

LAS VARIACIONES PERIÓDICAS
DE LOS
VENTISQUEROS

POR
F. A. FOREL

TRADUCIDO DE LA «REVUE SCIENTIFIQUE», PARIS 5 DE OCTUBRE DE 1895
PARA LA «REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA»

LAS

VARIACIONES PERIÓDICAS DE LOS VENTISQUEROS

POR

F. A. FOREL (1)

Traducido de la «Revue Scientifique»; Paris 5 de Octubre de 1895,
para la «Revista del Museo de La Plata».

Por iniciativa del señor capitán Marshall Hall, miembro de la Sociedad Geográfica en Parkstone, Dorset (Inglaterra), el sexto Congreso Internacional de Geología, reunido en Zurich en Agosto de 1894, ha decidido la creación de una Comisión encargada de estudiar las variaciones del tamaño de los actuales ventisqueros en los diversos países de nuestro globo.

(1) El señor Forel, autor de este interesante artículo, al terminarlo, invoca simpatía para los trabajos de la *Comisión Internacional de los Ventisqueros*, y solicita la colaboración de todos los trabajadores, físicos, naturalistas, alpinistas, ó exploradores de regiones polares, así como el apoyo de las academias y de los gobiernos, y confía en que este concurso no le faltará.

La iniciativa del señor Marshall-Hall ha encontrado eco en este Museo. Desde el primer momento de conocida, hemos procurado reunir todos los antecedentes sobre la cuestión glacial en este extremo de la América, donde tan grandes manifestaciones ha dejado de su paso el hielo y donde los gigantes ventisqueros y neveras de todos los tipos se cuentan por centenares. La acción glacial se ha hecho sentir en toda la extensión del territorio argentino desde el grado 23 hasta el 56, y las facilidades para el estudio de esa acción son grandes por su misma magnitud; además, este estudio tan importante, está ligado, ó íntimamente, con el de una de las cuestiones geográficas más interesantes de estas regiones: el *divortia aquarum* continental, producido en buena extensión por esa misma acción. La traducción del artículo del señor Forel, tiene pues su colocación justificada en esta Revista, y el personal técnico del Museo de La Plata va á ser un colaborador entusiasta de la *Comisión Internacional de los Ventisqueros*, cuyo programa de trabajo publicamos.—F. P. M.

Esta Comision quedó compuesta de los señores F. A. Forel, profesor en Morges (Suiza), presidente; Leon Du Pasquier, profesor en Neuchâtel (Suiza), secretario; Seb. Finsterwalder, profesor en Munich (Alemania); Ed. Richter, profesor en Graz (Austria); K. J. V. Steenstrup, geólogo en Copenhague, (Dinamarca); H. F. Reid, profesor en Baltimore (Estados Unidos y colonias); príncipe Orlando Bonaparte, Paris (Francia); capitán Marshall Hall, en Parkstone (Inglaterra y colonias); Toreuato Taramelli, profesor en Pavía (Italia); A. Oyen, geólogo en Christiania (Noruega); Ivan Mouchketow, geólogo en San Petersburgo (Rusia) y U. Svenonius, geólogo en Stokolmo (Suecia).

La *Comision Internacional de los Ventisqueros* ha precisado el campo de su actividad, formulando los principios siguientes:

a) Cada miembro de la Comision es competente para organizar como mejor le parezca y del modo más útil, los estudios históricos y las observaciones actuales y futuras sobre los ventisqueros en la region que representa y para publicar los informes originales y detallados en una Revista de su país.

b) La Comision Internacional es el órgano de recepcion y de publicacion de los informes sumarios mandados por sus diferentes miembros, sobre las variaciones del tamaño de los ventisqueros en los diversos países alpinos del globo. Un informe general será publicado anualmente en los Archivos de Ciencias Físicas y Naturales de Ginebra, por la mesa de la Comision.

Para servir de introduccion á esos informes, el presidente de la Comision se propone exponer los hechos principales constatados en los Alpes centrales de Europa, que contienen los ventisqueros mejor observados durante el siglo actual.

Antes de todo, veamos, ¿cuál es el fenómeno que tenemos que estudiar?

