

JÖKULHLAUPS: RIADAS GLACIARES EN ISLANDIA

Jökulhlaups: Catastrophic Glacial Flows in Iceland

Miguel Angel de Pablo (*)

RESUMEN

La interacción entre glaciares y volcanes puede ser el origen de procesos considerados como fuentes de riesgo geológico ya que generan importantes pérdidas económicas y de vidas humanas. Éste es el caso de los jökulhlaups, o riadas glaciares, que frecuentemente se producen en Islandia. En este trabajo se describe el origen de los jökulhlaups así como algunos de los eventos de este tipo más importantes ocurridos en Islandia, una isla volcánicamente activa parcialmente cubierta por glaciares.

ABSTRACT

The interaction between glaciers and volcanoes can be the origin of geological processes that could be considered like geologic risk sources and the origing of important economic and human damages. This one is the case of the jökulhlaups, or glaciers flows, that frequently take place in Iceland. Here are described the origin of the jökulhlaups and some of the most important events happened in Iceland, an active volcanic island partially covered by glaciers.

Palabras clave: Riada, Glaciar, Volcán, Riesgos Geológicos, Inundaciones.

Keywords: Jökulhlaup, Glacier, Volcano, Geological Hazard, Flood.

INTRODUCCIÓN

En general, los glaciares son entendidos como grandes masas de hielo que se forman en zonas de climas fríos en donde la cantidad de nieve y hielo que se acumula en invierno es menor que la cantidad que se derrite durante el verano. En algunos casos, estas acumulaciones de hielo y nieve pueden desplazarse hasta algunos metros al año erosionando lentamente la superficie sobre la que se desplaza, y transportando una gran cantidad de materiales que acaban acumulándose en distintos lugares formando morrenas. Durante las épocas de deshielo se producen caídas de grandes bloques en los frentes glaciares, aparecen ríos corriendo por la superficie y bajo el glaciar, se forman lagos en la superficie, y las grietas se vuelven más numerosas. Es entonces cuando el glaciar parece salir de su letargo invernal y cobrar vida.

Sin embargo, esta idea general sobre la lenta dinámica de los glaciares puede verse fuertemente alterada cuando el glaciar se encuentra situado sobre una zona con elevada actividad geotérmica, como ocurre en algunas zonas volcánicas de los Andes o de Islandia. Es entonces cuando asociados a los glaciares se producen procesos rápidos e incluso catastróficos como son los lahares (como el que asoló la población colombiana de Armero en 1985) y las riadas glaciares (como las que destruyeron parte de las vías de comunicación, líneas telefónicas y eléctricas en la zona sur de Islandia en 1996), en las que se centra este trabajo.

Los jökulhlaups (término islandés para denominar a las grandes riadas procedentes de los glaciares) son procesos relativamente frecuentes que suelen acompañar a las erupciones volcánicas que tienen lugar en los volcanes cubiertos por los glaciares, y que han generado grandes pérdidas económicas y de vidas humanas en Islandia.

El estudio de los jökulhlaups islandeses no sólo es necesario para la prevención y predicción de los riesgos geológicos asociados, sino porque el entendimiento de estos procesos ayuda a comprender de forma más profunda la dinámica glaciar en éste y otros lugares del mundo, así como a interpretar de forma más precisa el registro geológico en otros lugares del mundo.

ISLANDIA: GLACIARES Y VOLCANES

Islandia constituye la parte subaérea (103.000 km²) de una meseta volcánica de 3000 metros de altura sobre el fondo oceánico. Se encuentra situada en el centro de la dorsal centro-atlántica a partir de la cual se separan las placas litosféricas Norteamericana y Euroasiática a un ritmo de unos dos centímetros por año desde hace 25 millones de años, aunque los materiales más antiguos de la zona emergida de Islandia no tienen más de 16 millones de años.

