

## Investigaciones en el glaciar Johnsons (Isla Livingston, Antártida) combinando técnicas sísmicas y de georradar

B. Benjumea<sup>(1)</sup>, F. Navarro<sup>(2)</sup>, Y. Macheret<sup>(3)</sup> y T. Teixidó<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut Cartogràfic de Catalunya, Parc de Montjuïc 08038 Barcelona, b.benjumea@icc.es

<sup>(2)</sup> ETSI Telecomunicación, UPM, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, fnv@mat.upm.es

<sup>(3)</sup> Inst. Geography, Rus. Acad. Sciences, 29 Staromonetny, 109017 Moscú, macheret2006@yandex.ru

<sup>(4)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Campus Universitario Cartuja, 18071 Granada, tteixido@iag.ugr.es

### Introducción

Este trabajo se centra en la combinación de dos técnicas geofísicas para la obtención de información glaciológica en un glaciar templado. En particular, se presentará el uso de métodos electromagnéticos (georradar-GPR) y técnicas sísmicas para el estudio del glaciar Johnsons (Figura 1) localizado en la isla Livingston (Shetland del Sur). Encontramos antecedentes de aplicaciones conjuntas de estas técnicas en glaciares fríos con el objetivo de reducir la incertidumbre en la determinación del espesor del hielo. Sin embargo, no se encuentran ejemplos de estudios de este tipo en glaciares templados donde la introducción de un componente más en el medio a estudiar (agua) complica en gran medida los procesos físicos y, por tanto, amplía el número de parámetros necesarios para el estudio de la evolución de este tipo de glaciares.

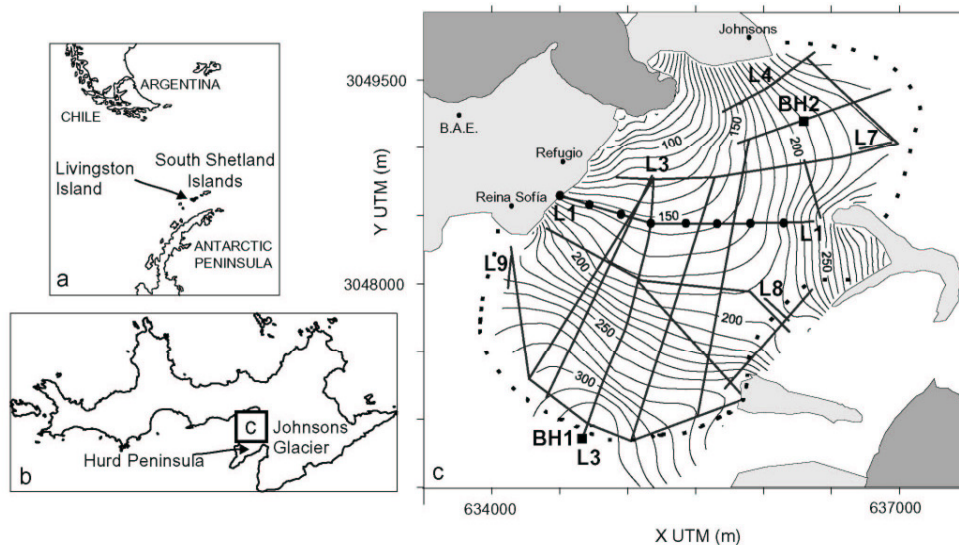


Figura 1. (a) Mapa de localización de la isla Livingston. (b) Localización de la Península Hurd y del Glaciar Johnsons en la isla Livingston. (c) Localización de los perfiles coincidentes de GPR y sísmica. Los puntos en L1 marcan los límites de las diferentes secciones de refracción que configuraron el perfil. Áreas en gris: afloramientos libres de hielo. Línea de puntos: localización de la línea divisoria del glaciar. Intervalo entre curvas de nivel: 10 m.

