

en el rigor del verano, el nevado se congela varias veces, y á consecuencia de estas fusiones y congelaciones sucesivas, presenta el aspecto de una capa blanca compacta, pero llena de infinidad de burbujillas de aire esféricas ó esferoidales: es el *hielo burbujoso* de los autores que han escrito acerca de este asunto. Como la congelación y la filtración de la masa se van perfeccionando á medida que el glaciar desciende hacia las regiones habitadas, el agua acaba por reemplazar á todas las burbujas de aire; entonces la transformación es completa, el hielo parece homogéneo y presenta esas hermosas tintas azuladas que causan la admiración de los viajeros.,

Tal es el modo de formarse los glaciares, que se alimentan de las nieves caídas anualmente en las altas cumbres, y que aumentarían por tanto indefinidamente si cierto espesor de la superficie no se derritiera todos los veranos por efecto de la radiación solar, y si una porción de su extremidad no se resolviera en agua á causa de una temperatura superior á la de la congelación. El chorreo continuo que se observa en la superficie de los glaciares durante la estación calurosa y los torrentes que bajan desde su frente son otros tantos testimonios de ese fenómeno al que Agassiz ha dado el nombre de *ablación* y que limita la extensión del río de hielo. Además, según que la estación sea seca y cálida, ó por el contrario, fría y lluviosa, predomina la fusión y el glaciar retrocede, ó prepondera su movimiento de progresión y por lo tanto avanza.

Ahora debemos demostrar la realidad del movimiento de progresión ó de traslación de la masa glacial desde su origen en los campos de nevado hasta el punto en que termina el valle inferior. Los montañeses suizos conocían este hecho desde tiempo inmemorial, y en 1574, Simley, físico de Zurich, hablaba de él en una obra dedicada á la descripción de los Alpes. Reconocida su exactitud por Scheuchzer en 1705, y á fines del siglo XVIII por Saussure, quedó enteramente fuera de duda en la primera mitad del nuestro merced á las observaciones y medidas de varios hombres de ciencia, como Hugi, Agassiz, Desor, Rendu, Tyndall, etc.

Habíase notado ya el movimiento de dislocación de las grietas de año en año. Así también, al examinar la naturaleza de las rocas que forman los canchales, llamó la atención el hecho de que los caracteres mineralógicos de muchas de estas piedras no guardaban relación con los de las rocas de las montañas laterales, de las que al parecer debían proceder. Dichos caracteres tenían más conexión con los de las rocas que caían á plomo sobre otras partes mucho más elevadas del glaciar. De esto á deducir que los escombros caídos de dichas alturas sobre la masa de hielo habían sido transportados lentamente por ella hasta el punto en que actualmente se encuentran y á sacar en consecuencia la velocidad media de traslación, no había más que un paso, el cual se dió el día en que un sabio suizo, el profesor Hugi de Soleura, se construyó una cabaña en el glaciar del Unteraar, con objeto de hacer en ella observaciones seguidas del glaciar (1). Esto era en el verano de 1827. Tres años después, en 1830, el Observatorio de Hugi había bajado 100 metros: á los seis años, en 1836, había avanzado 716, y Agassiz encontró la cabaña 1.432 más baja que su punto de partida. Resulta de aquí un movimiento de 102 metros por año.

(1) Cuando de Saussure hizo en 1778 su célebre ascensión á la garganta del Gigante, dejó una escalera de madera al pie de la Aguja negra, hacia el punto en que empieza uno de los canchales centrales del Mar de Hielo. Forbes y otros viajeros encontraron cuarenta y cuatro años después, ó sea en 1832, unos pedazos de dicha escalera en un punto que distaba del primero 4,050 metros. C. Martins encontró en 1845 un pedazo de la misma escalera 370 metros más abajo. Así pues, el glaciar había avanzado, por término medio, primero 75 metros por año, y luego tan sólo 28.

El movimiento de progresión del conjunto del glaciar era, pues, patente. Faltaba estudiarlo en sus detalles más circunstanciados. Ya en 1840, Agassiz había tomado medidas exactas del movimiento del glaciar del Unteraar, observando con el teodolito las posiciones relativas de seis postes que mandó plantar sólidamente en línea recta en la masa de hielo. Al año siguiente vió que los seis postes habían cambiado de lugar con desigualdad, de suerte que la alineación primitiva estaba bastante modificada, como lo prueban las cifras siguientes que marcan el avance de cada uno de ellos.

