

Recesión de los glaciares

Una respuesta al cambio



Así lucía el Illiniza Sur en los primeros años de la década del setenta.



Por: Bernard Francou
Glaciólogo,
representante del IRD en
el Ecuador

¿Cuál es el problema?

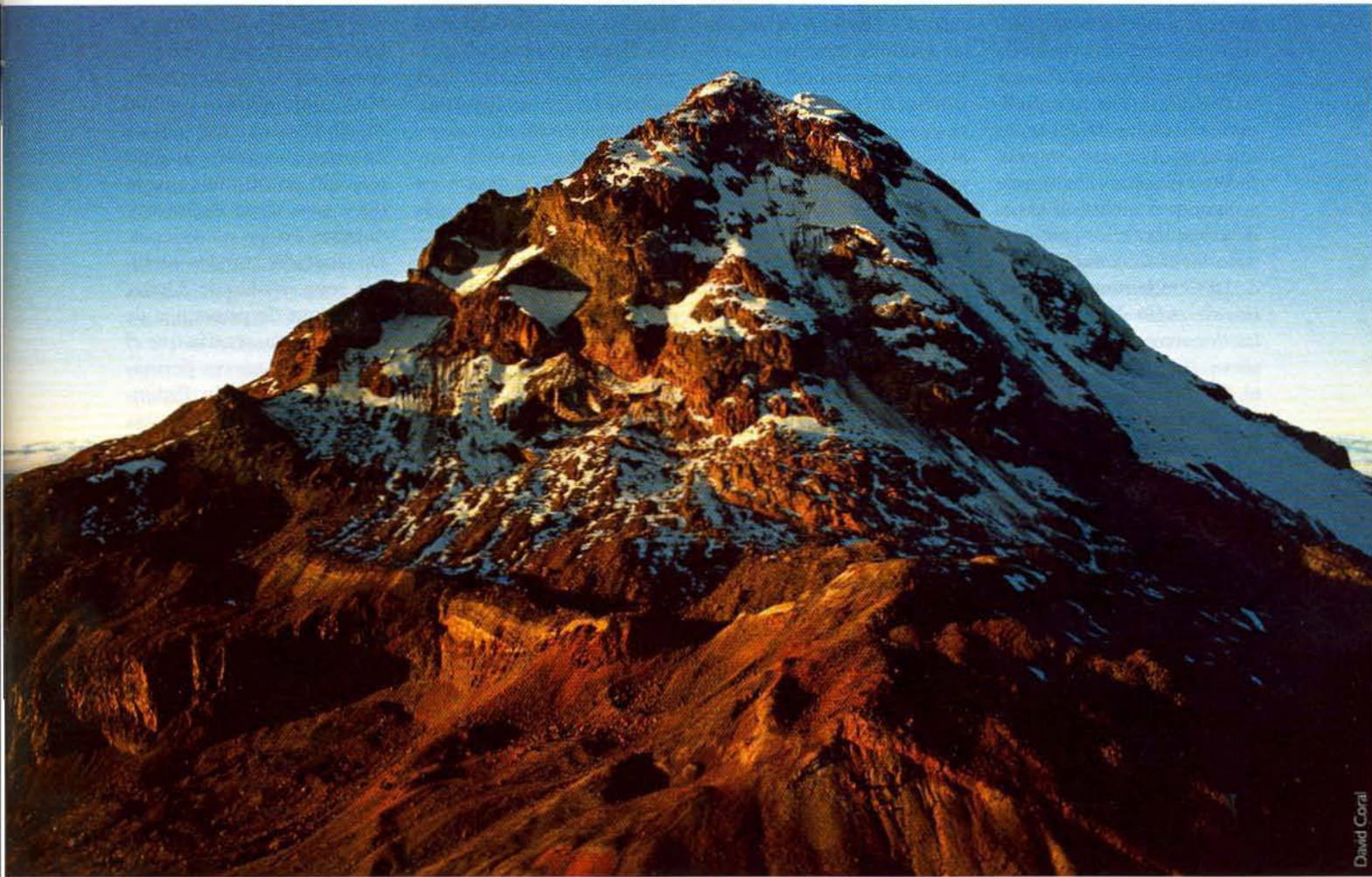
Los glaciares pasan por ser los mejores indicadores de la tendencia climática. Es gracias a ellos que, a partir de la primera mitad del siglo XIX, el concepto de "eras glaciares e interglaciares" se ha impuesto y que ha nacido la paleo-climato-

logía. En este proceso, el nombre del científico suizo Louis Agassiz (1807-1873) se destaca entre otros. Midiendo y estudiando los glaciares de una manera efectiva a partir de 1870 —primero en Suiza y en Francia, luego en Escandinavia—, se notó que los glaciares conocen variaciones periódicas: su lengua frontal avanza por

un tiempo y luego empieza a retroceder. Poco a poco se trató de relacionar dichas fluctuaciones con las variaciones del clima y así nació la glaciología.

Actualmente, de 100 a 150 glaciares son observados regularmente en varios macizos alrededor del mundo. A pesar de que esto constituye una cobertura

es en el Ecuador: climático



El Illimiza Sur en la actualidad.

poco densa para obtener una tendencia general, esta red ofrece, en el contexto de recalentamiento global de los últimos decenios, una fuente de información extremadamente útil para monitorear el clima del planeta, particularmente en regiones remotas donde la información climatológica con base en mediciones directas es

escasa o inexistente.