Esta corta historia geológica (Thordarson and Hoskuldsson, 2002) ha estado siempre relacionada con la actividad volcánica, pero también con los pro-

(*) Área de Geología. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. 28933 Móstoles, Madrid. España. E-mail: miguelangel.depablo@urjc.es

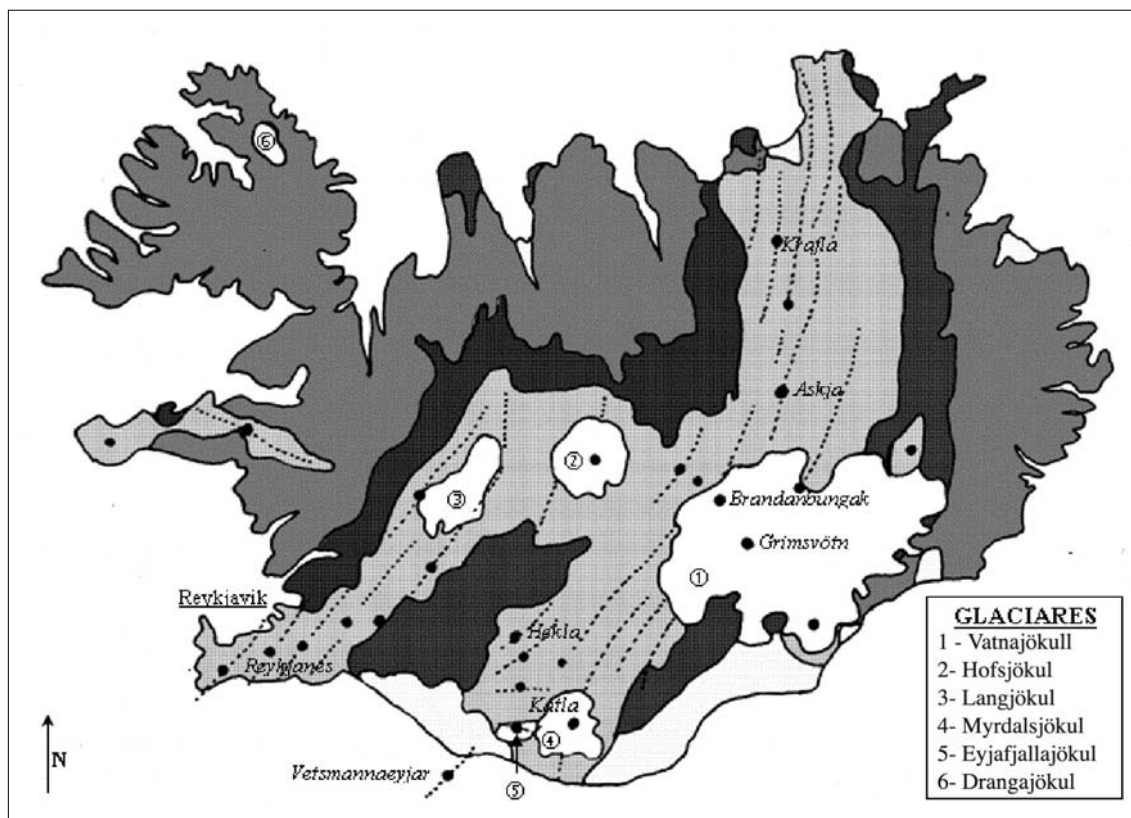


Fig. 1: Esquema geológico de Islandia y los glaciares más importantes que cubren las zonas volcánicamente activas de la isla.

cesos glaciares debido a las condiciones climáticas, ambientales y geográficas de esta isla. Así, la historia geológica de Islandia se divide en función de las épocas glaciares e interglaciares a la que estuvo sometida (Fig. 1). Durante el Plio-Pleistoceno (desde hace 3,3 millones de años hasta hace 0,7 millones de años) Islandia estuvo cubierta por grandes cantidades de hielo (de hasta 2000 metros de espesor) causados por el clima gélido impuesto en estas latitudes como consecuencia de la Era Glaciar en la que estaba envuelta la Tierra. Durante este periodo en Islandia se produjeron numerosas erupciones volcánicas subglaciares que dieron lugar a característicos relieves (denominados Móbergs en Islandia) formados principalmente por hialoclastitas y lavas almohadilladas (Fig. 2). En la parte superior de algunos de estos relieves también se formaron edificios volcánicos subaéreos cuando los materiales volcánicos alcanzaron la parte superior de los hielos glaciares. Durante el Terciario basal (desde hace 16 hasta 3,3 millones de años) y el Holoceno (desde hace 0,7 millones de años) predominaron las erupciones subaéreas formándose volcanes en escudo, estratovolcanes y grandes coladas de lava. Igual que en la actualidad, en los periodos interglaciares, en Islandia se produjeron numerosas erupciones subglaciares debido a que una parte importante de la isla se encontraba cubierta de hielos formando distintos casquetes y lenguas glaciares.