Es una de las apariciones más interesantes y más grandiosas que nos ofrece el mundo de los Alpes. Los ventisqueros varían de volúmen. Durante cinco años, diez, veinte ó más, vemos sin causa aparente, que un ventisquero aumenta de largo, sobrepasa sus límites, rechaza sus morainas, algunas veces seculares, invade los pastoreos, echa abajo bosques enteros y destruye habitaciones. Parece que este crecimiento irresistible, que domina cualquier obstáculo, va á reproducir en un vallo una nueva época glacial. Pero tambien, sin causa aparente, vemos el ventisquero detenerse en esa extraña expansion, despues disminuir, retroceder, achicarse, y eso durante diez, veinte, treinta y más años, de tal modo, que habiéndose

olvidado el engrandecimiento anterior, se puede creer que el ventisquero va á desaparecer en esa fusion progresiva. Y otra vez, despues de cierto número de años ó de lustros, ese deshielo se detiene y el ventisquero vuelve á alargarse. Variacion periódica del largo de los ventisqueros: ese es el fenómeno aparente (1).

Esta variacion en el largo, coincide con una variacion en el mismo sentido de las otras dimensiones de la masa de hielo, al mismo tiempo que el ventisquero se alarga, se vuelve mas grueso y se enancha. Es, pues, una variacion de volumen y no solamente de forma. Para simplificar, la designaremos por «variacion de tamaño».

Esa variacion periódica es irregular tanto en cuanto al tiempo como al espacio. La *maxima* sucesiva es diversamente escalonada; en sus crecientes sucesivas el ventisquero baja más ó menos lejos en el valle; la creciente á veces es rápida, á veces lenta; á menudo un ventisquero queda durante muchos años inmóvil y estacionario. La variacion de tamaño á veces es general y se extiende á la totalidad de los ventisqueros de una region, á veces es parcial y no se hace sentir sino en algunos ventisqueros. No es necesariamente simultánea para todos los ventisqueros; á veces la creciente es bien marcada para algunos, mientras otros quedan estacionarios ó disminuyendo. Otras veces todos los ventisqueros de un valle, de un grupo ó de una cadena de montañas varian simultáneamente: todos crecen ó invaden los valles, ó todos disminuyen y se achican.

¿En medio de tantas irregularidades, no habrá una ley, ó varias leyes tal vez, cuyo encadenamiento cause el desórden aparente de los hechos? Tratemos de destacarlas contemplando, no ejemplos individuales, sino el cuadro del conjunto de las variaciones glaciales en los Alpes suizos durante el siglo actual.

Revisando criticamente las antiguas observaciones discrimi-

(1) Al mismo tiempo podemos constatar variaciones en la extension de los campos de nieve (*Tirn*), en el número y en la importancia de las manchas de nieve que resisten al calor del verano, y la aparicion ó desaparicion de pequeños ventisqueros temporarios. El fenómeno de la nieve persistente varia como el tamaño de los ventisqueros. ¿Cuál es la relacion entre la cantidad de nieve persistente y las variaciones del tamaño de los ventisqueros? Esto será, sin duda, un punto importante á estudiar; pero, por el momento, no conviene complicar el trabajo, sino ocuparnos solamente de los ventisqueros mismos.

nadas en la literatura alpina de los tres primeros cuartos de este siglo, y agregando las modernas contenidas en nuestros quince informes anuales, podemos trazar en grandes líneas el movimiento de los ventisqueros de los Alpes Centrales durante el siglo XIX.

Antes de 1811 no tenemos observaciones válidas sobre el conjunto de los ventisqueros suizos.

Desde 1812, época de crecimiento general, que en 1818, 1820 ó 1825, según los ventisqueros, llega á un estado de maximum, en todas partes los ventisqueros tienen dimensiones muy grandes, para muchos es su mayor extension conocida en tiempos históricos.

Según afirman los autores, esta creciente ha sido observada en todos los ventisqueros; ninguna excepcion ha sido señalada auténticamente. Llamaremos esta época el maximum del primer cuarto de siglo.

Después de este maximum, que como acabo de decirlo, ha tenido lugar en fechas diferentes, según los ventisqueros, ha empezado un decrecimiento, mal marcado, poco general, que ha sido seguido por una creciente igualmente indecisa, de tal modo, que es imposible fijar la época del minimum, tanto para los ventisqueros considerados individualmente, como para la totalidad de los ventisqueros de los Alpes. Las variaciones de largo han llegado á un nuevo estado de maximum para muchos ventisqueros, al rededor de 1840, 1850 y 1860, digamos hácia la mitad del siglo.