Hemos tratado, en un libro recientemente publicado en Francia (Francou y Vincent, 2007), de hacer una síntesis de esta información y de presentar a un amplio público no especializado el panorama de los glaciares a nivel mundial. En este artículo, sin embargo, me limitaré a sintetizar

lo que hemos aprendido de los estudios hechos por el IRD y de sus contrapartes desde hace casi 15 años sobre algunos glaciares de la cordillera ecuatoriana. La prensa aporta muchas veces informaciones muy aproximativas o falsas sobre los glaciares, por lo que no es inútil presentar aquí un punto de vista basado en

observaciones científicas directas.

Es importante comenzar la historia hace algunos siglos atrás para apreciar el grado de magnitud del proceso actual de desglaciación. Del mismo modo, es interesante ver si la tendencia que observamos en el Ecuador se ve con la misma fuerza en las cordilleras

de los países vecinos, Perú, Bolivia y Colombia, donde existen también semejantes programas glaciológicos.

La Pequeña Edad de Hielo en los Andes del Ecuador

Hay pocas regiones en las cuales los glaciares están tan cerca de los habitantes y tan expuestos a la vista de todos los viajeros que recorren el gran valle interandino como en los Andes ecuatorianos. Por eso mismo, dichos glaciares han sido señalados e incluso a veces descritos desde los primeros siglos de la Colonia.

La Condamine, a mediados del siglo XVIII, evoca las "enormes masas de una nieve tan antigua como el mundo"¹ que recubren los volcanes de la entonces Real Audiencia de Quito. A mediados del siglo XIX, Moritz Wagner fue el primero en identificar un "verdadero glaciar" situado en el Altar. Su notoriedad se debía, sin duda, a su magnitud, pues este glaciar no solo llenaba, en esa época, todo el centro de la caldera del volcán, sino que también se desbordaba ampliamente sobre el alto valle de

Collanes, con una hermosa lengua de hielo que descendía hasta un poco menos de 4.000 m de altitud. En la década de 1870, los viajeros debían cruzar los glaciares antes de llegar a las cimas. Reiss, Stübel, von Thielman y Whympfer los caminaron en todos los sentidos, observando las grietas y las morrenas. "Existen glaciares de grandes dimensiones en los Andes del Ecuador. Alcanzan su mayor tamaño en el Antisana, el Cayambe y el Chimborazo, y hay algunos de tamaño considerable en el Altar, el Carihuairazo, el Cotacachi, el Illiniza, el Sara-Urcu y el Sinchola-gua"².

A principios del siglo XX, Hans Meyer fue el primer geógrafo en demostrar que los glaciares ecuatoriales comprenden, tal como en los Alpes, una parte superior bastante grande constituida por nieve dura, llamada neviza, y una parte baja compuesta exclusivamente de hielo. Cerca del frente, el hielo suele estar cubierto de escombros rocosos que a veces se confunden con las morrenas circundantes. La "línea de neviza", que limita entre la parte alta del glaciar y la parte baja, fue

correctamente interpretada por Hans Meyer como el límite inferior de la nieve permanente. Treinta años después de Reiss y Stübel, en 1903, Meyer observó la posición, en altitud, del límite de la neviza en los Andes ecuatorianos. Este límite varía, a nivel de las cordilleras, de acuerdo con la exposición a los flujos húmedos que llegan de la Amazonía. Según él, la línea de neviza está 200 a 300 metros más abajo en la vertiente este de la Cordillera Oriental, muy húmeda, de lo que está en la vertiente del Pacífico, más seca.

El límite de la nieve permanente también varía en el tiempo bajo el efecto del cambio climático y, en cierto sentido, constituye su trazador. Los relatos y la iconografía dejados por quienes viajaron a través de la nieve y los glaciares son de gran interés para los científicos³. Pero, ¿qué nos dicen?

Gracias a La Condamine y a Humboldt, sabemos que cumbres tan bajas como el Corazón (4.787 m) e incluso el Guagua Pichincha (4.794 m) estuvieron permanentemente cubiertas de nieve en los años 1740 y todavía en 1802. "El 20 de julio, fui-

mos a realizar el experimento del barómetro [...] sobre el pico mismo del Corazón, cuya punta está siempre cubierta de nieve y sobrepasa con cuarenta toesas el límite sobre el cual la nieve no se funde jamás"⁴.

A mediados del siglo XVIII, La Condamine y Bouguer determinaron que el límite inferior de la nieve se encontraba a 4.750 m y, cincuenta años más tarde, Humboldt la ubicó a 4.800 m, sin que sea posible para nosotros saber si ese límite subió en 50 años o si la diferencia viene de incertidumbre en las mediciones. De acuerdo con los archivos municipales de Quito, que datan de principios de la Colonia, parecería que el límite de las nieves permanentes en el volcán Pichincha ya se acercaba a esa altitud a comienzos del siglo XVI. Aunque las condiciones de una capa de nieve permanente fueron señaladas por Moritz Wagner respecto al Guagua Pichincha hacia 1858, los testimonios de Reiss y Stübel (1870-1874) y, posteriormente, de Whympfer (1880) y Meyer (1903), hacen pensar que la nieve se había vuelto esporádica. En lo referente



La caldera de El Altar, vista por Rudolf Reschreiter, en 1903 (acuarela, colección particular).



