

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

LOS GLACIARES: DINÁMICA Y RELIEVE

Glaciers: dynamic and morphology

M^a José Rubial (*)

RESUMEN

Se definen los glaciares como agentes de gran eficacia en el modelado del relieve describiendo su génesis y funcionamiento. Se clasifican atendiendo a su fisonomía y confinamiento al relieve estableciendo más de una docena de subtipos. Se describe el modelado asociado a la dinámica glacial (circos y valles glaciares, hombreras, horns, cubetas de sobreexcavación y formas menores) así como los depósitos generados (definiendo las distintas tipologías de till y de las acumulaciones morrénicas). Finalmente se sitúa el fenómeno glacial en el marco de la glaciación cenozoica y el momento presente.

ABSTRACT

A glacier is an accumulation of ice and snow, originating on land, that moves under its own weight under gravitational force. They are highly effective at transporting sediment. A simple description of the origin of glacial ice and its motion is given. Glaciers can be classified according to their size, morphology and underlying topography. Various geomorphological features and deposits are associated with these dynamic systems: cirques; glacial valleys; horns; moraines; and tills. The glacial phenomenon is considered within the present context of the cenozoic glacial cycle.

Palabras clave: Glaciar, funcionamiento, estructura y clasificación de glaciares.

Keywords: Glacier, mechanics, structure and classification of glaciers.

FORMACION Y MOVIMIENTO DE LOS GLACIARES.

Los glaciares son agentes que modelan el relieve con gran eficacia. Se originan por acumulación de nieve y su posterior transformación en hielo glacial en aquellas zonas donde la cantidad de nieve caída en los períodos invernales supera a la nieve derretida en los períodos cálidos.

Constituyen masas naturales de hielo que fluyen como consecuencia de su propio peso, salvo en el caso de los glaciares muertos (*stagnant ice*) en los que el flujo está detenido. El hielo de la mayoría de los glaciares se mueve a una velocidad variable y, al hacerlo, modifica el relieve erosionándolo o depositando sedimentos.

El hielo glacial se forma por varios procesos, sobre todo, como ya se ha dicho, por compactación de nieve procedente de precipitación atmosférica (figura 1). Además, se incorpora al glaciar nieve procedente de las vertientes adyacentes (de las que puede caer por gravedad) y hielo formado por congelación de agua (superficial o subterránea) o sublimación de vapor de agua (aunque éste es un proceso muy raro). De igual forma, el glaciar puede per-

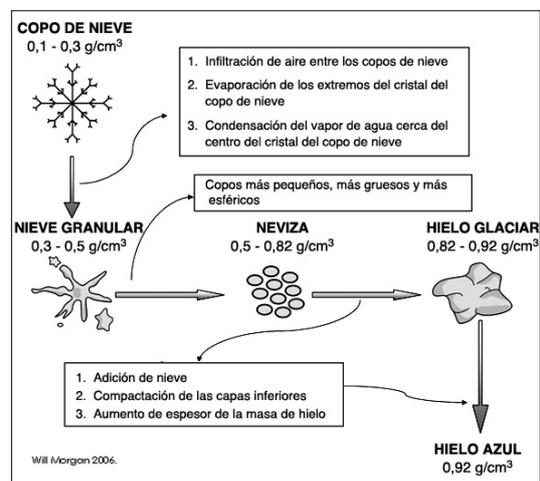


Fig. 1. Proceso de formación del hielo glacial.

der masa, esencialmente por fusión del hielo o por ablación eólica; porque los otros fenómenos gravitacionales o climáticos (como la sublimación) son igualmente insólitos.

(*) Departamento de Geología. Universidad de Alcalá. 28871, Alcalá de Henares, Madrid. WorleyParsons Komex . C/ Maestro Turina 24; 28290 Las Matas, Las Rozas de Madrid. E-mail: mariajose.rubial@worleyparsons.com

La diferencia entre la incorporación total de hielo a un glaciar (entradas o input) y las pérdidas de hielo (output) se denomina Balance Anual de Masa (BAM). Si este es positivo, el glaciar aumentará de tamaño y retrocederá (disminuirá de tamaño) si es negativo. En realidad se puede hacer un balance anual en cualquier punto del glaciar, de forma que, en la mayoría de los glaciares pueden distinguirse una zona de balance positivo (o zona de acumulación) y otra de balance negativo (o zona de ablación). Además la variación del BAM a lo largo de un glaciar (el Gradiente del Balance Anual de Masa, GBAM) es el motor del funcionamiento de un glaciar (figura 2).

