

lo mismo por efecto de la penetración y de la salida de los rayos del Sol, y de las dilataciones y contracciones que son su consecuencia. Calculando la cantidad de calor capaz de producir por su transformación la cantidad de trabajo que se necesita para el movimiento de un glaciar, tal como se observa por ejemplo en el Mar de Hielo, Moseley deduce 0,0635 unidad de calor por cada pulgada cuadrada de la superficie y por día. Equivale á 61,25 unidades de trabajo, valor efectivo de la dislocación á la altura de los Puentes. "Todo glaciar, dice, recibe probablemente una cantidad de calor mucho mayor en días semejantes á aquellos en que se han observado los movimientos que sirven de base para estos cálculos."

En resumen, se ha procurado explicar el movimiento de progresión de un glaciar, haciendo intervenir varias fuerzas, ya sea la gravedad sola aplicada á la masa entera, teoría hoy desechada, ya agregando á la gravedad diferentes fuerzas moleculares: la dilatación procedente de la congelación del agua de filtración ha inspirado la teoría discurrida por Charpentier, admitida y desechada después por Agassiz y que un sabio alaciano, M. Carlos Grad, sostiene aún después de modificarla: la dilatación debida á la acción del calor, que acabamos de resumir en pocas líneas; la viscosidad ó la plasticidad, explicada por el fenómeno de la regelación y de la sobrefusión, cuyos mantenedores son Rendu, Forbes y Tyndall.

Es probable que todas estas causas intervengan en el fenómeno; pero no es posible decir hasta qué punto, dado el estado actual de la ciencia.

V

DISTRIBUCIÓN DE LOS GLACIARES. — LOS GLACIARES POLARES

La existencia, ó si se quiere, la formación de un glaciar en una región montañosa, está subordinada á una serie de condiciones, orográficas las unas, meteorológicas las otras, que según hasta el punto en que se encuentran reunidas, hacen que los glaciares sean numerosos y dilatados, raros y poco extensos, ó que no haya uno solo en la región considerada.

Para que se pueda formar un glaciar en una mole montañosa, la altitud de las cumbres de la cordillera debe ser tal que la temperatura del aire sea en ella todo el año inferior á la del hielo fundente. Esta altitud varía con la latitud ó la posición geográfica de la región, conforme hemos dicho ya al hablar del límite de las nieves perpetuas. Este límite, que es de 4 á 5 kilómetros en el ecuador, llega al nivel del mar en las regiones inmediatas á los polos. Requiere además que en las alturas en que caen las nieves haya espacios bastante dilatados, poco escarpados, en una palabra, circos de bastante extensión para que las nieves se acumulen en ellas y formen los campos de nevado que son los verdaderos orígenes de los ríos de hielo. Si la inclinación de los picos es mucha, las nieves se van desmoronando á medida que se forman, y resulta la caída sucesiva de aludes, pocos glaciares ó ninguno, ó simplemente lo que se llama, según hemos dicho antes, glaciares de las cumbres.

Esto en cuanto á las condiciones orográficas favorables para la formación de aquéllos. Pero las meteorológicas son mucho más importantes. Las nieves que caen durante el año, sobre todo en invierno, deben ser bastante abundantes para que las pérdidas procedentes de la evaporación y de la fusión dejen un excedente de nieve en los circos en que se forma el nevado. Este excedente anual es el que alimenta el glaciar ó com-

pensa las pérdidas ocasionadas por la ablación. Tyndall se hace cargo de esta condición en su descripción de los fenómenos que ocurren en el Mar de Hielo, diciendo: "Podemos deducir con certeza que en la meseta de la garganta del Gigante, *cae todos los años más nieve de la que se derrite.*"

La abundancia de las nevadas está sujeta al régimen de los vientos dominantes que soplan en la comarca, y á su dirección de la cual depende el grado de humedad que en sí llevan. Hemos visto anteriormente que el límite de las nieves persistentes está más elevado en la vertiente Norte del Himalaya que en las meridionales, lo cual consiste en que éstas reciben enormes cantidades de vapor de agua que se condensan en nieve, gracias á los vientos que, soplando del mar de Bengala, llevan á los flancos escarpados del mediodía de la cordillera masas de aire húmedo, cada vez más enfriado á causa de su ascensión. Así es que los glaciares son más en número y mayores en esta última