Fig. 2: Herdubreid, ejemplo de relieve volcánico formado por erupciones subglaciares y subaéreas. El límite entre ambos tipos de edificios marca la superficie del glaciar durante la erupción que lo formó.

En la actualidad, existen cuatro grandes masas glaciares en Islandia: Vatnajökull (con 8300 km²), Hofsjökull (925 km²), Langjökull (953 km²) y Myrdalsjökull (596 km²), así como otros glaciares de menores dimensiones (Fig. 1). Los glaciares cubren el 11 por ciento de la superficie actual de la isla, de los que el 60% se encuentran sobre edificios y fisuras volcánicas con actividad periódica o frecuente, y algunas de las zonas térmicamente más activas de la isla.

La interacción entre los volcanes y el hielo de éstos glaciares es la responsable de diversos fenómenos geológicos incluyendo las riadas glaciares que con una alta frecuencia se producen en Islandia.

JÖKULHLAUPS

El término islandés jökulhlaup es utilizado para referirse a grandes riadas procedentes de los glaciares y cuyo origen puede ser variado (Benn and Evans, 1998): 1) debido al drenaje repentino desde un lago glaciar causado por la apertura de una vía de escape. Este tipo de fenómenos ocurre frecuentemente en el glaciar Perito Moreno (Argentina) o el episodio catastrófico del lago Missoula (Estados Unidos); 2) debido al desbordamiento de lagos glaciares o 3) debido al crecimiento y colapso de lagos subglaciares, como los que frecuentemente han ocurrido en la región sur de Islandia.

Casi todos los casos en los que se han producido jökulhlaups en Islandia, han sido del tercer tipo, y han estado relacionados con eventos volcánicos bajo los glaciares, por lo que estos grandes flujos de agua arrastran gran cantidad de materiales volcánicos de distintos tipos. Sin embargo, no se suele denominar a estos eventos como lahares (consultar Francis (1994) para ver numerosos ejemplos de lahares y sus diferencias con los jökulhlaups).

Desde el inicio del Holoceno hace unos 10.000 años, el deshielo ha producido numerosos jökulhlaups en Islandia, pero también la actividad geotérmica y las erupciones volcánicas. Así, hace unos 2.500 años, la caldera del volcán Bardanbunga, situado en el extremo Noroeste del Vatnajökull, se encontraba cubierta por un gran espesor de hielo. Posiblemente debido a una erupción en éste volcán (Björnsson and Einarsson, 1991), se produjo un importante jökulhlaup en dirección Norte siguiendo el curso del río Jökulsá á Fjöllum. Con un pico de descarga de entre 400.000 y 1.000.000 m³/s (Knudsen and Russell, 2002), el jökulhlaup descargó más de 10 km³ de agua en la costa Norte de Islandia, a más de 170 kilómetros de distancia del glaciar. En el camino, el jökulhlaup produjo una importante erosión en las llanuras volcánicas, excavando un profundo cañón (por donde discurre el actual río Jökulsá á Fjöllum) formando grandes cascadas (como Detifoss, una de las cascadas más visitadas de Islandia) o dejando grandes barras de sedimentos aún reconocibles en numerosos puntos del cauce del río.

Aunque otros eventos de gran importancia tuvieron lugar en otros puntos de Islandia relacionados con otros glaciares y volcanes, éste jökulhlaup es uno de los más importantes conocidos en la Tierra, y ha sido utilizado en estudios comparativos con otros canales de Marte como Juventae Chasma o Maja Vallis (Chapman et al., 2003).

MYRDALSJÖKULL Y KATLA

Katla es el nombre que recibe el sistema volcánico Holoceno de origen fisural situado en la zona Sur de Islandia (Jakobsson, 1979), y formado por hialoclastitas y coladas de lava (Jóhannesson et al., 1990). Katla es también el nombre que recibe la caldera más importante de este sistema volcánico, de unos 110 km² (Larsen, 2000). Esta caldera se encuentra cubierta por el hielo del glaciar Myrdalsjökull (Fig. 3), pudiendo alcanzar hasta 400 metros de espesor en la parte central (Björnsson, 2002). El borde de esta caldera no es regular, sino que se encuentra erosionada en tres lugares desde donde descienden tres lenguas glaciares con dirección Sur, Este y Noroeste (Larsen, 2000).