Después de ese maximum, que para muchos ventisqueros ha sido fijado en los años 1855 ó 1856, viene un período de decrecimiento general muy bien definido, muy intenso, muy prolongado, decrecimiento tanto de los ventisqueros que han tenido un maximum auténtico al rededor de 1850, como de los donde ese maximum no se ha manifestado. Al rededor de 1870, todos los ventisqueros de los Alpes, sin que se conozca una excepcion bien probada, estaban en un estado de decrecimiento.

Desde 1875, podemos constatar los indicios de un nuevo período. Los unos después de los otros, cierto número de ventisqueros han empezado á crecer.

El primero fué el ventisquero des Bossons (grupo del Mont Blanc) que empezó á alargarse en 1875, en 1878 la Brenva, en 1879 el Trient y Zigiovenove, etc., etc. El desarrollo de este período continúa todavía actualmente. No es general; al lado de ventisqueros que manifiestamente están creciendo, hay otros,

vecinos, que decrecen; en un grupo de montañas todos los ventisqueros crecen, en otro, todos decrecen. Puedo caracterizar esa desigualdad en la manifestación del crecimiento en los términos siguientes: Todos los ventisqueros del Mont Blanc, la mitad de los del Valais, la cuarta parte de los del Oberland de Berna; algunos de los Alpes rhéticos y austriacos han empezado á crecer en los 20 años de 1875 á 1895; para otros todavía no se ha manifestado ninguna seña aparente de crecimiento.

En fin, durante los últimos dos años de 1893 y 1894, algunos de los ventisqueros que habían participado de esa creciente del último cuarto de siglo, han vuelto positivamente á decrecer. Su frente ha empezado á recular, y disminuye su espesor; el ventisquero del Ródano que, antes de 1893, parecía estacionario y con probabilidades de crecer, ha empezado á decrecer con nuevo ardor. Parece que para esos ventisqueros el período de crecimiento ha concluido y que ha empezado seriamente el decrecimiento.

Esas variaciones se expresan en la tabla siguiente:

- Crecimiento general, de 1811 á 1818.
- Gran maximum del primer cuarto de siglo, de 1818 á 1825.
- Decrecimiento ó estado estacionario, de 1818 á 1830 y 1840.
- Minimum al rededor de ? ?.
- Crecimiento ó estado estacionario, de 1830 á 1850, 1860 y 1870.
- Maximum de la mitad del siglo, 1850, 1856 y 1870.
- Gran decrecimiento general, de 1850 y 1870 hasta.....
- Minimum al rededor de.....
- Pequeño crecimiento de fin de siglo, de 1875 á 1893 y.....
- Maximum para algunos ventisqueros, (?) 1893.
- Pequeño decrecimiento de fin de siglo, (?) 1893 hasta.....

Tal es, resumido en pocas palabras, lo que sabemos de más positivo sobre las variaciones de los ventisqueros del país de las montañas, el mejor estudiado hasta ahora. No creo que por el momento sea posible hacer una generalización más completa para alguna otra región glacial. Es poca cosa. Los renglones de ese cuadro son poco precisos. Sin embargo, podemos sacar de ellos algunas grandes líneas:

1º Las variaciones de los ventisqueros son individuales. Cada ventisquero tiene su marcha especial, sus fases de crecimiento y de decrecimiento, sus estados maximum y minimum le son propios. Dos ventisqueros vecinos, los diversos ventisqueros de un mismo valle, de una misma cordillera de montañas, no tienen necesariamente la misma historia.

Conclusion práctica: La observacion de un ventisquero solo no es suficiente para enseñar las variaciones de la totalidad de los ventisqueros de un país.

2º En medio de las desigualdades individuales, de las marchas particulares de los diversos ventisqueros, se llega, sin embargo, á discernir marchas generales, variaciones del conjunto de los ventisqueros de una region. Eso queda bien marcado en ciertas épocas: la gran creciente del primer cuarto del siglo XIX, el maximum de 1856, el gran decrecimiento del último cuarto de siglo, la creciente local de los ventisqueros del Mont Blanc en el último cuarto del siglo XIX. Cuando todos los ventisqueros de los Alpes suizos estaban creciendo en 1818, cuando todos estaban decreciendo en 1870, seguramente sufrían la influencia de agentes generales, existía un fenómeno de conjunto.

Conclusion práctica: Hay lugar de estudiar, por una generalizacion conveniente, las grandes marchas de los ventisqueros del conjunto de cada país de montañas.