El flujo del hielo glaciar depende de la gravedad pero, a diferencia de lo que ocurre en los ríos, ésta actúa esencialmente a través de la presión del hielo glacial o, más concretamente, de la presión diferencial que ejerce el hielo entre las zonas de acumulación y ablación. Cada año la zona de acumulación aumenta su masa y por tanto, aumenta la presión a la que está sometido el hielo. En el mismo periodo de tiempo la zona de ablación disminuye su volumen y, con ello, disminuye la presión a la que está sometido el hielo. Como consecuencia, se produce un flujo desde las zonas de acumulación hacia las de ablación, empujado por la diferencia de presión (figura 3).

Estas condiciones hacen de los glaciares unos sistemas bastantes especiales. Al ser la presión dife-

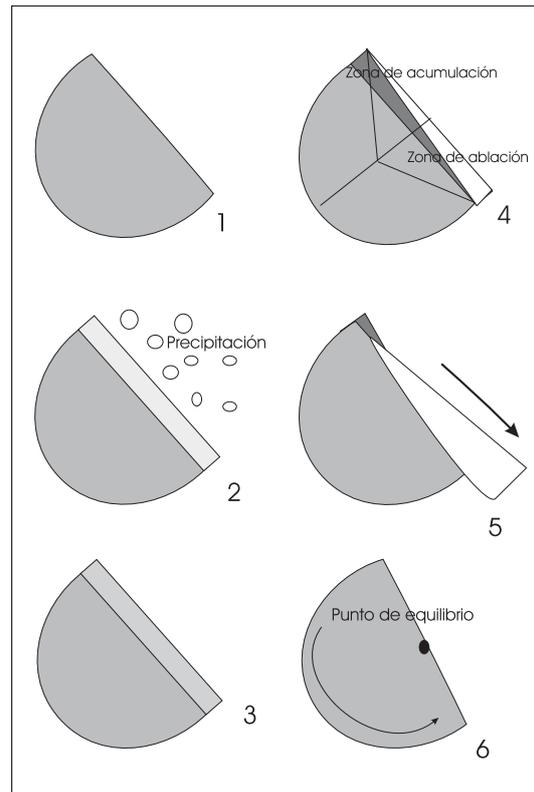


Fig. 2. Balance de masas en un glaciar.