Larsen (2000) resume la historia eruptiva de éste volcán del que se están documentadas erupciones desde el siglo XII, pero del que se sabe que ha tenido erupciones volcánicas desde antes del final de la última glaciación. Las erupciones típicas de Katla son explosivas de tipo hidromagmático acompañadas de importantes jökulhlaups formados por agua de la fusión del glaciar, hielo y materiales volcánicos arrastrados por la corriente. En general se trata de erupciones subglaciarias, aunque en ocasiones se han documentado nubes piroclásticas, como la de la última erupción del volcán en 1918 (Larsen, 2000). Durante las erupciones se produce la fusión de los hielos de Myrdalsjökull que cubren la caldera. Esto da lugar a la formación de un lago en el interior de la caldera de Katla y bajo la capa de hielos del glaciar, lo que provoca un incremento de la explosividad de la erupción. El nivel del agua en el lago continúa creciendo mientras dura la erupción hasta el momento que alcanza alguno de los puntos erosionados

Fig. 3: Áreas inundadas por los jökulhlaups procedentes de la caldera volcánica de Katia, situada bajo el glaciar Myrdalsjökull, en el Sur de Islandia.



del borde de la caldera. A partir de ese momento, el lago comienza a verter agua bajo la lengua glaciaria comenzando así los jökulhlaups, que en su mayoría han ocurrido por la vertiente Este del volcán.

Tal vez el evento de éste tipo más importante en tiempos históricos tuvo lugar durante la erupción de octubre de 1918, en el que se produjo un jökulhlaup que drenó el lago subglaciario de Katla por la vertiente Este bajo la lengua glaciaria (Fig. 3) a través de diversos canales, tal y como resume Larsen (2000). El jökulhlaup estaba formado por unos 8 km³ de agua y entre 0,7 y 1,6 km³ de materiales volcánicos, y con un caudal aproximado de hasta 300.000 m³/s (con un pico de descarga de 1.500.000 m³/s) que llegó a alcanzar velocidades de hasta 15 m/s, según Maizels (1997). Una vez que el agua alcanzó la llanura costera, saliendo bajo el glaciar, se extendió por un área de unos 400 km². Aunque la zona no se encontraba muy poblada, se produjeron importantes pérdidas económicas debido al deterioro de las vías de comunicación y algunas instalaciones en distintos asentamientos humanos, aunque no se produjeron víctimas.

VATNAJÖKULL Y GRIMSVÖTN

Con 8300 km², el Vatnajökull es el mayor glaciar continental de Europa. El espesor del hielo en algunos puntos alcanza los 600 metros en el interior de las calderas volcánicas que se encuentran cubiertas por el glaciar, como es el caso de Grimsvötn (Fig. 4), el volcán más activo de Islandia. Otros edificios y áreas volcánicas también se encuentran cubiertas por sus hielos, como es el caso de los volcanes Bardanbunga y Gjálp, constituyendo la zona volcánicamente más activa de la dorsal centro-atlántica bajo el glaciar. Vat-

najökull ha sido el origen de numerosas inundaciones catastróficas ocurridas en la costa Sur de Islandia debido a los deshielos provocados por la importante y frecuente actividad volcánica (Gudmundsson y Milsom, 1997). La última erupción volcánica en este glaciar tuvo lugar en Grimsvötn en Noviembre de 2004.

En realidad Grimsvötn es un sistema de calderas volcánicas subglaciares situadas en el centro del glaciar, y se han reconocido numerosas erupciones en los últimos 800 años (Larsen et al., 1998). Grimsvötn se caracteriza por contener un lago subglaciario mantenido por la importante actividad geotérmica del volcán. Este lago se vacía de forma periódica (con periodos de entre 1 y 10 años –Tabla 1) a través de distintos canales subglaciares y produciendo grandes inundaciones en la costa Sureste de Islandia (Björnsson, 1992; Gudmundsson et al., 1995). El mayor de los jökulhlaups ocurrido en tiempos históricos tuvo lugar en noviembre de 1996. La erupción volcánica bajo el glaciar se inició el 30 de septiembre de aquel año en la fisura volcánica denominada Gjálp, al Noreste de Grimsvötn. Durante esta erupción se fundió un gran volumen de hielo, que no circuló hacia el exterior del glaciar, sino que durante un mes el agua estuvo circulando bajo el glaciar hacia la cercana caldera del volcán Grimsvötn, creando un lago subglaciario en su interior (Gudmundsson et al., 1997). El volumen de agua en el interior del lago fue aumentando hasta sobrepasar los límites de la caldera subglaciaria, momento en el cual se produjo el inicio del flujo de agua para formar un jökulhlaup que comenzó a las 7:30 de la mañana del 5 de noviembre de aquel año y que alcanzó picos de descarga de hasta 53000 m³/s durante las 14 horas que duró. Además del agua drenada desde el lago subglaciario, grandes cantidades de agua se fueron sumando al flujo subglaciario debido a la fusión y colapso de los hielos que formaban las paredes y