Fig. 121.—Campo de hielo en el polo

vertiente que en la otra. La masa de los Alpes reúne todas las condiciones que acabamos de enumerar, por lo cual contiene más de mil campos de hielo, de ellos lo menos un centenar de glaciares principales. Según Schlagintweit, su superficie total ocupa más de 3.000 kilómetros cuadrados, y solamente los del Monte Blanco comprenden catorce mil millones de metros cúbicos de hielo, según resulta de los cálculos de Huber. Las condiciones de los Pirineos no son tan favorables y sus glaciares relativamente escasos. Los Cárpatos no los tienen, al paso que las montañas del Cáucaso son ricas en campos de hielo. "Sin embargo, dice Eliseo Reclus, de quien tomamos estos datos sobre la distribución de los glaciares, los del Cáucaso no pueden compararse con los de los Alpes en cuanto á extensión ni á belleza, lo cual consiste sin duda en la escasa cantidad de lluvias y nieves que cae en esta parte del antiguo continente, y de los fuertes calores estivales que allí se sienten."

En la zona tropical los glaciares son relativamente escasos y pequeños, y únicamente á partir de los 35° de latitud Sur empieza á cubrirse de campos de hielo la inmensa cordillera de los Andes, desprovista de ellos en una longitud de 5.000 kilómetros, desde Venezuela hasta el centro de Chile. Es muy probable que, á causa de la radiación solar y de la sequía que reina en las altas regiones de dicha cordillera, la evaporación compense las nevadas anuales, sin dejar excedente capaz de alimentar glaciares. Sábese también que la abundancia de las nevadas no está en relación con la

altitud; en los Alpes nieve muy poco más arriba de los 3.500 metros, observándose el máximo á los 2.500.

En la época actual, las tierras inmediatas á los polos son el verdadero dominio de los glaciares. El Spitzberg, Nueva Zembla, Groenlandia é Islandia en el hemisferio Norte están cubiertas de campos de hielo (1), casi todos los cuales desembocan en el mar, presentando en su frente moles enormes, las cuales, arrastradas por las corrientes, forman los hielos flotantes y sepultan en las aguas, juntamente con sus pocos canchales, todos los escombros acumulados en su superficie durante sus largos trayectos.

Aparte de sus dimensiones, que son gigantescas, los glaciares polares presentan las mismas particularidades que los de las zonas templadas: campos de nevazo, grietas y molinos, movimiento de progresión, etc.

Los glaciares del Spitzberg, de la Nueva Zembla y de Groenlandia son notables por sus profundas grietas, tan peligrosas para el viajero que se aventura á explorar la superficie antes que empiece la fusión de las nieves del invierno. Entonces, lo propio que en los glaciares de los Alpes, aunque en escala mucho mayor, frágiles puentes de nieve ocultan los abismos, y esto "tan completamente, dice Nordenskiöld, que el viajero puede acercarse á ellos sin sospechar que un paso más le ocasionaría una caída mortal.,, Cuando se derriten las nieves, quedan á descubierto las grietas antes ocultas por los puentes, viéndose sus paredes, cuyo color y azulados reflejos se van desvaneciendo hasta disiparse en una profundidad insondable. Fórmanse depresiones y canalizos en la superficie del glaciar recorrida por mil riachuelos torrenciales, á las veces tan anchos como verdaderos ríos. Las aguas de estos torrentes van á parar á unos lagos, y en seguida se pierden por salidas subterráneas bajo bóvedas de hielo de miles de pies de espesor.

Sus lechos terminan en la orilla del mar, en el fondo de los fiordos, y su frente penetra con frecuencia en el agua sobresaliendo de su nivel á gran altura. En el verano la temperatura del agua del mar es algo superior á cero; por consiguiente derrite el hielo y mina el glaciar por su base, hasta que la congelada y enorme masa, falta de sostén, se derrumba, desprendiéndose de ella esos inmensos fragmentos que son luego los hielos flotantes de los mares polares.