1. <sup>er</sup> poste.	49 metros
2. <sup>o</sup> "	68 —
3. <sup>o</sup> "	82 —
4. <sup>o</sup> "	74 —
5. <sup>o</sup> "	64 —
6. <sup>o</sup> "	38 —

Las observaciones que el mismo sabio hizo al año siguiente y las que Forbes emprendió en el Mar de Hielo hacia la misma época, confirmaron plenamente la ley in-

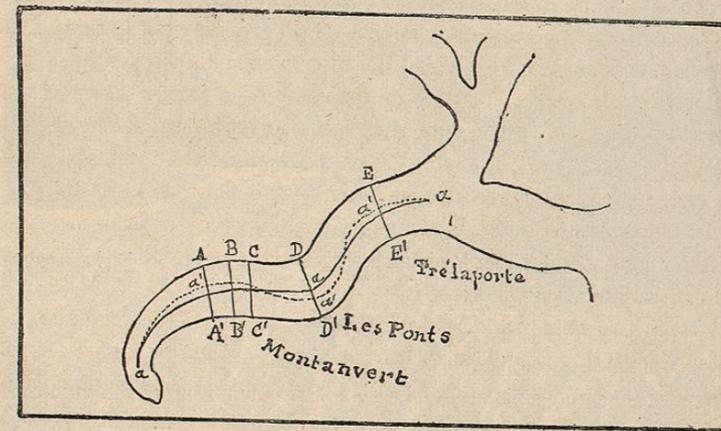


Fig. 116.—Mar de Hielo. Movimiento progresivo del centro y de las orillas

dicada por los números anteriores y que puede formularse así: El movimiento de progresión de un glaciar es más marcado en su parte central que en sus orillas: la velocidad va creciendo de éstas al eje del glaciar. Lo mismo precisamente sucede en las aguas de un río, más rápidas en medio que en las orillas.

Pero no debía limitarse á esto la asimilación entre el río sólido y el río líquido. Tyndall y Hirst efectuaron en 1857 una serie de medidas en el Mar de Hielo, que tenían por objeto conocer el sitio de los puntos de mayor velocidad de la superficie del glaciar, y comparar entre sí las velocidades de los puntos situados á igual distancia de las dos orillas, en las partes curvas del río de hielo. Las consecuencias de estas medidas fueron las siguientes: por lo general, no es el eje ó la línea media de la superficie del glaciar la que tiene más rápido movimiento de progresión, y por consiguiente la velocidad no es igual en un lado que en otro, si se consideran puntos situados á la misma distancia de las orillas. Tyndall reconoció que el lado del glaciar que estaba animado de más rápido movimiento era siempre el que tenía su concavidad vuelta hacia el eje; así también el sitio de los puntos de mayor velocidad está siempre fuera del eje

con relación á su convexidad. Por ejemplo, en la parte del Mar de Hielo que está enfrente de Montanvert (fig. 116), el glaciar presenta su convexidad al Este; pues bien, comparando las velocidades de dislocación de los postes plantados en su superficie en dirección de las alineaciones AA', BB', CC', Tyndall vió que aquéllas eran mayores en el lado de la orilla occidental; enfrente de los Puentes, la sinuosidad del glaciar está en sentido contrario, y los postes de la orilla occidental D' fueron los que más cambiaron de lugar; por último, enfrente de Trelaporte, un nuevo cambio de curvatura ha trasladado la mayor velocidad á la orilla oriental E, de donde la ley siguiente, formulada por