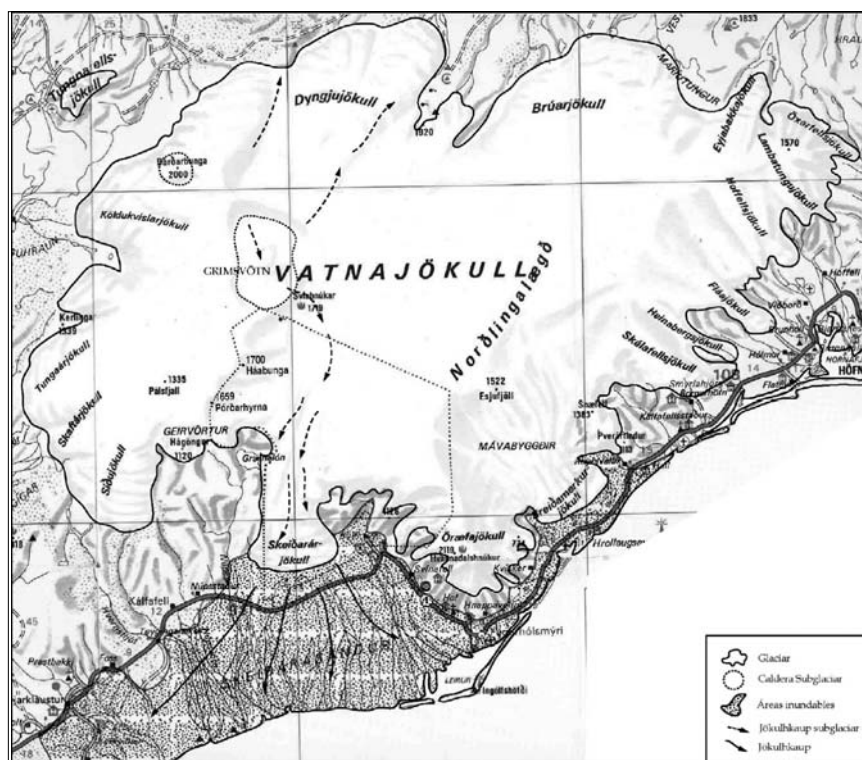


Fig. 4: Mapa del Vatnajökull donde se localizan algunas de las calderas volcánicas subglaciares como Bardanbunga o Grimsvötn. Numerosos jökulhlaups desde ésta última han producido la inundación de la costa Sur de Islandia (Tabla 1), como el ocurrido en 1996.