3º Si analizo con atencion esos movimientos generales que aparecen en medio de la irregularidad de los períodos de variacion, he aquí como los voy á apreciar, haciendo todas las reservas respecto á la seguridad de las conclusiones, las que hasta ahora no se apoyan sino en una ó dos repeticiones del fenómeno:

a) El período de creciente empieza sucesivamente é individualmente para cada ventisquero. Sucesivamente uno despues de otro, los diversos ventisqueros de un mismo grupo de montañas, entran en el período de alargamiento; y es tambien sucesivamente que los diversos grupos de ventisqueros de una misma cordillera de montañas empieza su período.

b) El período de decrecimiento, al contrario, parece empezar con más simultaneidad. Es en 1856 que la gran mayoría de los ventisqueros que estaban creciendo en la mitad del siglo, empiezan á disminuir de largo; es en 1893 que la pequeña creciente de fin del siglo ha terminado en varios ventisqueros.

O sea: el estado de minimum parece ser individual, el estado de maximum parece presentar un carácter de simultaneidad mejor marcado. (El porvenir nos enseñará, si las observaciones ulteriores confirmarán estos rudimentos de ley.)

Conclusion práctica: Es más fácil precisar la fecha del período maximum en las fases sucesivas de las variaciones de los ventisqueros.

4º La duracion de los períodos es larga; se mide por

decenas de años. De los hechos constatados en Suiza durante el siglo actual, resulta que en el transcurso de 100 años ciertos ventisqueros han presentado tres estados de maximum, otros solamente dos, otros tal vez uno solo. La duracion, término medio, de un período (de un minimum hasta el otro), seria segun eso, de más de 30 años y de menos de 50. Esa duracion muy larga de los periodos parece tambien resultar de las observaciones históricas de los ventisqueros Grindelwald y del Vernagt, que suben á varios siglos atrás. Hasta prueba contraria, atribuiremos un valor de 30 á 50 años á la duracion de ese fenómeno periódico. Una periodicidad de tal amplitud es evidentemente de una observacion diffeil: exige mucho tiempo, perseverancia y paciencia. Su duracion corresponde á la duracion media de la vida humana, y tal vez la sobrepasa.

¿Qué significan los quince años de nuestras observaciones metódicas en Suiza para estudiar los caracteres de una oscilacion que se reproduce dos ó tres veces en el siglo? Hemos tenido á lo sumo la mitad de un período.

Conclusion práctica: Preparémonos á la paciencia, á la perseverancia, á la prudencia en nuestras conclusiones.

5° En vista del pequeño número de periodos, de los cuales tenemos resultados positivos, no nos es posible por el momento, conocer si hay isocronismo de los períodos sucesivos, si hay sucesion idéntica del desarrollo de las fases de varios ventisqueros del mismo grupo en los diversos periodos. En cuanto al sincronismo, hemos tenido algunos, pero muy débiles indicios solamente en la época del maximum de algunos ventisqueros (1856 y 1893).

Conclusion práctica: Hay todavia muchos hechos no dilucidados que serán descubiertos por observaciones ulteriores.

¿Cuál es la causa de esas variaciones?

El ventisquero es una masa de agua en estado sólido, procedente de las precipitaciones atmosféricas, nieve ó escarcha. Siendo el hielo una sustancia semi-fluida, de una fluididad muy pequeña, el ventisquero se deforma y se derrama en el valle, pero con una lentitud prodigiosa; el ventisquero, en apariencia inmóvil, es una masa que, teniendo su alimento en las altas regiones, tiende á crecer constantemente en el sentido del largo, del ancho y del alto. Por otra parte, en las bajas regiones donde se derrama, el calor lo ataca, transforma el hielo en agua líquida y perfectamente fluida, que se evade fácilmente; el ventisquero en fusion se libra inmediatamente de sus partes vueltas líquidas por medio del torrente glacial que

se desprende de su frente. Tiende, pues, á disminuir por su parte terminal. Son, pues, dos factores de una acción opuesta que rigen el volúmen del ventisquero: el factor de la alimentación y el factor de la fusión.

