

El método de la entalpía para la termodinámica de modelos de hielo poco profundo.

The enthalpy method for the thermodynamics of shallow ice approximation models.

Calvo, N.⁽¹⁾, Durany, J.⁽²⁾ and Vázquez, C.⁽³⁾

^(1,2)Dpto. Matemática Aplicada II. E.I. Telecomunicación. Universidad de Vigo. Campus Marcosende. 36310-Vigo.

⁽³⁾ Dpto. de Matemáticas. Facultad de Informática. Universidad de A Coruña. Campus Elviña. 15071- A Coruña.

durany@dma.uvigo.es

RESUMEN

En este trabajo se propone y resuelve numéricamente una formulación en entalpía para el problema que rige el comportamiento térmico de los casquetes polares politérmicos. La modelización tiene en cuenta condiciones de contorno basales no lineales en las regiones fría y temperada, incluyendo los efectos de deslizamiento en el modelo global de hielo poco profundo (SIA). Una de las principales novedades de este trabajo radica en la introducción del operador de Heaviside para tener en cuenta la discontinuidad de la función de difusión térmica en la frontera libre de transición entre la zona fría y la zona temperada. Además, se propone un método de dualidad para operadores maximales monótonos para resolver simultáneamente el término difusivo no lineal y la frontera libre. Finalmente, se presentan algunos ejemplos numéricos con datos de la Antártida y se comparan los resultados con los obtenidos en trabajos previos a partir de modelos en temperatura.

ABSTRACT

In this paper we propose and numerically solve an original enthalpy formulation for the problem governing the thermal behaviour of polythermal ice sheets. Nonlinear basal boundary conditions in both cold and temperate regions are also considered, thus including the sliding effects in the frame of a fully coupled shallow ice approximation (SIA) model. One of the main novelties of this work comes from the introduction of the Heaviside multivalued operator to take into account the discontinuity of the thermal diffusion function at the cold-temperate transition surface (CTS) free boundary. Moreover, we propose a duality method for maximal monotone operators to solve simultaneously the nonlinear diffusive term and the free boundary. Some numerical simulation examples with real data from Antarctica are presented and illustrate the small differences between the computed results from the enthalpy formulation here proposed and the alternative formulation in terms of the temperature.

Estudios de la cobertura nival en entornos criosféricos deglaciados (Antártida Marítima) mediante técnicas activas de teledetección por microondas

Snow cover studies in cryospheric deglaciaded environments (Maritime Antarctica) by active microwave remote sensing approaches

Javier JIMENEZ^(1,2), Carla MORA⁽²⁾, Miguel Ramos^(1,2), Antonio MOLINA⁽³⁾, Miguel Ángel DE PABLO⁽³⁾, y Gonçalo VIEIRA⁽²⁾,

(1) Departamento de Física y Matemáticas, Universidad de Alcalá, Madrid, España.

(2) CEG/IGOT. Universidade de Lisboa, Portugal.

(3) Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, Madrid, España.

jjavierjimenez2@gmail.com

RESUMEN

La Antártida Marítima se encuentra en un contexto de cambio climático global que impacta en la evolución futura del permafrost, siendo el efecto aislante de la cobertura nival sobre los flujos térmicos entre aire y suelo uno de los factores más determinantes en la misma. Las enormes dificultades logísticas que supone el estudio in-situ de las propiedades y la evolución de la cobertura nival se están viendo compensadas por las crecientes facilidades de análisis mediante teledetección, muy especialmente mediante el uso de imágenes Radar, dada la independencia de esta técnica de las condiciones climáticas (nubes) y de iluminación (noche/día).

El equipo de investigación conjunto de la Universidad de Lisboa (Portugal) y de la Universidad de Alcalá (España) viene desarrollando un análisis de imágenes Radar en banda C (Envisat ASAR y Sentinel 1) y en banda X (TerraSAR X) para determinar el estado de la cobertura de nieve en entornos criosféricos libres de hielo superficial de las Islas Shetland del Sur; centrándose en los momentos críticos de comienzo de la innivación y de fusión nival que determinan el comportamiento termodinámico aire/suelo. La información obtenida mediante teledetección se completa con campañas de campo (Diciembre-Febrero) en las que se realizan catas de nieve sobre los principales parámetros de la capa nival (contenido equivalente en agua, densidad, tamaño de grano, estratigrafía y otros), además del espesor de la capa nival (a través de termonivómetros) y de su extensión (mediante registro fotográfico). Estos datos son utilizados para la validación (verdad terreno) del backscattering de las imágenes Radar.