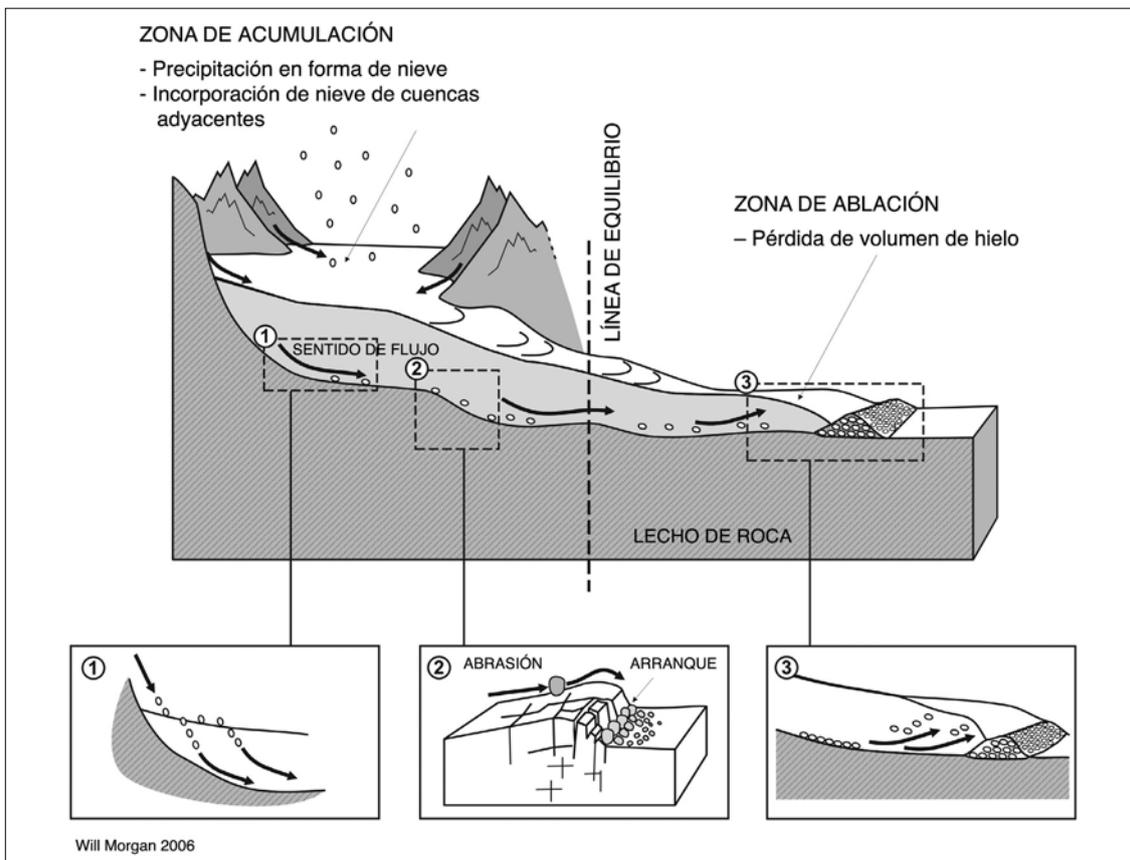


Fig. 3. Dinámica de un glaciar: 1. Caída de sólidos dentro de la masa de hielo. 2. Abrasión y arranque. 3. Sedimentación. Formación de morrena central.

rencial la causa del movimiento, éste se parece más al de la pasta dentífrica, empujada fuera del tubo, que al de un río, siempre fluyendo hacia abajo. Gracias a esto, el flujo glaciar puede remontar obstáculos del suelo, los sedimentos que se incorporan al glaciar pueden seguir varias rutas y los relieves modelados pueden adoptar formas muy características.

TIPOS DE GLACIARES

Como se ha señalado, el movimiento de un glaciar depende de las propiedades físicas del hielo y de los rasgos morfológicos de la zona en donde se sitúa la masa helada. Las principales clasificaciones de los glaciares se han realizado atendiendo a ambos parámetros. Así, existen clasificaciones geofísicas (según temperatura del hielo o presencia de agua en el interior de los aparatos) y geomorfológicas. Estas últimas dividen a los glaciares según su fisonomía y relaciones dinámicas con el relieve circundante. Así, cabe distinguir:

Glaciares de casquete. Conforman los más grandes glaciares individuales del planeta. No presentan confinamiento al relieve y se localizan en las regiones polares y subpolares.

Casquetes polares o inlandsis (Ice sheet). Constituyen los grandes glaciares polares con extensiones superiores a los 50.000 Km² de superficie. No se confinan al relieve y presentan perfiles planos o ligeramente cóncavos del que pueden salir picos rocosos aislados denominados *Nunataks*. Groenlandia constituye un buen ejemplo de glaciar de casquete con una superficie de 1.726.000 Km².

Con morfologías similares o estrechamente ligados a los grandes glaciares de casquete cabe citar ciertos subtipos. Así, **los glaciares de plataforma o Ice shelf** son extensiones de un glaciar de casquete que penetran en el mar formando enormes superficies de hielo flotante como la Plataforma de Ross en la Antártida Occidental (Anguita *et al.*, 2006). No hay que confundirlos con los **glaciares marinos (banquise)** generados por la congelación del agua del mar. **Los domos (Ice dome)** son pequeños inlandsis (con menos de 50.000 Km² de superficie) por lo general localizados en las regiones subpolares. Por último, **los glaciares de meseta (Ice cap)** son inlandsis aún más pequeños instalados sobre altiplanicies por lo que presentan perfiles cupuliformes y flujo centrífugo como el glaciar Myrdals en Islandia.

Glaciares de montaña. Con flujo fuertemente controlado por el relieve, constituyen glaciares templados en los que el agua de fusión tiene un papel activo en el flujo glaciar.

Los llamados **Campos de hielo o ice field** son el tipo más grande y representan la colmatación por parte del hielo de macizos montañosos por coalescencia de múltiples formas menores como lenguas glaciares. Fuertemente confinados al relieve, son glaciares complejos como muchos localizados en las cadenas montañosas del Sur de

Alaska. **Los monteras de hielo**, de perfil cóncavo puede considerarse la culminación de un ice field. Cuando el relieve tiende a formas de meseta presenta similitudes con los ice cap.

Otro tipo que representa la colmatación por parte del hielo de un macizo montañoso son **los glaciares de piedemonte** generados por lenguas glaciares que al salir de los valles que los confinaban se expanden formando extensas llanuras heladas al pie de la cadena. El glaciar de Malaspina en Alaska es el mejor ejemplo.

De valle o alpino. Constituye la forma más común de glaciar de montaña. Posee una cuenca de alimentación con forma de circo y lengua ocupando los valles de los más altos macizos. Pueden ser complejos por confluencia de varios aparatos. Ejemplos: La Mer de Glace en los Alpes o el Baltoro en el Karakorum.