Alimentacion del ventisquero.—El ventisquero se forma por la acumulacion de las capas de nieve caida en las cimas de las montañas, nieves que forman los nevados y que, transformándose en hielo, se derraman lentamente en los valles. Cuanto más fuertes son las caidas de nieve, tanto más espesor tendrá el nevado, tanto más considerable será el rio de hielo, y tanto más rápido su derrame. Si en las variaciones climatéricas se produce una variacion en las precipitaciones de nieve, ésta se manifestará por una variacion en el volúmen del ventisquero, por el hecho de su alimentacion más ó menos fuerte. El volúmen del ventisquero estará en funcion directa de la abundancia de las precipitaciones de nieve.

Liquefaccion del ventisquero.—Al derramarse en el valle, el ventisquero llega á una region donde el verano es bastante caliente para que el calor ataque sériamente el hielo. Todos los años, una capa más ó menos importante de su superficie exterior, de sus bordes, de su frente, queda transformada en agua que se aleja por el torrente glaciario. Mientras que en las regiones superiores se construye el ventisquero, en las regiones inferiores se destruye, y disminuyendo su grueso todos los años, llega al punto en que el espesor se reduce á cero y se concluye el ventisquero. Cuanto más fuerte es el calor del verano, tanto más espesa es la capa de hielo que así se destruye, tanto más fuerte es lo que se llama la *ablacion*. Si en las variaciones climatéricas se produce una variacion en el calor de los veranos, ésta se manifestará por una variacion en el volúmen del ventisquero, por el hecho de su liquefaccion más ó menos rápida. El volúmen del ventisquero queda en funcion inversa del calor estival.

Ahora, esos dos factores, humedad atmosférica y calor, que rigen el volúmen del ventisquero, son variables: sin hablar de las variaciones diarias y anuales, presentan un ciclo periódico; el término medio de la humedad, y de la temperatura de una série de años queda á veces más elevada, á veces menos elevada que la normal; las diferencias individuales muy variables de un año al otro, dejan traslucir, cuando se estudia el clima por procedimientos convenientes, variaciones periódicas más ó menos regulares. Brückner, en su excelente libro titulado *Klimaschwankungen*, ha valuado ese ciclo á

35 años más ó menos. Si los factores varian con independencia el uno del otro, el producto varia necesariamente; si la alimentacion y si la destruccion de los ventisqueros son variables, el volúmen de los ventisqueros lo debe ser tambien.

Para que la resultante sea variable, es preciso que los factores sean independientes uno de otro; pero es incontestable que los hechos meteorológicos, calor y humedad atmosférica, tienen una reaccion directa el uno sobre la otra.

La abundancia de la nieve no solo depende de la humedad relativa del aire, sino tambien de la temperatura de éste. La cantidad de vapor de agua que el aire es capaz de contener, es funcion directa de su temperatura. Por otra parte, el estado sólido de las precipitaciones acuosas depende directamente de la temperatura; arriba del cero de los termómetros Celsius ó Réaumur, tienen lugar bajo forma de lluvia. En fin, la variabilidad de la temperatura es una condicion de la abundancia de las precipitaciones; cuando la temperatura es constante, el vapor de agua queda en estado aeriforme. Por consiguiente, cuando el invierno es muy frio, cuando es corto, cuando su temperatura es constante, las nieves son poco abundantes; y vice-versa, un invierno poco riguroso, prolongado, con gran variabilidad de temperatura, dará grandes cantidades de nieve. Segun eso, á pesar de que sea la humedad del aire el factor decisivo de la alimentacion del ventisquero, la importancia de las precipitaciones de nieve está bajo la dependencia indirecta de los hechos de la temperatura.

Por otra parte, la liquefaccion del hielo es debida al calor. Pero la accion eficaz de los rayos del sol y la temperatura del aire que deben ejercer su accion por contacto, dependen directamente de la nebulosidad, hecho que depende de la humedad. Cuando el cielo está cubierto, la radiacion solar está atajada por la capa de nubes y la temperatura del aire inferior es menos elevada. El calor latente producido por la condensacion directa del vapor de agua sobre el cuerpo del ventisquero, depende tambien de la humedad del aire. Por consiguiente, aun cuando es el calor el factor decisivo de la liquefaccion del ventisquero, ésta queda bajo la dependencia indirecta del estado de humedad del aire.

En fin, el estado anemométrico, el reposo ó la agitacion del aire, que tienen una accion poderosa, sea para atracr ó para alejar las nubes cargadas de nieve, sea para agravar ó moderar los hechos de la liquefaccion del ventisquero, el régimen de los vientos queda íntimamente ligado, como causa y como

efecto, con los hechos del calor y de la humedad atmosféricos. Calor, humedad, vientos, esos factores meteorológicos, se penetran mutuamente y reaccionan los unos sobre los otros. Podría, pues, suceder, que por una combinación conveniente, sus acciones opuestas se anulasen y que la resultante quedase constante.

