plano resbaladero, resultaría una cadena de volcanes. Por otra parte para la formación de cadenas paralelas de volcanes entrarían

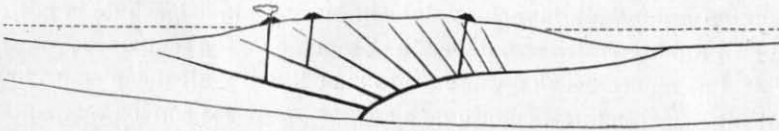


Fig. 26

en cuenta erupciones tanto desde los planos resbaladeros anteriores como desde el posterior a la vez.

Considerando además que el movimiento de la cuña de empuje sobre el plano resbaladero posterior se retarda a medida que el volumen de ella crece, acelerándose en el mismo grado el movimiento sobre el actual plano resbaladero anterior, se podría concluir que la actividad de los volcanes nacidos desde el plano resbaladero posterior vaya disminuyendo poco a poco y que después sigan sólo erupciones desde los planos resbaladeros anteriores (idea ilustrada en la fig. 26). En este caso los volcanes nacidos del plano resbaladero más nuevo serían los más activos, teniendo que apagarse tan pronto, que el movimiento en este plano cesara por formación del plano próximo siguiente. Así se explicaría la situación prevalente de los volcanes activos en un flanco de las cordilleras (1).

(1) Por ejemplo las cadenas de volcanes de la Cordillera argentino-chilena donde los volcanes más activos, como el Descabezado, Antuco, Llaima, Villarica, Riñínahue (nacido en el año 1907) y Calbuco, se encuentran cerca del borde oeste de la montaña.

RESUMEN

Combinando los resultados de los experimentos descriptos y aplicándolos a la tierra se llega a las conclusiones siguientes :

1<sup>a</sup> El arrugamiento de la corteza terráquea a causa de la contracción del núcleo del globo o de su propia dilatación se efectúa por *expresión de cuñas de empuje* a lo largo de líneas arqueadas o poligonales, las que representan los bordes de témpanos ;

2<sup>a</sup> La forma poligonal de los témpanos, que se manifiesta en *la forma arqueada de las montañas*, se debe a la tracción compresiva que la superficie del núcleo en contracción ejerce con fuerza igual en todas direcciones sobre la corteza adherente a ella. Del grado de dicha tracción, en proporción inversa, y del espesor y de la firmeza de la corteza en proporción directa, depende el tamaño de los témpanos ;

3<sup>a</sup> Las montañas se forman tanto más ligero y alcanzan tanto mayor altura y anchura, cuanto más anchos y espesos son los témpanos, en cuyos bordes se desarrollan ;

4<sup>a</sup> En la formación de las montañas siempre tiene lugar plegamiento hacia los dos flancos ; predomina sin embargo casi siempre el número de los pliegues anteriores sobre el número de los posteriores el que puede limitarse a tan sólo uno. Así se explica *la estructura asimétrica de muchas montañas formadas por plegamiento* ;

5<sup>a</sup> Plegamiento retrógrado resulta también de la formación de nuevas cuñas de empuje delante porciones más fuertes de las capas comprimidas siendo inclinado en tal caso el pliegue posterior de la cuña nueva hacia los pliegues anteriores de la cuña antigua ;

6<sup>a</sup> La cuña de empuje junto con la serie de los pliegues anteriores marcha para arriba, sobre el plano resbaladero posterior, sin cambio notable de su configuración superficial. Así se explica como sedimentos marinos (depositados sobre los pliegues anteriores, o también porciones de mar encerradas, que más tarde dan salinas) han podido ser trasportadas a grande altura en forma de pisos más o menos horizontales ;

7<sup>a</sup> La cuña de empuje se hunde por su peso en su sustrato plástico causando el hundimiento de los parajes en ambos flancos a medida de su crecimiento. Los sedimentos que en los fosos así formados se depositan van aumentando en espesor, en proporción del crecimiento y hundimiento consecutivo de la montaña, pero ellos mismos son ple-



gados y alzados más tarde por el avance de la cuña de empuje. Así se puede explicar eventualmente : primero por qué en las montañas los estratos sedimentarios tienen mayor espesor que los de la misma edad fuera de las montañas, en estado primitivo horizontal ; segundo, por qué dichos estratos son tanto más espesos, cuanto más alta es la montaña ; tercero, por qué los pliegues marginales de las montañas constan de sedimentos más recientes que la parte interior de ellas, en cuanto esto no se debe a la erosión ; cuarto, por qué las montañas grandes siempre están situadas sobre márgenes de depresiones llenadas o por el océano o por sedimentos ;

8ª Siendo la formación de cuñas de empuje ley universal del encogimiento de la corteza terráquea, resulta la probabilidad, que *el volcanismo*, en cuanto acompaña la formación de las montañas, tenga su causa en aquel mismo proceso, a saber, en la producción de calor por el rozamiento de los planos resbaladeros y sus consecuencias : dilatación y fusión de las rocas, y erupción de la masa líquida a causa de su fuerza expansiva.