La caldera de El Altar, fotografiada en 2000, desde una perspectiva semejante a la de la pintura de Reschreiter.

Bernard Imacou

al Corazón, todos los testimonios concuerdan en que, durante la mayor parte del siglo XIX, había nieves permanentes, pero esas condiciones ya habían cambiado al comenzar el siglo XX, cuando Meyer visitó la zona. Para entonces, las nieves permanentes ya se habían reducido y se limitaban a los lugares más protegidos. "El Corazón, cuya altitud es de 4.787 m, se levanta precisamente tanto cuanto el límite climático de la nieve en la Cordillera Occidental (a 4.800 m), de manera que puede tener algo de nieve en algunos lugares protegidos, pero, dentro de poco tiempo, perderá este último resto de nieve y hielo [...]. Su vecino Rumiñahui, cuya cima mide 4.757 m, ha quedado ya debajo del límite de la nevisca y está, por lo tanto, desnudo"¹.

Los glaciólogos contemporáneos saben que entre los siglos XVI y XIX, y en muchos casos desde comienzos del siglo XIV, existieron a nivel mundial glaciares mucho más extensos que los que existen hoy. Es tal la coincidencia de esta expansión de los glaciares en la mayor parte de los macizos montañosos del planeta que esos seis siglos son conocidos como la Pequeña Edad de Hielo. Esa mayor extensión de los glaciares también era palpable en el Ecuador gracias a condiciones más favorables de capa de nieve y temperatura. El límite de la nieve permanente parece haberse situado siempre, durante esos siglos, entre 4.700 y 4.800 m, es decir,

unos trescientos metros por debajo de su nivel actual.

El Sincholagua (4.893 m) y el Cotacachi (4.939 m), montañas cuya altura supera la altitud del Pichincha o del Corazón, perdieron sus glaciares un poco más tarde, durante el siglo XX. Whymper escaló esas montañas por primera vez en 1880, describiéndolas como cubiertas de hermosos glaciares. Esas lenguas glaciares aun estaban presentes cuando Hans Meyer pasó por ahí y Rafael Troya o Rudolf Reschreiter las plasmaron en sus cuadros. Minúsculos restos de hielo perduraron en el Sincholagua y el Cotacachi hasta los años 70, pero a inicios de la década de 1990 todo vestigio de glaciares había desaparecido completamente de esas cumbres.

En otro macizo, El Altar, el gran glaciar que ocupaba la enorme caldera seguía siendo muy vigoroso cuando Troya lo pintó en 1872, aun cuando su término ya estaba en retroceso en comparación con su extensión máxima. Tal como aparece en las acuarelas de Reschreiter producidas en 1903, el glaciar había retrocedido más, aunque seguía cubriendo la totalidad de la caldera, alcanzando localmente 100 metros de espesor. En el curso del siglo XX, el glaciar fue gradualmente liberando la caldera, dejando lugar, en su centro, a una hermosa laguna, la Laguna Amarilla. Aunque ésta todavía era minúscula en 1956, se fue agrandando y en 1965 cubría una super-

ficie equivalente a la mitad de la que tiene ahora. Llegó a su máxima extensión (435 ha) al final de la década de 1980, una vez que los glaciares abandonaron definitivamente el fondo de la caldera y se replegaron hacia la parte alta del circo, a la sombra de las paredes rocosas. En ese entonces ya era la laguna glaciar más grande del Ecuador.

Métodos modernos utilizan varios indicadores para reconstruir las áreas ocupadas por los glaciares en curso del tiempo. Uno de ellos consiste en datar las morrenas dejadas por ellos, las cuales permiten, al mismo tiempo y bajo ciertas condiciones, calcular las antiguas superficies y volúmenes ocupados por el hielo. Estas dataciones utilizan un líquen del género *Rhizocarpon Geographicum*, bien representado en todos los Andes, cuyo crecimiento, bien calibrado a partir de superficies con edades conocidas sobre las cuales está presente, permite estimar un rango de fechas del depósito de los bloques incorporados a esas morrenas. Un modelo estadístico adecuado proporciona una fecha para la construcción de las morrenas, con una incertidumbre de la orden del decenio. Utilizando este método, investigadores del IRD⁶ pudieron establecer que, en Bolivia, Perú y Ecuador, los glaciares alcanzaron su mayor extensión entre 1600 y 1750, es decir, durante uno de los periodos más fríos de la Pequeña Edad de Hielo, que fue también húmeda en los

Andes centrales. Estos avances fueron contemporáneos de muchos otros a nivel mundial. Después de este despliegue máximo, empezó un progresivo retroceso que fue interrumpido por un avance, bien marcado en el Ecuador, durante los primeros decenios del siglo XIX. Este periodo, entre 1800 y 1820, es conocido por haber sido frío a nivel mundial. Parece que, en los Andes centrales, el retroceso de los glaciares fue notable sólo durante los dos últimos decenios del siglo XIX, probablemente debido a un marcado recalentamiento del Pacífico ecuatorial y del clima de esas regiones tropicales, a partir de la década de 1880. Estimamos, entonces, que el fin de la Pequeña Edad de Hielo se produjo en los Andes centrales alrededor del año 1880, cuando la recesión de los glaciares empezó a suceder a un ritmo acelerado.