Glaciares de ladera. Constituyen una forma menor del tipo anterior presentando una corta lengua y menor capacidad. Ejemplo: Bossons en el macizo del Mont Blanc.

De circo. Confinados a la cuenca de alimentación. Por tanto, no poseen lengua y muchas veces representan los últimos episodios en macizos progresivamente deglaciados. La mayoría de los actuales glaciares pirenaicos.

Existen, por último, numerosos subtipos de glaciares de montaña por lo general residuales o claramente mixtos con otras dinámicas. Así, **los glaciares rocosos** que cabe considerarlos como extensos derrubios de gelifración empastados en hielo y por tanto con flujo. En estrecha relación con los rocosos, **los glaciares negros** que, por lo general, constituyen glaciares “normales” -blancos- de valle cubiertos por una densa capa de detritos. Los glaciares regenerados que medran en bordes escarpados y se rompen produciendo continuas avalanchas que hacen regenerar el glaciar a pie de pared. Los ya citados **glaciares muertos (stagnant ice)** sin flujo. Y muchos más dada la complejidad del relieve en las grandes cadenas montañosas y la variabilidad latitudinal de éstas.

MODELADO GLACIAR: FORMAS EROSIVAS Y DEPOSITOS.

Un glaciar erosiona incorporando sedimentos sueltos (entrainment) a su masa de hielo, arrancando bloques de roca de su fondo (plucking), desgastando las rocas de la base mediante la fricción con los bloques transportados (abrasión) e incorporando sedimentos que caen de las laderas. Los sedimentos pueden llegar así a la base o la superficie del glaciar y desde allí viajar hacia zonas más profundas o volver a la superficie. Casi todas las combinaciones son posibles y, por ello, los sedimentos glaciares muestran tanta variedad de formas y características como los relieves modelados por la erosión glaciar.

Los sedimentos glaciares reciben el nombre ge-

nérico de till y pueden clasificarse por el medio en que se encontraban cuando el glaciar dejó de transportarlos y el proceso por el que dejó de hacerlo. Pueden distinguirse así depósitos subglaciales (depositados cuando se encontraban en la base del glaciar), englaciales (depositados cuando estaban en el seno del hielo) y supraglaciales (cuando se depositaron desde la superficie del hielo). Los mecanismos de sedimentación pueden ser la fusión de hielo y el abandono de sedimentos (lodgement), aunque otros fenómenos de flujo y de deformación por el movimiento del hielo pueden modificar sedimentos. En conjunto, el cuadro que sigue incluye todos los tipos de sedimentos.

vertientes verticales y subverticales. Destacan dentro de los circos otras formas menores como las hombrecas, inflexión en las paredes del circo que nos marca el límite del hielo; y las agudas crestas alpinas cuando en un macizo montañoso se oponen dos circos con activos procesos de retroceso de su cuenca. Finalmente, las agujas o horns, culminaciones de los macizos intensamente glaciados, en las reuniones de varias crestas. También y, al fondo de los grandes circos, las cubetas de sobreexcavación glaciar moldeados por el hielo y que, al desaparecer éste, favorecen la formación de las lagunas de montaña. A una escala aún menor, cabe nombrar a las rocas aborregadas y los pulidos, estrías y acanaladuras por todo el fondo del circo.

Mecanismos de erosión	Ambiente glacial	Mecanismos de sedimentación			
		Primarios		Secundarios	
		Fusión	Lodgement	Flujo	Deformación
Fenómenos de vertientes <i>Entrainment</i> Abrasión <i>Plucking</i>	Supraglacial	Till supraglacial de fusión		Till Secundario supraglacial de flujo	
	Englacial	Till englacial de fusión		Till secundario englacial de flujo	Till secundario englacial de deformación
	Subglacial	Till subglacial de fusión	Till subglacial de lodgment		Till secundario subglacial de deformación

Todos estos sedimentos dan lugar a varias formas de relieve. Desde el punto de vista geomorfológico, los mismos sedimentos o till reciben el nombre genérico de morrenas. Éstas se clasifican en función de su geometría, su génesis y la posición que ocupan respecto al hielo glaciar. Aunque hay clasificaciones más complejas, basta con indicar los principales tipos y su proceso de formación dominante:

El rasgo morfológico dominante de los valles glaciares es su perfil transversal característico en “U”. El hielo, erosionando los valles torrenciales previos (de perfil característico en “V”), los moldea hasta que adquieren una geometría propicia al flujo del hielo. Su perfil longitudinal es quebrado por la existencia de cubetas al estilo de las definidas para los circos y su lecho rocoso se cubre igualmente de pulidos, estriaciones y rocas aborregadas.