Pero si esos factores tienen las relaciones íntimas que acabamos de indicar, sin embargo, en sus efectos sobre el volumen del ventisquero, funcionan de una manera muy independiente.

Los dos factores cuya resultante se traduce por las dimensiones del ventisquero, tienen su acción dominante en las dos estaciones opuestas del año; el factor alimenticio es debido á las precipitaciones de nieve durante la estación fría; el factor liquefacción es debido á los calores de la estación caliente.

El punto de actividad máxima de esas dos acciones, también es muy distinto. La alimentación del ventisquero se hace principalmente en las altas regiones, en las cimas y en los nevados; la liquefacción del ventisquero se hace en la parte terminal del valle de derrame.

Finalmente, hay todavía una diferencia importante entre los dos factores bajo el punto de vista del desarrollo de las reacciones en el tiempo. La alimentación del ventisquero se hace esencialmente en los altos nevados; el nevado se derrama lentamente en los valles y al cabo solamente de muchas decenas de años, el hielo salido de las altas cimas llega á la extremidad terminal del ventisquero. Las variaciones del factor alimentación deberán, por consiguiente, buscarse en el pasado, probablemente en un tiempo muy lejano del momento actual en que constatamos sus efectos sobre el tamaño del ventisquero. La liquefacción del hielo, al contrario, tiene lugar esencialmente en la extremidad terminal, es decir, en las partes que llegan actualmente al lugar donde estudiamos la variación del tamaño. Es, pues, posible, que la alimentación del ventisquero sea de reacción lejana en el tiempo, la liquefacción de reacción inmediata ó actual.

Bajo todos los puntos de vista, los dos factores opuestos que rigen las variaciones del volumen del ventisquero, son pues, esencialmente diferentes en su naturaleza, en la época de su origen, en el lugar de su acción máxima y por la estación de su actividad. Son enteramente independientes uno del otro y no es extraño que su resultante presente caracteres de gran irregularidad.

Sea lo que sea, los factores calor y humedad atmosféricos, son el uno y el otro, hechos meteorológicos.

Las causas de las variaciones del tamaño de los ventisqueros deben, pues, buscarse en las variaciones de las condiciones meteorológicas. El tamaño relativo de los ventisqueros es un indicio de la variación del clima.

Poseemos, pues, en el fenómeno tangible, que cae directamente bajo la observación de las variaciones del tamaño de los ventisqueros, un medio directo de constatar las variaciones posibles de los grandes factores meteorológicos. Eso es una legitimación de la atención del mundo científico para el fenómeno que estudiamos.

Los estudios que la Comisión Internacional espera obtener sobre el conjunto de los ventisqueros del globo ofrecerán un gran interés.

En primer lugar, los hechos observados sobre los ventisqueros, tan diferentes por sus dimensiones y las condiciones de su existencia en las diversas regiones de la tierra, permitirán establecer una teoría del fenómeno de las variaciones en tamaño de los ventisqueros y de su relación con los hechos meteorológicos. Sabemos que esa relación es incontestable, ¿pero cuáles? ¿Es el calor, ó es la humedad del aire el fenómeno dominante? Sabemos que son las variaciones periódicas en las precipitaciones de nieve y en los calores estivales la causa de las variaciones glaciales; pero, ¿en qué época debemos buscar la reacción de la causa sobre el efecto? Para la liquefacción del ventisquero, seguramente son las variaciones actuales del calor que hay que considerar, pero para la alimentación del ventisquero, para las variaciones de su crecimiento y la velocidad de su derrame, ¿serán las variaciones actuales ó las de los años inmediatos anteriores? ¿O serán variaciones de tiempos lejanos, variaciones que han tenido lugar hacen muchas decenas de años, cuando el hielo que hoy llega al frente del ventisquero, caía bajo forma de nieve en los altos nevados? Esta cuestión es difícil, y no será contestada sino cuando nosotros y nuestros sucesores habrán acumulado numerosas observaciones hechas en condiciones distintas y criticadas con cuidado.