ABSTRACT

Maritime Antarctic is a key area on the climate change research defining the future fate of the permafrost. Insulating effects of snow cover over the heat fluxes between air and soil are decisive in this sense. Remarkable logistical difficulties for field data collection are nowadays offset by the increased quality offered by remote sensing, especially in the microwave domain, thanks to the independence of this technique on weather (clouds) and light conditions (night/day).

The joint research team of the University of Lisbon (Portugal) and of University of Alcalá (Spain) is conducting Radar imaging analysis in both C-band (EnviSAT ASAR and Sentinel-1) and X-band (TerraSAR X) aiming at determining the snow cover in the ice-free environments of the South Shetland Islands. This research is focused at the more critical moments of the start of snowfall (snow onset) and snowmelt periods (snow offset), due to their role on the thermodynamic balance air/soil. Remote sensing information is complemented with data collected during summer field campaigns (December-February) from snow pits (snow water equivalent, density, grain size, stratigraphy and others), as well as with monitoring data on snow depth (e.g. derived from above-ground temperatures) and snow cover (e.g. time-lapse photography). All these data are used for validation (ground truthing) of the backscattering values from Radar imagery.

Variación local del régimen termo-mecánico de la capa activa y su correspondencia regional. Islas Livingston y Decepción (Shetland del Sur. Antártida).

Regional mean annual soil surface temperatures and local thermo-mechanical dynamics of the active layer (Livingston and Deception Islands. Antarctica).

M. Ramos⁽¹⁾; M. A de Pablo⁽²⁾; JJ. Jiménez⁽¹⁾; A. Molina⁽²⁾; G. Vieira⁽³⁾; G Goyanes⁽⁴⁾; A. Ferreira⁽³⁾

⁽¹⁾ Depto. Física y Matemáticas. Universidad de Alcalá.

⁽²⁾ Unidad de Geología. Dpto. de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá.

⁽³⁾ Centro de Estudios Geográficos - Instituto de Geografía e Ordenamiento do Território, Universidad de Lisboa, Portugal.

⁽⁴⁾ Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber” (UBA-CONICET). Universidad de Buenos Aires, Pabellón II, Ciudad Universitaria, Nuñez.

miguel.ramos@uah.es

RESUMEN

El proyecto “METeorological REference Antarctic Data for Environmental Research (MET-READER)” promovido por el SCAR (The scientific Committee on Antarctic Research) y analizado por el “Goddard Institute for Space Studies GISS surface temperature analysis”, permite obtener datos medios mensuales de la temperatura media anual de la superficie del suelo (MAST) en la zona oeste de la península antártica. El análisis de la evolución de estas temperaturas nos muestra una gran dispersión de valores con una tendencia climática al incremento de temperaturas de la superficie del suelo en los últimos 60 años. Sin embargo, un análisis de periodos más breves de estas series de datos (MAST) nos arroja secuencias en las que la tendencia puede ser opuesta. Uno de los problemas que más nos interesan en el estudio del régimen térmico del permafrost es el efecto del intercambio de energía entre la superficie del suelo y la capa límite atmosférica cuya onda térmica se propagará a través de la capa activa. En este trabajo se comparan algunos datos regionales y estacionales de la temperatura de la superficie del suelo (MAST) de larga escala temporal con la evolución térmica (índices de congelación, If y descongelación, It) y la evolución del espesor de la capa activa (ALT) en varios emplazamientos situados en las Islas Livingston y Decepción.

ABSTRACT

The METeorological REference Antarctic Data for Environmental Research (MET-READER – SCAR, The Scientific Committee on Antarctic Research) project implemented by the Goddard Institute for Space Studies, by the GISS surface temperature analysis tool, provide Mean Annual Soil surface Temperatures (MAST) of the Western Antarctic Peninsula. Our regional analysis show a dispersion in the MAST values, resulting in a warming trend in the last 60 years. However, short time-series show periods in which the tendencies can be opposites. One of the more interesting issues in the study of the active layer thermal evolution is the effect of the soil and air energy balance and the ground propagation of the thermal wave. Some of the main parameters on this research are air temperature and snow depth during the winter that affect directly to the soil surface temperature. In this work, we present long-term regional and seasonal Mean Annual Soil surface Temperatures (MAST) data in comparison with the active layer thickness (ALT) and thermal regimes recorded in the experimental sites located in Livingston and Deception Islands.