Año	Sistema Volcánico	Jökulhlaup						
900	Bárdarbunga		1720	Bárdarbunga		1887	Thórdarhyrna	Súla
905	Grímsvötn		1725	Grímsvötn	Skeiðará	1892	Grímsvötn	Skeiðará
940	Bárdarbunga		1726	Dyngjuhlíð	Jökulsá á Fjöllum	1897	Grímsvötn	
1000	¿?		1727	Oræfajökull	varios ríos	1902-1903	Dyngjuhlíð	Skjálftandafjöt, Jökulsá á Fjöllum
1060	Grímsvötn		1729		Jökulsá á Fjöllum	1903	Grímsvötn	Skeiðará, Súla
1080	Bárdarbunga		1739	Bárdarbunga		1903	¿?	Jökulsá á Bru
1159	Bárdarbunga		1753	Síðujökull	Djúpa, Hveristíflöt, Skettá	1910	¿?	
1354	Grímsvötn		1766	Bárdarbunga	Thjörðará	1922	Grímsvötn	Skeiðará, Súla
1332	Grímsvötn	Skeiðará	1768	¿?				Jökulsá á Fjöllum
1341	Grímsvötn		1769	¿?		1927	Eyjufjöll	Dreidamerkursandi
1362	Oræfajökull	varios ríos	1774	Grímsvötn	Skeiðará	1933	¿?	Skjálftandafjöt
1410	Bárdarbunga	Jökulsá á Fjöllum	1783	Grímsvötn - Laki	Skettá Thjörðará	1933	N-Grímsvötn	
1477	Bárdarbunga	Jökulsá á Fjöllum	1784-85	Grímsvötn	Núpsvötn Skeiðará	1934	Grímsvötn	Skeiðará, Súla, Skjálftandafjöt, Jökulsá á Fjöllum
1500	Grímsvötn		1794	W-Vatnajökull		1938	Grímsvötn	Skeiðará
1598	Grímsvötn		1797	NAV-Vatnajökull		1939	Grímsvötn	Skeiðará
1603	Grímsvötn		1807	NAV-Vatnajökull		1941	Grímsvötn	Skeiðará
1619	Grímsvötn		1816	Grímsvötn		1945	Grímsvötn	Skeiðará
1629	Grímsvötn	Skeiðará	1823	Grímsvötn-Thórdarhyrna		1954	Grímsvötn	Skeiðará
1638	Grímsvötn		1838	Grímsvötn	Skeiðará	1983	Grímsvötn	
1659	Grímsvötn	Skeiðará	1854	Grímsvötn		1984	Grímsvötn	
1681	¿?		1861	Grímsvötn	Skeiðará	1988	Laki	Skettá
1694-95	Grímsvötn		1862-64	Bárdarbunga		1996	Grímsvötn	Skeiðará Súla, Skjálftandafjöt, Jökulsá á Fjöllum
1697	Bárdarbunga	Skeiðará	1867	Grímsvötn	Skeiðará	1998	Grímsvötn	
1702	¿?		1872	Dyngjuhlíð				
1706	Bárdarbunga		1873	Grímsvötn	Skeiðará, Djúpa			
1707	Bárdarbunga		1883	Grímsvötn	Skeiðará			
1711-12	Bárdarbunga	Jökulsá á Fjöllum	1883	Grímsvötn	Skeiðará			
1716	Bárdarbunga	Jökulsá á Fjöllum						
1717	Bárdarbunga	Jökulsá á Fjöllum						

Tabla 1: Listado de erupciones volcánicas ocurridas en el glaciar Vatnajökull, Islandia, y las regiones que han sido afectadas por los jökulhlaups o riadas glaciares que han acompañado a algunas de ellas (ver localización en figura 3).

techo de los canales por los que circuló el agua bajo el glaciar. Esto hizo que el volumen total de agua descargada fuese de en unos 4 km³ (Björnsson, 2002). Aunque se esperaba el comienzo de este evento, la zona quedó arrasada debido a la fuerza de la riada, a los importantes volúmenes de roca, sedimentos, icebergs y bloques que fueron arrastrados por el agua. Como con-

secuencia de esto la zona quedó completamente arrasada (Fig. 5) y se produjeron grandes pérdidas económicas debido a la destrucción de las vías de comunicación (incluidos diques de contención y puentes previamente construidos para la protección de la carretera) y líneas de teléfono y corriente eléctrica, cuyos restos aún son visibles en la zona.