En segundo lugar, esas variaciones glaciales actuales tienen un gran interés para el geólogo. Cuando las comprendamos mejor, nos explicarán tal vez esos sucesos considerables de la historia antigua del globo que se llaman periodos ó épocas glaciales, es decir, la extraña invasión, simultánea ó sucesiva,

una ó varias veces, de ciertas regiones montañosas por inmensos ventisqueros, como hoy día no existen sino en el *Inlandeis* de Groenlandia. El estudio de los períodos glaciales actuales facilitará seguramente la comprensión de los períodos glaciales de la época cuaternaria geológica.

Del punto de vista de la meteorología general, de la climatología, nuestras variaciones glaciarias también tienen un interés muy grande. Se manifiestan tanto en los ventisqueros del Himalaya y de la Nueva Zelandia, como en los del Alarka, de Groenlandia, del Cáucaso, de las Sierras Escandinavas, de los Pirineos y de los Alpes del Centro de Europa; ¿pero serán esas manifestaciones simultáneas ó alternantes? ¿Habrá coincidencia ú oposición? ¿ó no hay ninguna relación entre ellas? Esa cuestión es de la mayor importancia, y ayudará, cuando podamos contestarla, á resolver el problema capital de la meteorología general; á saber: si las variaciones climatéricas son universales, simultáneas en todo el globo, ó sucesivas en las varias regiones. Lo que quiere decir: ¿tendrán una causa externa á la Tierra, causa cósmica si aparecen simultáneamente en todo el globo, ó tendrán una causa terrestre, si alternan y se compensan en las diferentes regiones del mundo? Cuando nuestros estudios hayan contestado á estas tres preguntas preliminares:

«¿Son simultáneas y en un mismo sentido las variaciones glaciarias, ó no tienen relación entre ellas?»

«a) en las varias cordilleras de montañas de un mismo continente (Alpes, Pirineos, Sierras Escandinavas, por ejemplo);

«b) en las diversas regiones del mismo hemisferio al norte del ecuador (por ejemplo, los ventisqueros europeos, los ventisqueros norte-americanos, los ventisqueros asiáticos, los ventisqueros del polo ártico);

«c) en los ventisqueros de ambos hemisferios, al norte y al sud del ecuador, ventisqueros árticos por una parte, ventisqueros antárticos (Nueva Zelandia, Sud-América, regiones polares antárticas).»

Cuando hayamos contestado á estas tres preguntas preliminares, la meteorología general y el estudio de las variaciones climatéricas habrán seguramente ganado una base importante para hacer deducciones de alto interés.

El trabajo científico de la Comisión internacional que aspira á abarcar en su actividad los ventisqueros de los Alpes, de los Pirineos, del Cáucaso, de la alta Asia, de la Escandinavia, de Irlanda, de la América del Norte, de Groenlandia, de las regiones polares árticas, de la Nueva Zelandia, de la América del

Sud, de las regiones polares antárticas, es, pues, de alta utilidad y debemos emprenderlo con coraje, con paciencia y con perseverancia.

¿Cómo llevaremos á bien ese estudio en las condiciones tan diferentes representadas por las diversas regiones glaciales del globo? Es difícil dar reglas generales, y por el momento no creemos que se pueda aplicar un método único y uniforme. He aquí algunos de los procedimientos que han sido empleados para el estudio de las variaciones glaciales; no indicaremos las variantes en el método que puedan diferenciarse segun las condiciones locales:

1. *Método del ventisquero del Ródano*, ejecutado por los ingenieros de la Oficina Topográfica Federal por cuenta del Club Alpino Suizo y de la Sociedad Helvética de Ciencias Naturales.— Cada año, al principio de Setiembre, se levanta el plano de la punta del ventisquero, y se mide la superficie del terreno desnudo por la retirada del ventisquero ó cubierto por su avance; eso dá las variaciones de largo. Al mismo tiempo se hace una nivelacion de los perfiles á través del ventisquero y de los nevados, siguiendo siempre las mismas líneas, lo que dá las variaciones del espesor del ventisquero. En fin, se mide el avance anual de señales colocadas anualmente sobre los mismos perfiles, lo que dá las variaciones de velocidad de derrame. Este método es el más completo; tiene el inconveniente de ser caro.

2. *Método de los empleados de bosques suizos*.—Delante del frente del ventisquero se colocan dos señales fijas, en los dos lados del valle, las que establecen una línea de base. Desde esa línea se miden las distancias de algunos puntos principales situados en el frente del ventisquero todos los años á principios de Setiembre, indicando su posición por abscisas y ordenadas. Un croquis en una escala conveniente acompaña el informe é indica las variaciones de largo del ventisquero.