Los canchales de estos glaciares son poco importantes y nada aparentes, lo cual consiste en que como las montañas de aquellas regiones son poco altas, permanecen envueltas entre masas de nieve y hielo; únicamente sobresalen sus crestas, y una insignificante cantidad de piedras forman los canchales laterales ó centrales. Allí no se conocen los terminales, ó por lo menos únicamente se los podría encontrar en el fondo de los fiordos, por cuanto el frente del glaciar va á parar al mar. "El extremo inferior de estas corrientes de hielo, dice Nordenskiöld, presenta tres formas diferentes. A veces

(1) He aquí lo que dice acerca de los glaciares de Groenlandia el eminente geólogo M. Hebert: "En una anchura de 1.300 kilómetros de Este á Oeste y una longitud mucho mayor de Norte á Sur, ese vasto continente está sepultado bajo una masa continua y colosal de hielo permanente, por entre la cual asoman á trechos algunos picos escarpados. Esta masa avanza hacia el mar con movimiento regular, llevando en su superficie ó en su seno fragmentos de rocas desprendidas de las montañas cuyos flancos roza al pasar. Cuando llega al mar, penetra en él sin romperse, rayando el fondo que alisa ó llena de surcos á mayores ó menores profundidades y del cual debe arrancar también masas arcillosas ó arenosas aglutinándolas por la congelación. Como el hielo es más ligero que el agua, cuando se ha sumergido lo bastante para flotar, despréndese de él verdaderas montañas, que van á merced de la corriente por el mar de Baffin y avanzan poco á poco hacia el Sur, disminuyendo de volumen por efecto de la fusión y soltando á su paso el cieno, las piedras y las rocas que llevan consigo.,"

forma el glaciar una cascada de *seracs*, y entonces, resbalando con bastante rapidez su masa dislocada y deshecha, se abre un surco estrecho, de paredes escarpadas, en el que los témpanos se empujan unos á otros con formidable estruendo, y por el que pasan centenares y millares de verdaderos *icebergs* de dimensiones gigantescas; otras veces el glaciar parece una anchurosa llanura de hielo que, caminando lentamente, termina en la orilla del Océano en una escarpadura regular, de la cual se desprenden de tiempo en tiempo grandes pedazos de hielo (*isblock*), pero nunca verdaderos *icebergs* en el sentido propio de la palabra. Por último, en tercer lugar, hay glaciares de reducida dimensión, cuya marcha es tan lenta, que la fusión de los hielos del borde sobreviene casi tan rápidamente como el movimiento de progresión de la masa entera; en este caso, en lugar de terminar en la playa en una pendiente escueta, presentan un declive de hielo, lleno de arena, piedras y arcilla.,

En la época geológica actual no existen en realidad más que dos zonas glaciares en la superficie del globo terráqueo, á saber, los dos casquetes comprendidos entre los polos y los dos círculos polares, ártico y antártico. Los sistemas glaciares de los Alpes, del Cáucaso, del Himalaya, etc., no son más que islotes, á lo sumo archipiélagos, reliquias, si así podemos expresarnos, de los continentes de hielo que en otro tiempo cubrieron una buena parte de los actuales. Con respecto á este punto, hemos dado ya en el primer tomo de esta obra algunos detalles á los cuales remitimos al lector. Pero aquí insistiremos en cuanto á los testimonios que han servido para reconstruir un estado de cosas tan diferente del que caracteriza á nuestra época, limitándonos por supuesto á la parte física ó meteorológica del asunto.

VI

VESTIGIOS DE LOS GLACIARES ANTIGUOS: ROCAS ESTRIADAS Y BRUÑIDAS: CANCHALES Y CANTOS ERRÁTICOS. AVANCE Y RETROCESO DE LOS GLACIARES

Estudiando los movimientos de los glaciares y sus efectos se han recogido poco á poco los testimonios á que hemos aludido. Se ha dicho antes que el espesor de la masa movable, lo que se llama la *potencia* de un glaciar, es considerable con frecuencia y puede contarse por centenares de metros; calculase en 400 el promedio del espesor del glaciar del Aar. Por consiguiente, la presión que semejante masa ejerce sobre el fondo peñascoso que lo soporta es enorme; el frotamiento continuo del hielo contra la roca, repetido siglos y siglos, la desgasta, nivela y alisa, en términos que, como dice C. Martins, "la tersura y bruñido de estas rocas son á menudo tan perfectos como los de los mármoles que adornan nuestros edificios.,, Pero como entre la superficie inferior del glaciar y las rocas del fondo se interpone una capa de agua mezclada con guijarros y con arena más ó menos fina, cuyos fragmentos los alisan tan bien como pudieran hacerlo los mejores polvos de esmeril, resulta que estas rocas están además surcadas de estrías rectilíneas en la dirección del movimiento ó del eje del glaciar. Es fácil cerciorarse de ello penetrando bajo las arcadas de hielo en que éste termina ó en las cavernas que á veces hay en sus bordes. Aparte de esto, las rocas laterales que encajonan el lecho del glaciar están sometidas á una acción mecánica análoga y asimismo estriadas y bruñidas. Las estrías abiertas de este modo en las paredes son entonces casi horizontales, es decir, paralelas á la superficie del hielo; sin embargo, á veces se aproximan á la vertical, observándose esta desviación precisamente en los puntos en que el