### Resultados

La presentación de los resultados se realizará en función del tipo de información obtenida.

a) Parámetros físicos del hielo

El cálculo de las velocidades de propagación de las ondas electromagnéticas y sísmicas (Benjumea et al., 2003) ha permitido establecer un rango de variación del contenido en agua del glaciar. Por un lado, los datos GPR establecen un contenido de agua entre 0.4% y 2.3% con una media de  $1.2 \pm 0.6\%$ . El rango de variación obtenido mediante la utilización de las velocidades sísmicas sería de 0.9% y 3.2% y una media de  $2.2 \pm 0.9\%$  de contenido de agua. Los valores derivados de los datos de sísmica son generalmente mayores que los establecidos con GPR. La causa de este hecho se encontraría en que la velocidad sísmica aumenta con la densidad mientras que la velocidad de las ondas electromagnéticas experimenta el efecto contrario. Por tanto, los contenidos en agua establecidos con ambos métodos deben entenderse como límites superior e inferior del rango real.

Las curvas velocidad sísmica-profundidad se han transformado a variación densidad-profundidad en la zona de acumulación del glaciar a partir de la relación establecida por Robin (1958). La Figura 2 muestra dos ejemplos de estas curvas junto con los valores de densidad calculados en uno de los sondeos realizados en el glaciar.

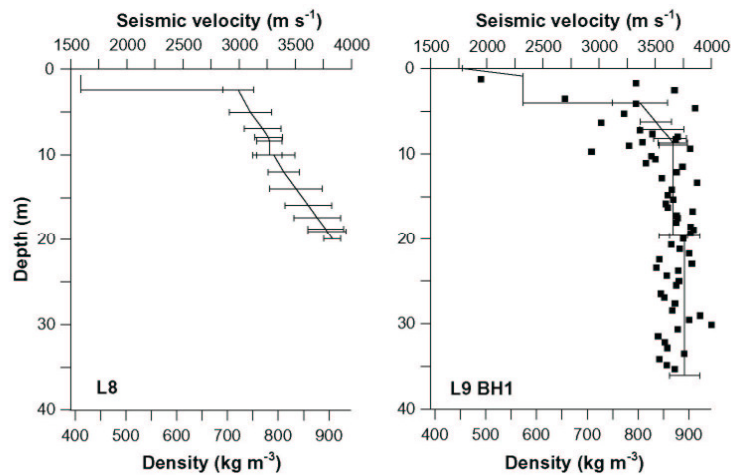


Figura 2. Curvas velocidad sísmica-profundidad y densidad-profundidad obtenidas para los perfiles L8 y L9. Las barras de error se han establecido para cada valor densidad-profundidad. Cuadrados: densidades medidas en el sondeo próximo a L9.

b) Espesor del hielo y topografía del basamento.

La comparación de los datos de GPR y sísmica proporciona información clave sobre la variación de la topografía del basamento. Los valores de espesor de hielo obtenidos con ambos métodos presentan diferencias  $< 10$  m en gran parte del glaciar. Existen sectores en la zona de acumulación donde los espesores del hielo establecidos mediante GPR y sísmica presentan una diferencia  $> 10$  m. Esto es debido a la influencia de la capa de neviza (*firn*) en la velocidad de las ondas electromagnéticas que actúa como una capa de alta velocidad incrementando el valor de la velocidad media obtenida y, por tanto, la profundidad calculada.

c) Estructura interna del glaciar.

Detección de grietas. Ambos métodos se muestran como herramientas adecuadas para la detección de grietas en la masa glaciar. La Figura 3 muestra una sección *common-offset* de los primeros 30 ms (a) así como una sección *common-receiver* (b) donde se han aplicado las correcciones necesarias para resaltar la energía de las ondas superficiales con propagación *back-scattered*. La comparación de ambas secciones pone de manifiesto la existencia de discontinuidades casi verticales que se interpretan como grietas. Por su parte, las grietas en la

sección GPR (Figura 3d) corresponden a grupos de hipérbolas que se extienden desde la superficie hasta > 40 m de profundidad. La interpretación combinada con los datos sísmicos permite discernir si las hipérbolas mostradas en la sección GPR son resultado de grietas o de otras discontinuidades en el hielo (e.g. inclusiones de agua).