Las etapas del retroceso de los glaciares en los Andes ecuatorianos durante el siglo XX y el proceso de aceleración desde hace treinta años

Curiosamente, entre la expedición de Hans Meyer y los años 50, no se ha podido hasta ahora tener un registro preciso y continuo de las fluctuaciones de los glaciares en nuestro país. Hay que saltar hasta las fotografías áreas del Instituto Geográfico Militar tomadas a partir de mediados de la década de 1950 para disponer de documentos explotables. Aún así, dichas

¹ Charles-Marie de La Condamine, *Journal du voyage fait par ordre du Roi à l'Equateur (...)*, Paris, 1751.

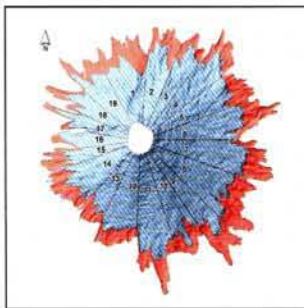
² Edward Whymper, *Travels amongst the Great Andes of the Ecuador*, London, 1892.

³ Algunos de los documentos referidos pueden verse en M. García & B. Francou, *El corazón de los Andes*, Ediciones Libri Mundi, Quito, 2002.

⁴ Charles-Marie de La Condamine, op. cit. Antigua medida, la toesa corresponde a ~1.95 m.

⁵ Hans Meyer, *In den Hoch-Anden*, Berlin, 1907.

⁶ A. Rabatel, V. Jomelli, P. Naveau, B. Francou & D. Grancher, *Dating of Little Ice Age fluctuations in the tropical Andes: Charquini glaciers, Bolivia*, 16 °S. C.R. Geoscience, 337, 2005, pp. 1311-1322.



Este gráfico muestra el retroceso del glaciar de 1976 a 1997.

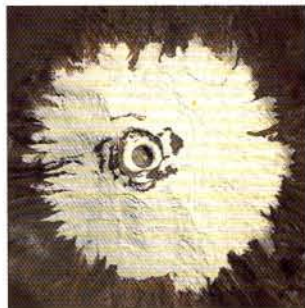


Foto reciente del glaciar del Cotopaxi.

coberturas aéreas son escasas (una cada diez años, no mucho más) y no enfocadas al estudio de los glaciares. En 1975, cuando Stefan Hastenrath⁷, de la Universidad del Wisconsin, recorrió los Andes ecuatorianos, los glaciares parecen haber tenido su línea de equilibrio entre 4.900 y 4.950 m como promedio. Los pequeños glaciares residuales, como los del Sincholagua y el Cotacachi, estaban ya reducidos a pequeños montículos de hielo y amenazados por desaparecer por completo en algunos años.

Se sabe, por estudios hechos en el Perú, particularmente en la Cordillera Blanca, que después del retiro rápido de la lenguas glaciares de los dos últimos decenios del siglo XIX y de los primeros años del siglo XX, una pausa sucede entre 1910 y 1930, marcada por avances significativos al principio de los años 20. Sin embargo, luego, en la Cordillera Blanca del Perú, las expediciones austro-alemanas describen un marcado retroceso de los glaciares a partir de 1930 y durante los años 1940. Desde prin-

cipios de los años 1950 hasta 1975, como en muchos otros macizos del mundo, ocurre una nueva pausa en el proceso de recesión de los glaciares, con avances de lenguas de algunas decenas de metros, particularmente en 1956, 1963 y 1974-75. En el Cotopaxi, al comparar las fotos aéreas de 1956 y de 1976, no se pudo ver una diferencia marcada en los límites de los glaciares, lo que comprobaba que la glaciación manifestó ahí también una cierta estabilidad (Jordan y otros, 2005).

Las cosas cambian radicalmente en todos los Andes tropicales a partir de 1976-1980. Estudios actuales, efectuados por el IRD, el INAMHI y la EMAAP-Q sobre la vertiente oeste del Antisana, demuestran que los glaciares han retrocedido considerablemente en los últimos 50 años⁸. Claramente visible desde Papallacta y vecino del glaciar Guagrayalina y del glaciar Los Crespos, el glaciar 15, que fue visitado en el pasado por Humboldt, Boussingault, Reiss, Stübel, Whympfer y Meyer, ha perdido 36% de su superficie

entre 1956 y 2005⁹. Esta regresión, que era, en 1993, del 17% desde 1956, se duplicó estos 12 últimos años. En el Cotopaxi, el ritmo de retroceso a partir de la foto de 1976 es parecido, con una disminución del 30% de la superficies glaciares entre 1976 y 1997¹⁰. Desde esta fecha hasta el 2006, año en que fue fotografiado nuevamente, el Cotopaxi siguió perdiendo su hielo a un ritmo casi similar, llegando a una disminución de un 40% de sus áreas glaciares en treinta años¹¹.