lecho se estrecha y en que la masa del glaciar, para atravesar esos pasos que se oponen á su movimiento, tiene á su vez que enderezarse, por decirlo así, de suerte que en definitiva las estriás son paralelas á la dirección del movimiento.

Las rocas bruñidas y estriadas por la acción mecánica de los glaciares en marcha son aquellas que tienen bastante dureza y resistencia para que no las triture la enorme presión que soportan; las otras, reducidas á tenues fragmentos, suelen mezclarse con las aguas enlodándolas, y por esto son por lo común fangosas las aguas de los torrentes alimentados por los glaciares. Las rocas están constantemente bruñidas ó alisadas por las caras que dan al extremo superior de la masa de hielo; pues las que miran al inferior conservan sus asperezas y su forma escarpada. Los grupos de rocas así redondeadas de los antiguos glaciares presentan, vistos desde lejos, el aspecto de un rebaño de ovejas, por cuya razón se les ha dado el nombre de *rocas aborregadas* que es con el que se las conoce en la ciencia.

Tenemos pues un primer carácter merced al cual se puede conocer que un valle, hoy despejado, estuvo en otro tiempo invadido por un glaciar. En este caso, las rocas laterales del antiguo lecho, así como las que formaban el fondo, están bruñidas y estriadas, y la dirección común de las estriás indica la en que se movía el antiguo río de hielo. La existencia de rocas aborregadas ofrece un testimonio análogo de su acción, y siguiendo las huellas características de esta acción mecánica en los valles de los glaciares actuales, se puede calcular su primitiva extensión. La potencia del glaciar era en lo antiguo incomparablemente mayor que hoy, y por consiguiente su longitud lo era también, dado que las tres dimensiones de un glaciar están en íntima y necesaria dependencia entre sí.

Hay otro carácter no menos auténtico, ya sea de la antigua existencia de un glaciar en una región que hoy no tiene ninguno, ó ya de la mayor extensión que en otro tiempo ocupaba alguno de los actuales. Este carácter consiste en los *cantos erráticos*. Dase este nombre á las rocas que han formado parte de los canchales laterales, medios ó terminales y que acarreadas por el río de hielo, en su lenta é irresistible marcha, lejos del punto en que habían caído en su superficie, se han quedado aisladas en algún punto, cuando por circunstancias meteorológicas especiales ha desaparecido el hielo que las sustentaba. Nos valdremos de un ejemplo para demostrar que no es posible confundir las piedras de los canchales antiguos con las rocas contiguas, tomándolo del interesante y erudito estudio que C. Martins ha consagrado á las diferentes extensiones ocupadas primitivamente por el Mar de Hielo. El canchal terminal del glaciar ocupaba en la más reciente de estas extensiones el punto en que está situada actualmente la aldea de Chamounix, construída en parte con los cantos erráticos de que este canchal estaba formado.

“¿Dónde está, se dirá, la prueba de que los cantos erráticos del canchal de Chamounix han sido depositados en él por el Mar de Hielo? ¿No sería más natural suponer que han bajado del Brevent, cuyos continuos derrumbamientos son una amenaza constante para la aldea y forman el gran delta inclinado cuyo ángulo oriental lo ocupa aquélla? La respuesta es muy obvia. El Brevent es una montaña de gneis, y la casi totalidad de los pedruscos del canchal son de protogina, especie de granito característico que constituye la masa del Monte Blanco y la de las crestas circunvecinas.”