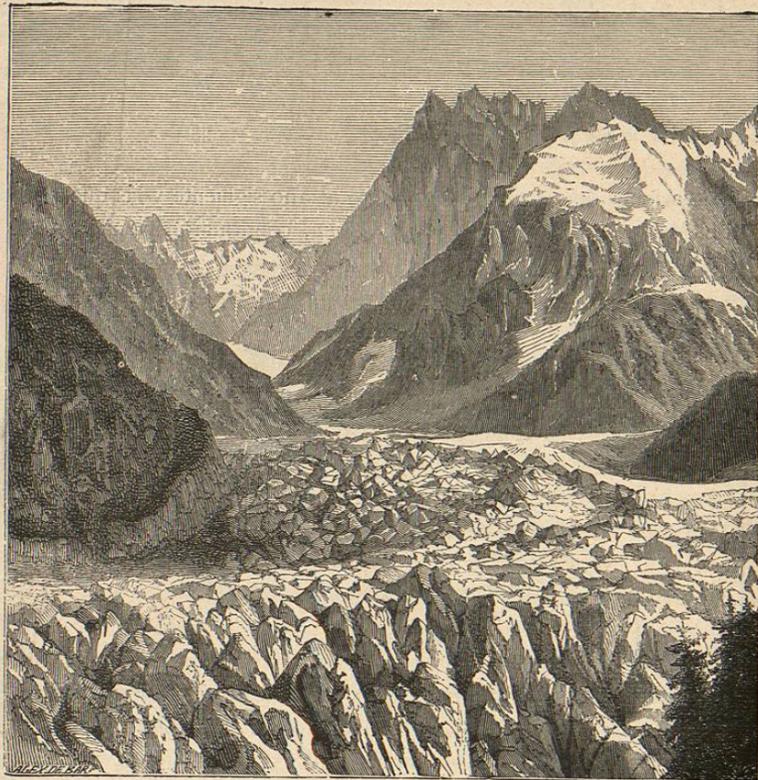


Fig. 117.—El Mar de Hielo

el sabio físico: "Cuando un glaciar recorre un valle sinuoso, el sitio de los puntos de mayor velocidad no coincide con el eje del glaciar, sino que, por el contrario, se encuentra siempre hacia el lado de la convexidad de la línea central. Este sitio es, pues, una línea curva (*a' a' a'*) de sinuosidades más profundas que las del valle, y que corta el eje del glaciar á cada cambio de curvatura."

Así pues, el río de hielo, como todos los demás ríos, presenta más fuerza en su corriente hacia aquella de sus orillas que ofrece menos resistencia al movimiento de su masa, es decir, hacia el lado convexo de cada una de sus sinuosidades. Para acabar de demostrar la perfecta analogía de los dos movimientos, faltaba hacer ver que la velocidad de las moléculas de la superficie es mayor que la de las moléculas del fondo. En agosto de 1866, Dolfus Ausset y C. Martins plantaron dos jalones en una escarpadura vertical del glaciar del Aar, el uno á un metro de la superficie y el otro 8<sup>m</sup>,20 más bajo. Diez y ocho días después se encontró el jalón inferior 200 milímetros detrás del

superior, prueba evidente de la marcha acelerada de la masa, del fondo á la superficie. Tyndall confirmó veintiún años después esta primera observación. Habiendo podido llegar no sin peligro á una pared de hielo de 46 metros de espesor, en el punto en que el glaciar del Gigante recibe como afluente el del Lechaud, plantó tres postes, uno en la cúspide del precipicio de hielo, el segundo á 11 metros del fondo y el tercero á 1<sup>m</sup>,20. Sus velocidades en 24 horas fueron las siguientes:

Poste superior. . . . .	152 milímetros
— medio. . . . .	114 —
— inferior. . . . .	68 —

Estas medidas demuestran la disminución de la marcha, dimanada del roce de las capas inferiores contra el fondo en que descansa la masa de hielo. Aquí se ve que dichas masas tienen una velocidad apenas igual á la mitad de la velocidad de la superficie.

Como se ve, el movimiento de progresión ó avance de los glaciares es enteramente semejante á la marcha del agua en los ríos. Antes de decir cómo se le ha explicado, indiquemos con algunas cifras la velocidad de dicho movimiento, que se efectúa con tal lentitud, que únicamente con los instrumentos de precisión de los geodestas se le puede comprobar acto continuo, y que por otra parte es tan irresistible que no hay obstáculo que le contenga.