3. *Método fotográfico* empleado por don José Tairraz de Chamounix. Todos los años en la misma época (Setiembre ú Octubre), saca con el mismo aparato y desde el mismo punto una vista del frente del ventisquero. La comparación de las vistas sucesivas demuestra las variaciones del tamaño del ventisquero. Esas variaciones, generalmente, no son bastante acentuadas para distinguirse fácilmente de un año al otro en las vistas de frente, á menudo se constata solamente despues de varios años. Una série prolongada de esas vistas de frente es muy instructiva.

Vistas de perfil de la extremidad del ventisquero demostrarían mucho más fácilmente las variaciones de largo; pero para los ventisqueros que tienen variaciones rápidas, á menudo sería muy difícil elegir el punto de vista.

Es recomendable combinar las vistas de frente y de perfil.

4. *Mapas topográficos.*—La comparación de los mapas topográficos levantados en épocas diferentes, dá informes precisos sobre la importancia de las variaciones. Desgraciadamente este método (hasta ahora el único que se pueda utilizar para ventisqueros de un acceso difícil, como los de las regiones polares) no indica las fechas del principio y del fin de los periodos, las fechas del maximum ó del minimum del largo de los ventisqueros. Y son justamente esas fechas que tienen mayor valor para una comparación útil del fenómeno de las variaciones considerado en diferentes países.

5. *Observaciones de naturalistas.*—El aspecto de las morainas indica á menudo con claridad si un ventisquero está creciendo ó disminuyendo. Si el ventisquero está creciendo, las morainas frontales son rechazadas, revueltas; las morainas laterales están en contacto con el ventisquero; todo demuestra una actividad creciente en el transporte de materiales por el ventisquero. Si éste está decreciendo, las morainas, tanto frontales como laterales, están separadas del hielo por un espacio libre más ó menos ancho. A más de esos síntomas, los más evidentes del estado del ventisquero, hay muchos detalles de observación que ayudan á confirmar la certidumbre; varían en cada ventisquero y deben dejarse á la experiencia y al tacto del naturalista.

6. *Testimonios.*—Consultando los recuerdos de los habitantes vecinos del ventisquero, se obtienen á menudo informes interesantes sobre fechas críticas de las variaciones de largo, sobre las épocas del último maximum ó minimum. Una investigación inteligente puede dar resultados precisos. Pertenece al tacto del naturalista criticar esos testimonios, desgraciadamente á menudo poco precisos, de confrontarlos unos con otros, corregirlos entre sí, y de sacar conclusiones justas y ciertas de testimonios individuales que todos tienen algo de incierto y errores. Yo mismo, durante mucho tiempo, he usado ese método y ciertamente me ha dado resultados útiles y satisfactorios.

Como lo he dicho, cada uno de esos métodos puede aplicarse con diferentes variantes, según tiempo y lugar. Las condiciones de mensuración, de observación y de estudio son tan

diferentes de un país al otro, de un ventisquero al otro, que debemos dejar á nuestros colaboradores la mayor independencia en sus estudios, para el mejor acierto de los intereses científicos que les están confiados.

El trabajo que la Comisión Internacional de los ventisqueros tiene delante de sí, es grande é interesante, es también difícil. Abordémoslo con calma, coraje y abnegación. Para empezar, tratemos el problema del modo más simple que sea posible; limitémonos á recoger todos los hechos históricos que pueden hacernos conocer las variaciones glaciales en el pasado y á instituir observaciones que nos los hagan conocer en el presente y en el porvenir. Cuando esta base esté sólidamente establecida, las cuestiones subsidiarias de causa, de efecto, de relaciones con otros fenómenos, las cuestiones teóricas, etc., se presentarán naturalmente á nuestro estudio, y nosotros ó nuestros sucesores las trataremos á medida que se desarrollen delante de nosotros.

Invocamos para estos trabajos la simpatía y la colaboración de todos los trabajadores, físicos, naturalistas, alpinistas ó exploradores de regiones polares, así como el apoyo de las Academias y de los Gobiernos; su concurso nos es necesario para poner en juego y para llevar á cabo la hermosa empresa que hemos sido encargados de organizar. Confiamos que este concurso no nos faltará.

E. A. FOREL.