Hay otra cosa que distingue los cantos erráticos depositados por los antiguos glaciares de las rocas que las aguas pudieron acarrear lejos de su punto de origen, y que los diferencia también de las piedras que han estado sujetas á la acción de los glacia-

res; y es que han conservado las formas escabrosas, los ángulos agudos y las cortantes aristas que tenían en la remota época en que se desprendieron de las cumbres que descuellan sobre los campos de nevazo.

Dejando ya á un lado la cuestión de la antigua extensión de los glaciares, tan interesante para la historia de la Tierra, terminaremos este capítulo diciendo algo de lo que se sabe acerca de sus actuales mudanzas. Estudiando los fenómenos contemporáneos é indagando sus causas, es como las más de las veces ha conseguido la ciencia descubrir las causas probables de los fenómenos anteriores, por largo que haya sido el tiempo transcurrido desde que éstos acaecieron.

Cuantos observadores han estudiado en el siglo presente los glaciares de los Alpes están conformes en reconocer que sus dimensiones se hallan sujetas á cambios alternativos; que tan pronto avanzan por el valle en que termina su extremo inferior, como por el contrario retroceden abandonando su canchal frontal. Al parecer, estos fenómenos de avance y retroceso sobrevienen simultáneamente en el mismo sentido en todos los glaciares de una misma región; mas con frecuencia, á un período de progresión que dura muchos años sucede otro período opuesto ó de retroceso de no menor duración. “En los diez años que exploró los Alpes, decía M. Grad en 1874, casi todos los glaciares están en decrecimiento, lo mismo en Suiza que en el Tirol y que en la parte de Italia. En 1868 encontré el glaciar de Rosenlauri media legua más atrás de su último canchal frontal (1); hacia la misma época, el glaciar inferior del Grindelwald se había retirado 575 metros en línea recta desde 1855, y el superior 398. El glaciar de Viesch había sufrido en 1869 una reducción de 600 metros; el del Ródano de 150, y el de Gorner, al pie del monte Rosa, de unos 60. En el valle de Chamounix, el glaciar de los Bosques ha retrocedido 698 metros en el intervalo transcurrido entre junio de 1851 y el fin del verano de 1871, y el de los Bossons retrocedió también 596 metros en el mismo espacio de tiempo. Asimismo he notado reducciones no menos considerables durante los tres últimos años en los glaciares de la vertiente italiana y en el Tirol.”

En cambio, en el mismo período se había observado el avance de muchos glaciares de la propia región. Así sucedió con el del Aar, cuya progresión la calculaba Agassiz en 1845 en 800 metros, comparando su situación con la que le asignaba un plano trazado en 1740. El glaciar de Aletsch se ensanchó en 1848 hasta el punto de arrancar de raíz y destrozar pinos seculares en muchos kilómetros de longitud, y de derruir viviendas muy antiguas.

Estos movimientos de avance y retroceso ocurren casi siempre con gran lentitud. Sin embargo, hácese mención de un glaciar del Tirol que avanzó en doce días 120

(1) “En una de nuestras últimas excursiones á los Alpes berneses, nos llamó la atención el cambio de aspecto ocurrido en Rosenlauri, en el valle angosto y poblado de árboles de Reichenbach que, por el puerto del gran Scheideck, va de Meringen al Grindelwald. El pequeño glaciar que baja hasta allí desde los flancos del Wetterhorn y que parece ser de origen muy reciente, estaba en su marcha de avance cuando Agassiz y Desor lo visitaron hace cuarenta años. En 1850 nos presentó un espectáculo encantador: semejante á una erguida y tajada peña de cristal, avanzaba por entre verde arboleda, matorrales, helechos y flores alpinas hasta muy cerca del puentecillo situado junto á la antigua posada en que los viajeros suelen albergarse; llegábase allí sin dificultad, y penetrando bajo una bóveda azulada y transparente que daba paso á un torrente impetuoso, se le podía recorrer á bastante profundidad. Pero cuando veinte años después volvimos al mismo sitio, toda la parte inferior del glaciar de Rosenlauri había desaparecido, dejando en su lugar un largo montón de fragmentos de rocas y otros escombros informes; para llegar hasta aquel punto era preciso subir á gran altura por la vertiente de la montaña, y su aspecto, visto desde allí, no ofrecía nada que recordara su primitiva belleza.” (Grad: *Estudios sobre las variaciones periódicas de los glaciares de Suiza.*)