Si consideramos los tres primeros años de observaciones de Hugi, vemos que el glaciar del Unteraar marchaba con una rapidez media de 33 metros por año; los seis primeros dieron 80 metros, y tomando el conjunto de las observaciones de 1827 á 1841, resulta un promedio de 102 metros. Agassiz y Desor han calculado esta progresión en 71 metros anuales. Es muy difícil determinar la rapidez de descenso de un glaciar, no tan sólo porque varía con el año y con la estación, sino también porque no es la misma en los diferentes puntos de su curso. De las medidas tomadas por varios observadores en muchos glaciares á distintas alturas, parece resultar que la velocidad es mucho mayor en la parte superior que en el extremo inferior; en el Unteraar, la progresión anual varía de 39 á 75 metros. Los dos afluentes superiores del mismo glaciar, el Finsteraar y el Lauteraar, han dado números que varían, en cuanto al primero, entre 48 y 81 metros, y en cuanto al segundo, entre 31 y 74. M. Grad ha hecho una serie de observaciones en el glaciar de Aletsch, las cuales prueban que la velocidad va disminuyendo á medida que la masa se aproxima al frente del glaciar. A 15 kilómetros del extremo inferior, es decir, casi á la mitad de su curso, aquélla era de 404 milímetros en 24 horas; 7 kilómetros más abajo no pasaba ya de 294, y á 2 kilómetros del extremo inferior quedaba reducida á 240. Con todo, Tyndall ha obtenido resultados contrarios en el Mar de Hielo. Véanse en prueba de ello las velocidades deducidas con respecto á los puntos de la línea media, es decir, las velocidades máxima á diferentes alturas:

En Trelaporte. . . . .	508 mil. diarios
En los Puentes. . . . .	584 — —
Encima de Montanvert. . . . .	660 — —
En Montanvert. . . . .	864 — —
Debajo de Montanvert. . . . .	838 — —

¿Cuál es la razón de estas diferencias en la progresión de las masas de hielo del Unteraar y del Aletsch, comparada con la del Mar de Hielo cerca de Chamounix? ¿Consiste en las variaciones de inclinación? No es probable, porque Desor ha compro-

bado que el Glumberg, glaciar tributario del Aar y cuya pendiente varía de 30° á 50°, sólo tiene un movimiento anual de 22 metros, mientras que el glaciar principal, con una inclinación de 4° solamente, avanza 71 metros por año. El Mar de Hielo tiene de 5° á 6° de inclinación, y aun cuando ésta sea mayor en su extremo inferior, la diferencia no basta para explicar la aceleración. Según M. Grad, el movimiento de progresión crece en razón del espesor del glaciar, del fondo á la superficie. Este espesor varía á su vez según la forma de las paredes del valle, y crece naturalmente cuando éstas se juntan y la masa de hielo, en lugar de extenderse en anchura, tiene forzosamente que ganar en altura el espacio que encuentra á faltar en el otro sentido.

El movimiento de progresión de los glaciares varía asimismo según las estaciones, siendo más rápido en verano que en invierno, en proporción bastante considerable. Grad dice que, en el glaciar de Aar y entre la primavera y el principio del verano, la proporción entre los movimientos mínimo y máximo es como 100 es á 283; en el glaciar de los Bosques (parte inferior del Mar de Hielo), de diciembre á julio, es de 100 á 456.

Estas variaciones en la velocidad de progresión de los glaciares, ya en la sucesión de los años ó ya de una estación á otra, así como las que hemos consignado en la velocidad á diferentes alturas, hacen muy difícil la valuación del promedio anual. Sin embargo, se calcula que el hielo de la garganta del Gigante necesita de 120 á 140 años para franquear el espacio que lo separa, á su salida de los campos de nevado, de la fuente del Arveirón ó del extremo inferior del Mar de Hielo. A razón de 71 metros por año, el glaciar del Unteraar invierte 342 años en bajar los 24 kilómetros que tiene de longitud. No hay nada que sorprenda tanto al que visita por primera vez un glaciar, como el contraste de esta inmovilidad aparente de la masa enorme y sólida que pisa, con la certidumbre de su irresistible movimiento, cuyos testimonios puede apreciar. Esta masa descende, rompiendo y derribando á su paso todos los obstáculos.

„Cuando, á consecuencia de una serie de años húmedos, acompañados de grandes nevadas en las alturas, dice Helmholtz, avanza la parte inferior del glaciar, arrasa las moradas de los hombres, desarraiga á su paso los árboles más corpulentos, y aun disloca, sin que al parecer experimente resistencia sensible, las murallas formadas por inmensos peñascos que constituyen su canchal extremo y que forman series de colinas considerables.“

### III

#### GRIETAS DE LOS GLACIARES

Ocupémonos ahora de ciertas particularidades curiosas que dejamos ligeramente apuntadas, y veamos cómo está ligada su existencia con el modo de formación de los glaciares ó con sus movimientos de progresión.