	Empuje o avance	Estabilización	Fusión
Periféricas (frontales, laterales y centrales)	SI	SI	NO
De fondo	SI	SI	SI
Supra y englaciares	NO	NO	SI

El relieve generado por los glaciares, sobre todo de montaña, conforma uno de los paisajes más universales y conocidos. Es un relieve de gran vigor en donde los contrastes altimétricos son enormes.

Entre los relieves generados por el hielo, destacan los circos y los valles. Los circos constituyen las cuencas de alimentación de los glaciares. Por erosión de éstos y combinado con intensos procesos de crioclastia, estas cuencas tienen forma de anfiteatro con

LA GLACIACIÓN CENOZOICA

Estos procesos generados por el fenómeno glaciar es posible observarlos debido a que nos hallamos inmersos en lo que se denomina una era glaciar, la era glaciar cenozoica. La historia climática de la Tierra pasa por episodios cálidos -el Carbonífero, el Jurásico- de gran duración y otros fríos que determinan la formación y el desarrollo de grandes glaciares

latitudinales y de montaña. Estos episodios llamados eras glaciares se han repetido a lo largo de la historia y se tiene constancia de, al menos, seis crisis climáticas de este tipo. Las causas de estas eras frías no están claras aunque todos los autores admiten la aparente sincronía entre procesos orogénicos (formación de grandes cordilleras) y episodios glaciares. Igualmente, la distribución de mares y continentes que impidan o favorezcan corrientes marinas que determinen climas favorables o no al glaciario.

Por lo que respecta a la era glaciario actual, se tiene constancia de la existencia de episodios de frío severo llamados fases glaciares de duración aproximada en torno a los 100.000 años separados por cortos intervalos (de unos 15.000 años) de tiempo más benigno. Estas pautas obedecen a la conjunción de fenómenos orbitales que intensifican o disminuyen la insolación del planeta propiciando la repetición de fases. El establecimiento de una primera cronología se efectuó en los Alpes y se reconocían hasta cuatro fases glaciares (Gunz, Mindel, Riss y Würm) y una aún más remota, separadas por cortas fases interglaciares. Las investigaciones isotópicas en los hielos de Groenlandia y Antártida y otros estudios, han ampliado el número de fases frías hasta superar la veintena.

De cualquier modo, el último ciclo glaciario (Würm, aunque no exactamente sincrónico, en la cronología alpina), tuvo una enorme intensidad desarrollándose potentes glaciares de casquete sobre Norteamérica y Norte de Europa. El porcentaje de tierras emergidas cubiertas por el hielo alcanzó el 30 % de los continentes y el 50 % del territorio europeo. Aunque en la actualidad, el hielo cubra el 10 % de la superficie continental, las cifras anteriores justifican de por sí el estudio de los glaciares pues gran parte de los países templados tienen relieves directa o indirectamente relacionados con tal dinámica.

Además, en la problemática suscitada por el fenómeno denominado cambio climático, las oscilaciones glaciares son obviamente el marco de referencia obligado. Máxime cuando, si atendemos al calendario de lo sucedido hasta ahora y su periodicidad, la fase interglaciario termina ahora para dar paso a un nuevo episodio de frío extremo.

Agradecimientos:

Gracias a Will Morgan por el diseño técnico de las figuras.

BIBLIOGRAFÍA

Anguita, F., Renard, P., Diaz, C., Pérez de Heredia, L. y Álvarez, M. (2006) *La Península Antártica. Guía Geológica*. Brusi, D. (Editor). Monografías de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Serie Itinerarios, nº 3. AEPECT.

Embleton, C. Y King, C. A. M. (1975); *Glacial Geomorphology*. Edward Arnold. Pp. 573. Londres.

Gutierrez Elorza, M. (2001); *Geomorfología climática*. Ed. Omega. Pp. 642. Barcelona.

Pedraza Gilsanz, J. (1996); *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. Pp. 414. Madrid.

Strahler, A. N. Y Strahler, A. H. (1997); *Geografía Física*. Ed. Omega. Pp. 550. Barcelona.

Recursos en la red

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Cantabria-Enlaces de Geomorfología. Información teórica sobre glaciares.

<http://departamentos.unican.es/geourb/enlaces/enlacesgeomorfologia.htm>

Laboratorio de Glaciología. Información teórica sobre glaciares.

<http://www.glaciologia.cl/glaciario.htm>. ■