Evolución de la cubierta de nieve y su efecto en el estado térmico del permafrost y la capa activa en las islas Livingston y Decepción, Antártida: el proyecto PERMASNOW.

Snow cover evolution and its effect on the thermal state of permafrost and active layer at Livingston and Deception islands, Antarctica: The PERMASNOW project.

M.A. de Pablo¹, M. Ramos², A. Molina¹, G. Vieira³, M.A. Hidalgo², M. Prieto⁴, J.J. Jiménez², S. Fernández⁵, C. Recondo⁶, J.F. Calleja⁷, J.J. Peon⁶, C. Mora³, K. Laska⁸, Z. Engel⁹, and F. Hrbáček⁸

⁽¹⁾ Dept of Geology, Geography and Environment. University of Alcalá. Madrid, Spain.

⁽²⁾ Dept of Physics and Mathematics. University of Alcalá. Madrid, Spain.

⁽³⁾ Center of Geographic Studies/IGOT. Universidade de Lisboa. Lisbon, Portugal.

⁽⁴⁾ Dept of Automatics. University of Alcalá. Madrid. Spain.

⁽⁵⁾ Dept of Geology. University of Oviedo. Oviedo, Spain.

⁽⁶⁾ Dept of Mining Exploitation and Prospecting. University of Oviedo. Oviedo, Spain.

⁽⁷⁾ Dept of Physics. University of Oviedo. Oviedo, Spain.

⁽⁸⁾ Dept of Geography. Masaryk University. Brno, Czech Republic.

⁽⁹⁾ Dept of Physical Geography and Geoecology. Charles University. Prague, Czech Republic.

miguelangel.depablo@uah.es

RESUMEN

El estudio del comportamiento térmico del permafrost y la capa activa en las islas Shetland del Sur, en la zona oeste de la Península Antártica, ha sido nuestro objeto de estudio desde 1991, y especialmente desde el año 2006 con la incorporación de nuestras estaciones de monitorización en las redes internacionales CALM-S y GTN-P de la Asociación Internacional del Permafrost. En este periodo la cubierta nival no ha variado en su espesor aproximado de forma relevante, pero sí hemos podido observar un incremento en su duración en todos los emplazamientos de estudio desde 2010. Aunque la fecha de inicio de las nevadas no se ha modificado, sí que se ha retrasado el momento de su desaparición. Dado el importante efecto que la nieve puede tener en el comportamiento térmico de los suelos, este equipo ha iniciado en 2015 un nuevo proyecto de investigación (PERMASNOW) centrado en el estudio detallado de la cubierta de nieve, incluyendo la medida de los siguientes parámetros: espesor, duración de la capa nival, densidad, equivalente en agua y distribución espacial. Para ello se usarán múltiples enfoques, incluyendo el uso de nueva instrumentación especialmente dedicada al estudio de la nieve, el análisis de fotografías para estudiar la evolución de la distribución de la nieve, y el análisis de imágenes de satélites en diferentes bandas, tanto en el rango óptico como radar. También se realizará la comparación de nuestros datos con los de la isla James

Ross, en el lado Este de la Península Antártica, donde la cubierta de nieve es menos importante y está permaneciendo estable en cuanto a espesor y duración.

ABSTRACT

The study of the thermal behaviour of permafrost and active layer at the South Shetland Islands, on the western side of the Antarctic Peninsula (Antarctica) has been our research topic since 1991, and mainly since 2006 when we established different active layer thickness and ground thermal monitoring sites of the Circumpolar Active Layer Monitoring-South (CALM-S) and Ground Temperature Network-Permafrost (GTN-P) international networks of the International Permafrost Association. Along this period, the snow cover thickness did not change at those sites, but since 2010, we observed an elongation on the snow cover duration, with similar snow onset, but a delay on the snow offset. Due to the important effects that the snow cover could have on the ground thermal behavior, we start now in late 2015 a new research project (PERMASNOW) focused on the accurate monitoring of the snow cover (duration, density, snow water equivalent and distribution), from very different aspects, including new instrumentation, pictures analysis and remote sensing on optical and radar bands. This interdisciplinary and international research team, will compare the snow cover and ground thermal behavior with other monitoring sites in the Eastern Antarctic Peninsula where the snow cover is minimum and remains about constant in thickness and duration.

Aportación de la correlación cruzada de las ondas sísmicas y de infrasonido generadas por aludes de nieve al conocimiento de su evolución temporal y características.

Contribution of the cross- correlation of seismic and infrasound waves generated by snow avalanches to the knowledge of their temporal evolution and characteristics.