Hablemos ante todo de las grietas.

Estas aberturas, que dejan columbrar en sus profundidades los pálidos fulgores de la luz del día tamizada por el hielo, fulgores azules de pureza admirable, constituyen para el explorador de los glaciares el principal obstáculo con que en sus investigaciones tropieza; si no toma todas las precauciones que exige la prudencia, expone su vida al arriesgarse á atravesar esos abismos. El peligro es mucho mayor cuando la nieve ha cubierto la superficie entera del glaciar y un puente de tenue espesor oculta las grietas;

entonces la nieve cede bajo la planta del viajero que se aventura por ella, sin sondarla, por decirlo así, á cada paso.

Hay grietas de todas dimensiones, tanto en longitud cuanto en anchura. Las más de ellas se ven en los bordes inclinados de los glaciares; éstas son las grietas *marginales* que por lo común tienen una inclinación de unos 45° en dirección de abajo arriba, pero que á veces se cruzan de un modo bastante confuso. Otras grietas atraviesan toda la superficie del glaciar de una orilla á otra, y por último, otras lo surcan en el sentido de la longitud. Las denominaciones de grietas *transversales* y *longitudinales* se explican por sí mismas, lo propio que la de grietas *frontales* que cortan el hielo en el extremo inferior del glaciar.

Estos abismos tienen origen de un modo muy sencillo y generalmente empiezan por una hendidura apenas perceptible. He aquí cómo Tyndall, infatigable explorador de los glaciares, explica el fenómeno:

„Nos disponíamos á regresar, después de pasar un día penoso en el glaciar del Gigante, cuando resonó á nuestros pies una explosión que pareció salir de la masa misma del glaciar. Miramos en torno nuestro con cierta sorpresa; el ruido se repitió, seguido de muchas explosiones rápidas, las cuales tan pronto estallaban á nuestra derecha como á nuestra izquierda, no pareciendo sino que todo el glaciar se rompía en derredor de nosotros: pero mientras tanto no veíamos nada.

„Entonces examinamos cuidadosamente el hielo, y después de una hora de pesquisas, dimos con la causa de aquellos ruidos. Anunciaban la formación de una grieta. En un charco que había en el glaciar vimos subir burbujas de aire, y observamos que en el fondo de aquel charco había una pequeña hendidura que daba paso á las burbujas, y cuya dirección pudimos seguir á derecha é izquierda hasta gran distancia. A veces la nueva grieta es casi imperceptible, y en ninguna parte lo suficientemente ancha para dar paso á la hoja de un cuchillo.

„Se hace difícil creer que las formidables grietas entre las cuales hemos pasado tantas veces con temeroso recelo tengan tan humilde origen, y sin embargo es muy cierto. Los abismos que se encuentran en las cataratas de hielo del Gigante y del Talefre, y aun más arriba, no fueron en un principio más que pequeñas rajadas que se han ensanchado poco á poco hasta formar enormes grietas. Por un ejemplo instructivo y sorprendente á la vez, sabemos también que ciertas apariencias que indican probablemente una acción muy violenta, pueden en realidad ser resultado de acciones tan lentas que no sea posible reconocerlas sino efectuando delicadísimas observaciones.“

W. Hopkins ha resuelto con toda claridad la cuestión de saber qué influencia produce esas hendiduras, y cuál es la causa física ó mecánica de las grietas, demostrando que son consecuencia del movimiento de progresión de los glaciares y de la tensión que en diferentes puntos de la masa resulta de la desigual rapidez de sus diferentes partes.

Hemos dicho antes que las orillas del glaciar, en razón de la resistencia de las paredes del valle, se mueven con más lentitud que las partes centrales: de aquí resulta

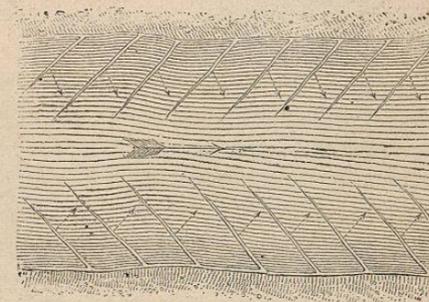


Fig. 118.—Formación de las grietas marginales