Tal situación se relaciona con la del glaciar 15 en el Antisana, donde se ha medido anualmente el balance de masa de la lengua alfa, con un déficit promedio anual de un poco más de 60 cm de equivalente agua. Repentinamente, el límite promedio de la nieve permanente en esta parte de la Cordillera Oriental subió a un poco más de 5.100 m. Por lo tanto, este límite se ubica ahora 300 metros más alto que cuando Reiss y Stübel visitaron la zona en 1873. A pesar de que el límite de la nieve permanente cambie de un lado a otro de la cordillera, así como, de una manera considerable, de una vertiente a otra de una misma montaña, es razonable entonces decir que la altura a la cual los glaciares hoy en día empiezan a conservar la nieve que reciben anualmente se ha desplazado unos 300 m más arriba respecto a los siglos de la Pequeña Edad de Hielo.

En esas condiciones, se

entiende por qué los glaciares más pequeños, ubicados a menos de 5.100 m, están desapareciendo poco a poco. Dichos glaciares están irremediamente en desequilibrio con el clima actual y no pueden recuperar masa, excepto en algunos pocos años que combinan temperaturas más frías y precipitaciones más abundantes, como 1999 y 2000. Expuestos permanentemente a condiciones de ablación sobre la mayor parte de su superficie, los glaciares "residuales" que permanecen en el Iliniza Sur, en el Sara Urcu y en el Carihuairazo van a desaparecer totalmente en un plazo de algunos años, o uno o dos decenios si las condiciones climáticas permanecen iguales.

¿Se deberá esto a temperaturas más altas o a una modificación del régimen de precipitaciones? Las razones de este retroceso están siendo estudiadas sobre "glaciares pilotos" en los que se han concentrado observaciones e instrumentales.

El clima responsable, pero ¿cómo?

Un glaciar es un objeto hidrológico que recibe agua sólida y la conserva en su parte de arriba, la zona de acumulación. El exceso de hielo formado ahí escurre luego por gravedad hacia una altura donde condiciones de temperatura más altas alteran su conservación: es la zona de ablación. El tiempo durante el cual se efectúa la transferencia del

⁷ S. Hastenrath, 1981. Los datos del libro se exponen al final del artículo.

⁸ B. Francou, E. Ramírez, B. Cáceres & J. Mendoza, J., *Glacier evolution in the tropical Andes during the last decades of the 20th century, Chacaltaya, Bolivia and Antisana, Ecuador*, *Ambio*, volumen 29, 2000.

⁹ Según B. Cáceres y otros, informe del IRD y del INAMHI por publicarse en 2007.

¹⁰ E. Jordan, L. Ungerechts, B. Cáceres, A. Peñafiel & B. Francou, 2005. Los datos del artículo se exponen al final del artículo.

¹¹ Según Cadier y otros, 2007. Los datos del artículo se exponen al final del artículo.

¹² Hecto-Pascuales o milibares.

¹³ Son protuberancias de hielo que dan una fuerte irregularidad a la superficie del glaciar. Son agudas, miden generalmente entre 50 cm y un metro de altura, y se levantan verticalmente en las regiones tropicales. Un campo de penitentes evoca las procesiones de las congregaciones españolas durante la Semana Santa.

hielo entre ambas zonas depende de la forma del glaciar, su tamaño, la temperatura del hielo en su base (la cual puede encontrarse a temperatura de fusión o a temperatura negativa), de la geometría del lecho rocoso (empinado/ suave, rugoso/liso, ancho/estrecho, regular/irregular, etc.) y de la cantidad de agua que fluye entre el lecho y el hielo a su base. La respuesta del término inferior del glaciar (su frente) —avance, retroceso o estabilidad— depende de la masa de hielo que viene desde arriba y de las condiciones de ablación que existen en ese punto. Por lo tanto, un avance o un retroceso de la lengua en la parte frontal no es un indicador inmediato de la evolución del volumen o de la “masa” de hielo, pero existe un plazo más o menos largo, de un año a más de un decenio, entre el efecto del clima (del cual depende que la masa crezca o disminuya) y la respuesta dinámica del glaciar. Se puede decir que son los glaciares relativamente más cortos (de menos de un kilómetro de largo) y empinados los que responden más rápidamente a un cambio de masa (uno o dos años). El “balance de masa” (o “ba-

lance neto específico”), que consiste en estimar el aumento o la disminución del volumen del glaciar y que se expresa en metros, centímetros o milímetros de agua equivalente ganada o perdida sobre toda su superficie durante un tiempo dado, es una medición más pertinente que las fluctuaciones de longitud para relacionar un glaciar con su clima.

Sin embargo, la relación entre el balance de masa y el clima es suficientemente compleja para necesitar un análisis físico de las precipitaciones y de los distintos flujos de energía que se intercambian entre la atmósfera y la superficie del glaciar. Digamos, para simplificar, que la superficie del glaciar recibe, por un lado, flujos radiativos (la energía que viene del sol) de distintas longitudes de onda, los cuales representan las cantidades de energía más importantes que recibe, y, por otro lado, flujos no radiativos (llamados turbulentos), que están ligados a la temperatura del aire en movimiento y a los cambios de fase del agua: sublimación (pasaje del agua sólida al vapor de agua, que representa una pérdida de energía) y condensación (pasaje del

vapor de agua al agua líquida o sólida, que representa un aporte de energía).