Suriñach, E.⁽¹⁾, Pérez- Guillén⁽¹⁾, C., Tapia, M.^(1,2), Khazaradze, G.⁽¹⁾ and Roig, P.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Grup d'Allaus, RISK NAT, Facultat de Geologia, C/Martí i Franquès s/n. Universitat de Barcelona (UB), Barcelona 08028, Spain

⁽²⁾ Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF-IEC), Barcelona 08001, Spain

emma.surinach@ub.edu

RESUMEN/RESUMO

Los aludes de nieve son una fuente de ondas que se transmiten a través del suelo y el aire. Durante las temporadas de invierno 2008 -2016, en el campo experimental de Vallée de la Sionne (VDSL, Suiza), fue adquirida una base de datos de aludes con una instrumentación precisa. Estos aludes, de diverso tipo y tamaño, fueron tanto de origen natural como provocados artificialmente. Las distancias involucradas son de 0,5 -3 kilómetros. Las señales sísmicas fueron adquiridas con tres sismómetros espaciados 600 m de distancia a lo largo de la trayectoria del alud. Un sensor de infrasonido (0,1 Hz) y un sismómetro (3-componentes, 1 Hz) fueron colocados juntos en la pendiente opuesta a la trayectoria con una base de tiempo común. Los datos obtenidos nos permiten comparar las diferentes señales generadas. Se detectan diferencias en el contenido en frecuencia y la forma de las señales en función del tipo y tamaño de alud. Se observa una clara evolución de las señales sísmicas registradas a lo largo de su trayectoria. La correlación cruzada de las señales sísmicas y de infrasonido generadas por los aludes nos permite determinar características diferentes para los aludes de nieve polvo, nieve húmeda y aludes de transición con respecto a sus campos de onda. El análisis conjunto del infrasonido y las ondas sísmicas nos permite obtener información valiosa sobre las partes internas del alud como fuente de cada uno de los campos de onda. Estos resultados aportan información sobre la dinámica de los aludes, repercutiendo en la selección de un sistema de detección de aludes apropiado.

ABSTRACT

Snow avalanches are a source of waves that are transmitted through the ground and the air. These wave fields are detected by seismic and infrasound sensors. During the winter seasons 2008 -2016, a good quality database of avalanches was acquired at Vallée de la Sionne (VDSL, Switzerland) test site with an accurate instrumentation. These avalanches were both natural and artificially triggered and were of varying types and sizes. Distances involved were 0.5 -3 km. Seismic signals

were acquired using three seismometers (3-components, 1Hz) spaced 600 m apart along the avalanche track. One infrasound sensor (0.1Hz) and one seismometer (3-components, 1Hz) were placed one next to the other with a common base of time on the slope opposite the path. The data base obtained enables us to compare the different signals generated. Differences in the frequency content and shape of the signals depending on the type and size of the avalanche are detected. A clear evolution of the recorded seismic signals along the path is observed. The cross correlation of the infrasound and seismic signals generated by the avalanches allows us to determine different characteristics for powder, transitional and wet avalanches concerning their wave fields. The joint analysis of infrasound and seismic waves enables us to obtain valuable information about the internal parts of the avalanche as source of each wave field. These results have repercussions on avalanche dynamics and on the selection of the appropriate avalanche detection system.

Estudio de las avalanchas de nieve a partir de la señal sísmica y de herramientas de modelización numérica
Snow avalanches studies using seismic signal and numerical modelling tools

Roig, P. ⁽¹⁾, **Tapia, M.** ^(1,2), **Pérez- Guillén, C.** ⁽¹⁾, **Suriñach, E.** ⁽¹⁾,

⁽¹⁾Grup d'Allaus, RISK NAT, Facultat de Geologia, C/Martí i Franquès s/n. Universitat de Barcelona (UB), Barcelona 08028, Spain (emma.surinach@ub.edu, mguinau@ub.edu).