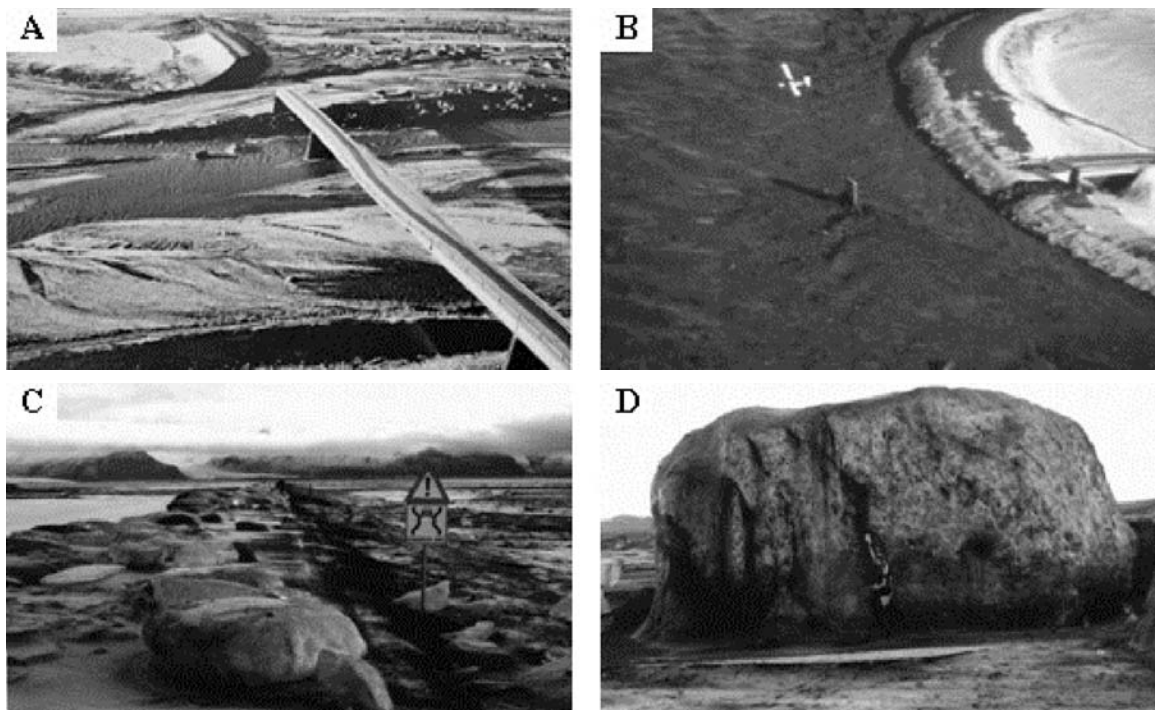


Fig. 5: Fotografías de la zona Sur de Islandia arrasada por el jökulhlaup en Noviembre de 1996. La carretera quedó cortada en varios puntos (A) y algunos puentes fueron completamente destruidos (B) por efecto de la corriente y los bloques de rocas arrastrados (C) y los icebergs arrancados (D) del glaciar (Fotografías: (A y B) H. Björnsson, 1996; (C y D) T. Thorsteinsson, 1997)

Tras la erupción de 1996, el lago bajo el Vatnajökull quedó prácticamente vacío, pero las erupciones de 1998 y 2004, así como los deshielos estivales y la continua y elevada actividad geotérmica en la zona han ido fundiendo el hielo del glaciar llenando de nuevo éste lago hasta desbordar la caldera del Grímsvötn a principios de agosto de 2005. Esto derivó en nuevos cortes en las vías de comunicación en la zona Sur de Islandia y algunas pérdidas económicas. Al momento de finalizar este trabajo, aún no se había hecho públicas las cifras finales de pérdidas económicas.

Durante la 'Expedición científica Grímsvötn 2005', llevada a cabo en junio de 2005, se pudo constatar que en la superficie del glaciar aún eran visibles las zonas deprimidas que marcan los canales subglaciares por los que circuló el agua durante el jökulhlaup del año 1996, así como las zonas de colapso debido al drenaje del lago subglaciar. Durante la expedición se realizaron distintos trabajos como la localización de antiguas y nuevas zonas de actividad geotérmica en Grímsvötn, la determinación de la velocidad de desplazamiento del glaciar, la cartografía del relieve subglaciar así como la medición del espesor de la capa de hielo mediante georadar, o la cartografía de la superficie del Vatnajökull mediante GPS. Todos estos trabajos están dirigidos al estudio de la geología y procesos glaciares que ayuden a prevenir, predecir y paliar futuros jökulhlaups procedentes de este glaciar, fuentes de riesgo geológico (Björnsson et al., 2003).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha mostrado como los glaciares son entornos geológicos en que se pueden producir determinados procesos muy dinámicos e importantes desde el punto de vista de los riesgos geológicos.