En el trópico, a los 5.000 m o más, la energía radiativa de onda corta es el flujo claramente dominante debido a la poca inclinación de los rayos solares y a la densidad débil del aire, con una atmósfera cuya presión es al menos la mitad de la que existe a nivel del mar (~500 hPa¹²). El balance de onda larga es siempre negativo, ya que el glaciar pierde más de esta energía de lo que recibe, un déficit todavía más fuerte cuando la nubosidad diurna/nocturna es débil, como, por ejemplo, en temporada seca, con temperaturas de fin de noche que pueden alcanzar los -10° C. El flujo turbulento de calor sensible (transmisión del calor por el aire cuando hay viento) es poco importante, debido también a la densidad débil del aire, que no puede almacenar muchas calorías a esa altura. Por su parte, el flujo turbulento de calor latente, ligado a los cambios de fase del agua, puede ser importante cuando hay viento y cuando el aire no es saturado de humedad, que es generalmente el caso en las cumbres del Ecuador durante el periodo junio-agosto. Este flujo provoca una fuerte sublimación, la cual contribuye a la formación de penitentes¹³ de hielo sobre la superficie del glaciar. Sin embargo como la sublimación consume mucha energía (8,5 veces más que la fusión), la misma contribuye a disminuir la ablación y la temperatura del aire en los primeros centímetros de la superficie del hielo.

En el balance energético de la superficie del glaciar, lo que importa entonces es el balance de flujo de onda

corta. Si está elevado, quiere decir que la superficie absorbe la energía y que esta energía va a la fusión. Si es pequeño, quiere decir que la mayor parte de esta energía que viene del sol se refleja y vuelve a la atmósfera. Este balance depende del albedo, es decir, del poder reflexivo de la superficie del glaciar, lo cual depende, a su vez, de su color: con un color gris (presencia de polvo o de ceniza), el glaciar absorbe entre 40% y 60 % de esta energía; con un color muy blanco, como después de una nevada, el glaciar puede reflejar hasta el 90% de esta energía. Por lo tanto, el albedo es un factor clave que controla la fusión.

Ahora bien, ¿cómo puede deteriorarse el albedo? Lo más frecuente es por falta de nevadas, sea porque predomine un tipo de tiempo seco, con fuerte sol, durante el cual se precipitan en la superficie del glaciar aerosoles orgánicos o minerales, sea porque las precipitaciones caen en forma líquida (lluvia, nieve a temperatura de fusión, granizo mojado). Se ve, entonces, que la temperatura atmosférica interviene: temperaturas demasiado elevadas (más de -1° C) dificultan la existencia sobre el glaciar de un manto de nieve continuo y durable a fuerte albedo. La importancia de la subida de la temperatura en el balance de energía interviene más a través del albedo que provocando directamente la fusión por contacto del hielo con el aire del ambiente (flujo de calor sensible).

En el Ecuador, como efecto del aumento de la temperatura atmosférica desde hace algunos decenios, es significativo ver que los cerros ubicados a los 4.700-4.900 m, que hace



Los glaciares Humboldt, en la cara sur del Chimborazo, cubiertos de ceniza en octubre de 2006, después de la violenta crisis eruptiva del Tungurahua, en agosto. Es indiscutible que la ceniza, al modificar el albedo, ha acelerado la recesión de los glaciares de este nevado y del Carhuayrazo.

Bernard Francou

150 años llevaban glaciares (el Corazón, el Pichincha, el Sincholagua, el Cotacachi, etc.), cada vez tienen menos posibilidades de mantener un manto de nieve más de una semana en su cumbre. Solo los nevados de más de 5.000 o 5.100 m tienen esta capacidad.

Consideramos, entonces, que el desplazamiento del límite de la nieve/lluvia es el factor principal de la subida en altura de la zona de equilibrio de los glaciares en el Ecuador. No existe evidencia de que las precipitaciones hayan disminuido en la altura, pero este factor del clima merece estudios más completos.

¿Qué se sabe de la evolución actual de las precipitaciones y de las temperaturas en la altura de los glaciares?

En realidad, poco, pues las estaciones meteorológicas que se encuentran a más de los 4.000 metros son escasas, y las que existen funcionan desde solamente unos 10 años. Sin embargo, un estudio reciente de climatólogos norteamericanos que utilizaron datos de una larga muestra de estaciones ubicadas en los Andes centrales entre el 1°N y el 23°S y a una altura inferior a los glaciares ha demostrado que la temperatura ha aumentado desde mediados de los años 70 en $\sim 0,34^\circ$ por decenio. A este ritmo, el límite al cual las precipitaciones de líquidos se vuelven sólidas hubiera podido subir unos 100 metros en 30 años¹⁴. Acerca de la tendencia pluri-decenal de los montos de precipitación anuales, ninguna conclusión clara es posible actualmente

para la parte alta-andina (4.000 m y más arriba) debido a la escasez de estudios y la falta de datos confiables. Según estudios basados sobre simulaciones climáticas numéricas, la tendencia de las precipitaciones debería aumentar en la parte ecuatorial de los Andes, pero las observaciones demuestran solo una variabilidad muy grande de un año a otro.