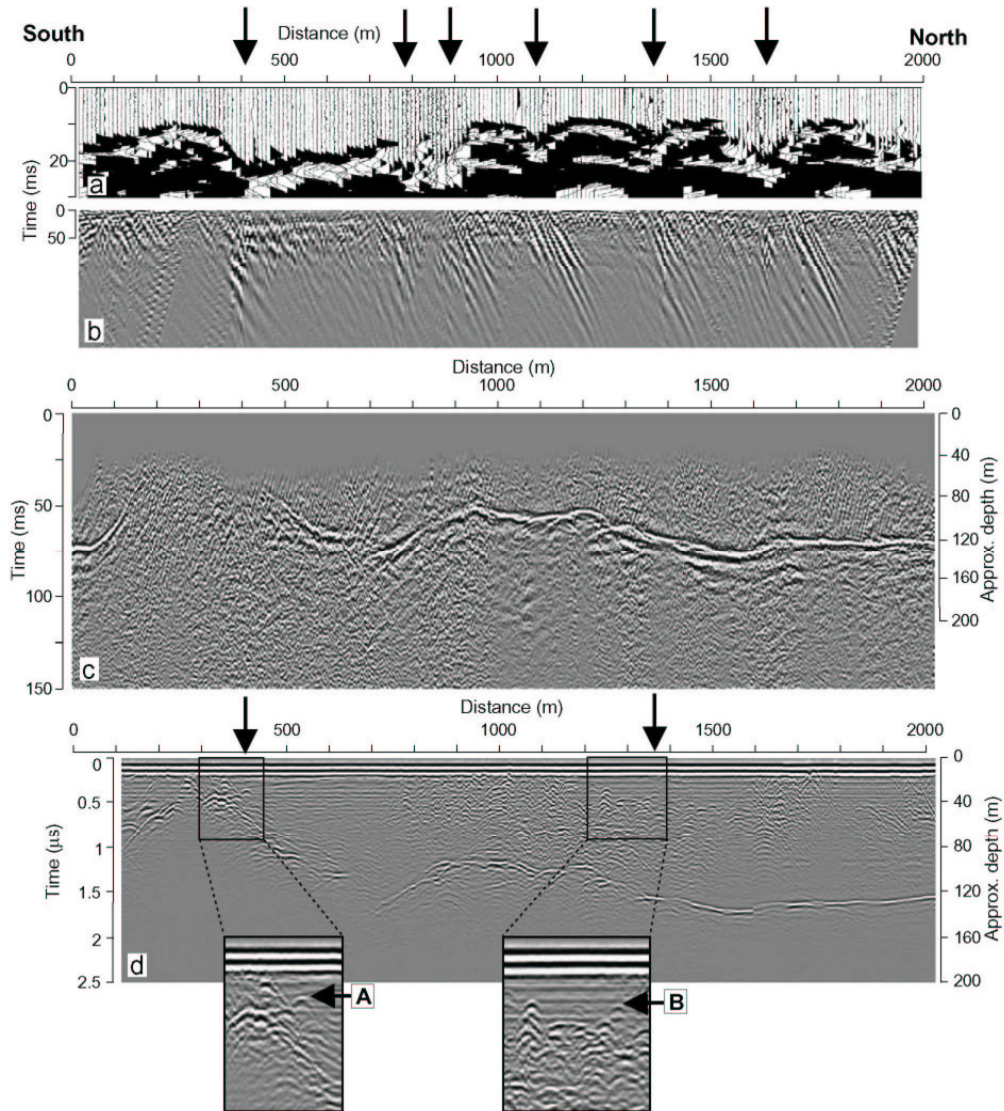


Figura 3. Resultados del perfil L3. (a) sección common-offset para 30 m (b) sección common-receiver. Las flechas marcan la posición de las grietas a lo largo del perfil, detectadas por retrasos en las primeras llegadas (a) y por energía back-scattered en (b). (c) Sección sísmica y (d) sección GPR.

#### d) Condiciones subglaciares.

El cálculo de la potencia de reflexión del lecho del glaciar (BRP) a partir de datos GPR ha permitido inferir la presencia de agua en esta zona del glaciar. Esta información se ha complementado con la obtención de la impedancia acústica utilizando la primera y la múltiple reflexión causada en el contacto hielo-lecho que delimita la naturaleza de los sedimentos presentes bajo el hielo.

**Conclusiones**

Este estudio ha puesto de manifiesto el beneficio de aplicar dos métodos geofísicos para el estudio de un glaciar templado. Por un lado, es posible reducir los límites de variación de una propiedad glaciológica (e.g. contenido en agua). Por otro, la interpretación combinada de ambos conjuntos de datos permite diferenciar el origen de discontinuidades en el hielo o establecer propiedades en el lecho del glaciar.