Cuando un gran volumen de hielo de un glaciar se derrite como consecuencia de la actividad geotérmica y/o volcánica, se pueden formar grandes lagos subglaciares. Cuando éstos se colmatan, el agua comienza a fluir bajo el glaciar hasta que salen de él arrastrando un importante volumen de rocas, bloques de hielo, y sedimentos. En ese momento se forman grandes riadas e inundaciones en los valles y llanuras que circundan los glaciares. Desde el punto de vista de los riesgos geológicos, estas riadas glaciares o jökulhlaups han producido importantes pérdidas económicas y de vidas humanas en Islandia.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del *Earth Sciences Institute* de la Universidad de Islandia y del *Nordic Institute of Volcanology* organizadores de la 'Expedición Científica Grímsvötn 2005' por su invitación a participar en la expedición, así como a los miembros de la *Glaciological Society of Iceland*, del *Landsvirkjun*, y a todos los voluntarios que colaboraron en diferentes tareas para que esta expedición fuese posible.

A Dr. A. Márquez y Dr. I. López por la lectura crítica del manuscrito. Este trabajo ha sido parcial-

mente soportado por una beca para formación de Personal Investigador de la Comunidad de Madrid (España), así como por una beca para la realización de estancias breves en centros de investigación extranjeros del mismo organismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Benn D.I. and Evans, D.J.A. (1998). *Glaciers and Glaciation*, Arnold. London 734.
- Björnsson, H. (1992). *Jökulhlaups in Iceland: prediction, characteristics and simulation*. *Annals of Glaciology*, 16. 95-106.
- Björnsson, H. (2002). *Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland*. *Global and Planetary Changes*, 35. 255-271.
- Björnsson, H., and Einarsson, P. (1991). *Volcanoes beneath Vatnajökull, Iceland: Evidence from radio-echo sounding, earthquakes and jökulhlaups*. *Jökull*, 40. 147-168.
- Björnsson, H., Pálsson, F., and Mahlmann, A. (2003). *Geophysical Research Abstracts*, 5. 11009.
- Chapman, M.G., Gudmundsson, M.T., Russell, A.J., and Hare, T.M. (2003). *Possible Juventae Chasma subice volcanic eruptions and Maja Valles ice outburst floods on Mars: implications of Mars Global Surveyor crater densities, geomorphology, and topography*. *Journal of Geophysical research*, 108. 5113. doi: 10.1029/2002JE002009.
- Francis, P. (1994). *Volcanoes: a planetary perspective*. Oxford University Press, New York. 443 p.
- Gudmundsson, M. T., Sigmundsson, F., and Björnsson, H. (1997). *Ice-volcano interaction of the 1996 Gjalp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland*. *Nature*, 389. 954-957.
- Gudmundsson, M.T. and Milsom, J. (1997). *Gravity and magnetic studies of the subglacial Grímsvötn volcano, Iceland. Implications for crustal and thermal structure*. *Journal of Geophysical Research*, 102. 7691-7704.
- Gudmundsson, M.T., Björnsson, H., and Pálsson, F. (1995). *Changes in jökulhlaups sizes in Grímsvötn, vatnajökull, Iceland, 1934-1991, deduced from in-situ measurements of subglacial lake volumen*. *Journal of Glaciology*, 41. 263-272.
- Jakobsson, S.P. (1979). *Petrology of recent basalts of eastern volcanic zone, Iceland*. *Acta Naturalia Islandica*, 26. 103 pp.
- Jóhannesson, H., Saemundsson, K., and Jacobsson, S.P. (1990). *Geologic map of Iceland, Sheet 6, South-Iceland*. Icelandic Museum of Natural History and Iceland Geodetic Survey, Reykjavik.
- Knudsen, Ó. and Rusell, A.R. (2002). *Jökulhlaup deposits at ásbýrgy, northern Iceland: sedimentology and implications of flow type*. *The extreme of extremes: Special Publication of the International Association of Hydrology*, 271. 9 pp.
- Larsen, G. (2000). *Holocene eruptions within the Katla volcanic system, south Iceland: Characteristics and environmental impact*. *Jökull*, 49. 1-28.
- Larsen, G., Gudmundsson, M.T., and Björnsson, H. (1998). *Eight centuries of periodic volcanism at the center of Iceland hotspot revealed by glacier tephrostratigraphy*. *Geology*, 26 (10). 943-946.
- Maizels, J. (1997) *Jökulhlaup deposits in proglacial areas*. *Quaternary Science Reviews*, 16. 793-819.
- Thordarson, T. and Hoskuldsson, A. (2002). *Iceland (Classic Geology in Europe, 3)*. Terra Publishing, England. 200 p. ■