Concluimos, entonces, que en el Ecuador el aumento de la temperatura atmosférica y su efecto sobre la altura del límite nieve/lluvia debe ser, por su efecto sobre el deterioro del albedo, la causa más probable de la subida de la línea de equilibrio de los glaciares, así como de su recesión. Sin embargo, en el estado actual de la investigación, no se puede excluir el efecto de la variación de la precipitación, en cuanto a su frecuencia y a los montos acumulados sobre los glaciares, pero este efecto no puede ser correctamente apreciado por falta de datos.

El rol del Pacífico

Estos últimos años hemos logrado relacionar la evolución de los glaciares de los Andes centrales con la temperatura superficial del centro del Pacífico ecuatorial (Francou y otros, 2003-2004). Por ejemplo, cada vez que en esta región (denominada Niño-4 y ubicada a los alrededores de la Polinesia francesa) sucede una anomalía positiva de temperatura (con un mar más cálido), la ablación aumenta muy significativamente sobre el glaciar del Antisana. Al inverso, cuando esta anomalía es negativa (temperatura del mar más fría),

la ablación disminuye y el glaciar se acerca al equilibrio. La respuesta de los glaciares del Ecuador a esas anomalías del Pacífico ocurre después de un lapso de tiempo óptimo de tres meses. Cuando la anomalía de temperatura superficial del Pacífico ecuatorial pasan un cierto umbral, llegamos a situaciones conocidas como fenómenos El Niño (Pacífico anormalmente cálido) o La Niña (Pacífico anormalmente frío). Los glaciares, cuyas respuestas al clima son inmediatas — como el glaciar Antisana 15—, están así afectados por El Niño/La Niña: su lengua terminal avanza o retrocede después que estos eventos ocurren. En el caso del glaciar Antisana 15, La Niña de 1999-2000 interrumpió una secuencia de varios años de retroceso, en parte debidos a eventos El Niño largos o fuertes, y provocó un avance espectacular y casi inmediato de unos 40 metros en dos años.

Delimitar cuáles han sido los roles respectivos del Pacífico ecuatorial y del proceso de recalentamiento atmosférico a nivel mundial en el retroceso de los glaciares de los Andes ecuatorianos de esos últimos decenios no es fácil. Es un hecho que la aceleración del retroceso de los glaciares coincidió, aquí como en los otros macizos de los Andes centrales, con la tendencia al recalentamiento marcado que mostró el planeta a partir de los años 70; y que, igualmente, los fenómenos El Niño han sido más frecuentes a partir de 1976, incluyendo los eventos muy fuertes de 1982-1983 y 1997-1998, y el muy largo de 1991-1995.

Al contrario, el periodo precedente (1947-1975) había sido marcado por una temperatura global más fría, así como también por un Pacífico ecuatorial más frío y marcado por eventos fríos (La Niña) predominantes. Según algunos estudios, la contribución del Pacífico al recalentamiento de los Andes centrales podría haber sido de 50% o más. Lo restante se debería al aumento de la temperatura global. Sin embargo, cabe notar que no es cosa simple delimitar la contribución del Pacífico a la evolución del clima mundial. Sabemos que este océano y sus variaciones periódicas (El Niño-Oscilación Sur) tienen amplias repercusiones a nivel global.

Los glaciares observados en Perú y en Bolivia

Los estudios recientes hechos por el IRD y sus contrapartes nacionales a nivel de los Andes tropicales han demostrado que lo que ocurre en el Ecuador se produce también en los otros macizos donde glaciares han sido monitoreados. Los glaciares de la Cordillera Real de Bolivia, los de la Cordillera Blanca del Perú y los de Colombia muestran la misma tendencia. Sin que existan inventarios actualizados de glaciares en estas regiones, podemos estimar, por referencia a estudios particulares, que un promedio del 30% de las áreas de glaciares han desaparecido estos últimos treinta años. Sin embargo, esta cifra puede cambiar en función de los macizos. Los glaciares que están ubicados a menos de 5.400 m —Chacaltaya y Charquini en Bolivia, Bro-

¹⁴ Se trata de una evaluación muy aproximativa. No se descarta que este límite haya podido subir más.

¹⁵ Es a decir entre 1,1 y 1,2 metros de hielo.

ggi, Yanamarey y Pastoruri en el Perú, y el Carihuairazo en el Ecuador, para citar los que han sido objeto de estudios seguidos— están por desaparecer con pérdidas de espesor de un promedio de más o menos un metro de agua por año¹⁵. Como son glaciares que han perdido su zona de acumulación permanente, su evolución depende del valor promedio de la ablación anual y de la reserva de hielo existente.

Pocos glaciares de este tipo tienen más de 16-20 metros de espesor promedio, lo que significa que podrían desaparecer, al ritmo actual de su déficit acumulado, en un plazo de 10 a 20 años. Chacaltaya, en Bolivia, que tenía un espesor máximo de 15 metros en 1998, se ha fraccionado en varios pedazos para el 2004. Esos pedazos se habrán acabado totalmente dentro de dos o tres años. El Carihuairazo conocerá la misma evolución, así como los glaciares de la caldera del Altar y del Iliniza Sur.

En cuanto a los glaciares que se extienden sobre un rango de altitud más amplio y tienen una zona de acumulación importante a más de 5.100 m, podemos esperar una respuesta diferente, aunque tienen que reajustarse a la subida de su línea de equilibrio con una reducción de su área. Con el clima actual, esos glaciares “grandes” pierden, desde algunos decenios, un promedio de 0,4 a 0,6 m de agua cada año (más o menos la mitad de las pérdidas de los “pequeños”). Según el clima actual se mantenga sin cambiar o la tendencia al recalentamiento siga o se acelere, esos glaciares podrían persistir varios decenios más. Para saberlo, habría que conocer

la tendencia climática que nos espera en el futuro —lo cual pueden proporcionar los modelos climáticos bajo la forma de escenarios posibles a nivel regional— y proceder a una modelación de la respuesta dinámica de dichos glaciares al reajuste progresivo de su línea de equilibrio impuesto por dicha tendencia climática. Eso, sin embargo, requiere de una base de información glaciológica que no existe todavía sobre ningún glaciar de los Andes. Por lo tanto, toda clase de especulación o de declaración perentoria que repercuta la prensa sobre la desaparición de los glaciares dentro de tal o cual lapso de tiempo no tiene base científica.

Con todo, es evidente que la simple extrapolación de la tendencia climática de los últimos treinta años a los próximos decenios es fatal para muchos glaciares, particularmente para los pequeños, lo cuales son los más desequilibrados respecto al clima actual.

Lo más importante para saber el futuro de nuestros glaciares y el impacto que podría tener su reducción sobre el recurso agua es mantener y al mismo tiempo ampliar las redes de observación existentes sobre ellos. Solo este tipo de bases de datos pueden permitir desarrollar los análisis y simular el futuro que nos espera en un mundo más cálido.

Agradecimientos:

A Eric Cadier, que dirige actualmente el programa GREAT ICE para el IRD en el Ecuador. También a Bolívar Cáceres, responsable de las mediciones de balance de masa, y Luis Maisincho, responsable del programa de meteorología sobre los glaciares; ambos, ingenieros en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, en Quito.

Referencias y lecturas adicionales:

- Cáceres, B., Francou, B., Favier, V., Bontron, G., Maisincho, L., Tachker, P., Bucher, R., Taupin, J.D., Delahcuax, F. & Chazarin, J.P., “El glaciar 15 del Antisana. Diez años de investigaciones glaciológicas”, en *Proceedings of the First International Conference on the Impact of Climate Change on High Mountain systems*, Bogotá, 2007, pp. 63-74.
- Cadier, E., & otros, “Segunda campaña de mediciones de los glaciares del Cotopaxi”, en *Informe Proyecto DIPECHO CAFOD CRS, IRD, IG-EPN, CECS*, Quito, abril del 2007.
- Favier, V., Wagnon, P., Chazarin, J.P., Maisincho, L. & Coudrain, A., “One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes”, en *Journal of Geophysical Research*, 109, D18105, doi:10.29/2003JD004359, 2004.
- Francou, B., Cáceres, B., Gómez, J. & Soruco, A., “Coherence of the glacier signal throughout the tropical Andes over the last decades”, en *Proceedings of the First International Conference on the Impact of Climate Change on High Mountain systems*, Bogotá, 2007, pp. 87-97.
- Francou, B. & otros, “Método de observación de glaciares en los Andes tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos”, Documento CD-pdf Great Ice, 2004, 240 pp.
- Francou, B. & Vincent, C., *Les glaciers à l'épreuve du climat*, IRD Editions y Editions Belin, Paris, 2007, 274 pp.
- Francou, B., Vuille, M., Favier, V. & Cáceres, B., “New evidences of ENSO impacts on glaciers at low latitude: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'”, en *Journal of Geophysical Research*, 109, doi: 10.1029/2003JD004484, 2004.
- Francou, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J. & Sicart, J.E., “Tropical climate change recorded by a glacier of the central Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S”, en *Journal of Geophysical Research*, 108, D5, 4154, doi: 10.1029/2002JD002959, 2003.
- Hastenrath, S., *The Glaciation of the Ecuadorian Andes*, A.A. Balkema, Brookfield, Vt, 1981, 173 pp.
- IPCC-WGI, *Fourth Assessment Report, Contribution of the working group 1. Summary for Policymakers*, UNESCO, Paris, febrero del 2007 (<http://www.ipcc.ch>).
- Jordan, E., Ungerechts, L., Cáceres, B., Peñafiel, A. & Francou, B., “Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997”, en *Hydrological Sciences/Journal des Sciences Hydrologiques*, IAHS, 50, n°6, 949-961, 2005.

El IRD (Institut de Recherche pour le Développement), a través de su programa Great Ice (Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude), inició, en 1991, con varias instituciones andinas nacionales, la construcción de una red permanente de observación de glaciares que abarca actualmente 12 glaciares de los Andes tropicales, entre Bolivia y Colombia. Esta red está relacionada al sistema de observación francés de glaciares GLACIOCLIM, que incluye el monitoreo de glaciares en los Alpes (Francia), en el Himalaya (Garwhal, India) y en la Antártica (Terre Adélie, Dôme C).