⁽²⁾Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF-IEC), C. Del Carme, 47. Barcelona 08001, Spain (mtapia@iec.cat)

p.roig@ub.edu

RESUMEN

El grupo de avalanchas de la Universidad de Barcelona (RISK NAT – UB) gestiona una instalación de sensores sísmicos y de infrasonido en el lugar experimental de Vallée de la Sionne, Suiza (VDLS), en colaboración con el *WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF*. A partir de la señal sísmica el grupo consigue determinar velocidades, energía disipada, distinguir el tipo de flujo y determinar el tamaño de las avalanchas, siendo la señal sísmica un registro de la evolución temporal de las capas internas del flujo. La señal de infrasonido permite complementar la observación del fenómeno, siendo más sensible a las capas externas y menos densas del flujo. El programa RAMMS, software desarrollado por el SLF, modela en 3D la parte densa de las avalanchas de nieve, basándose en el modelo hidráulico de Voellmy-Slam. El objetivo de este trabajo es incorporar la señal sísmica como técnica de validación de los resultados de la modelización de las avalanchas realizadas en RAMMS. Se estudian diferentes aspectos de la señal sísmica generada por las avalanchas para obtener medidas experimentales contrastables con las modelizaciones hechas en RAMMS y así comprobar su validez. A partir de la relación temporal que se observa entre los datos obtenidos de la modelización y la señal registrada, y con la ayuda de los datos de radar, se consiguen validar o desestimar los modelos generados para las avalanchas de referencia.

ABSTRACT

The avalanches research group of the University of Barcelona (RISK NAT – UB) manages a seismic and infrasound monitoring system at the Vallée de la Sionne test site (VDLS; Switzerland) in collaboration with the WSL Swiss Institute for Snow and Avalanche Research SLF. The analysis of the seismic data provides information such as velocities and dissipated energies; which allows characterizing the flow type and

Madrid, 2016

knowing the avalanche size. The seismic signal is generated by the inner parts of the flow, whereas the outer and lower density layers of the flow generate the infrasound signal. Hence, both data are complementary. RAMMS is a 3D mass movement modelling software developed by the SLF. The dense part of the snow avalanches is modelled by the RAMMS using a Voellmy-Salm approach. The aim of this study is to incorporate the seismic data as a technique to validate the results of synthetic models generated by RAMMS. To this end, different seismic signals generated by the avalanches were analysed for obtaining experimental records to compare with the modelled flow. From the temporal relation between the modelled flow data and the seismic data, and thanks to radar data, we achieve to validate or dismiss the generated model for the reference avalanches.

TIRS: El próximo sensor térmico y de radiación neta en Marte ***TIRS: The upcoming net radiometer and thermal sensor on Mars***

Antonio Molina Jurado ⁽¹⁾, Eduardo Sebastián Martínez ⁽¹⁾, Joel Pérez Izquierdo ⁽¹⁾, Andrés Bravo Cuesta ⁽¹⁾, Ricardo Ferrándiz Guibelalde ⁽¹⁾, Miguel Ramos Sainz ⁽²⁾, Miguel Ángel de Pablo Hernández ⁽²⁾, Germán Martínez Martínez ⁽³⁾ and José Antonio Rodríguez Manfredi ⁽¹⁾.

⁽¹⁾INTA, Centro de Astrobiología. Ctra. Ajalvir Km 4, Torrejón de Ardoz, Madrid.

⁽²⁾Universidad de Alcalá. Ctra. A-II Km 33,6. Alcalá de Henares, Madrid.

⁽³⁾University of Michigan, 2455 Hayward St. Ann Arbor, MI USA.

amolina@cab.inta-csic.es

RESUMEN

El próximo vehículo robótico que la agencia espacial NASA planea enviar a Marte en 2020 contará con un conjunto de sensores que proveerán medidas de temperatura, velocidad y dirección del viento, presión, humedad relativa y tamaño y forma del polvo en suspensión, denominado Mars Environmental Dynamics Analyzer (MEDA). Uno de estos sensores, que recibe el nombre de Thermal Infrared Sensor (TIRS), medirá específicamente la radiación térmica neta cerca de la superficie. Actualmente en estado de desarrollo, TIRS se sirve de la experiencia adquirida con el Ground Thermal Sensor (GTS), que a día de hoy, por más de 1.300 soles (días marcianos), se encuentra a bordo del vehículo de MSL "Curiosity".

TIRS consta de cinco termopilas que miden la radiación en el VNIR con bandas de longitud de onda y orientaciones diferentes. Las termopilas se encuentran orientadas hacia arriba y hacia abajo para permitir el cálculo de las temperaturas de la atmósfera y el suelo, así como el balance energético entre la radiación incidente infrarroja de onda larga y la radiación de onda corta reflejada y de onda larga emitida en frente del vehículo marciano. Estos novedosos datos se usarán para la obtención de un conocimiento sin precedentes de las propiedades termofísicas de los materiales y ambientes cercanos a la superficie del lugar de amartizaje (aún por determinar) y el subsiguiente trayecto del vehículo.

ABSTRACT

NASA's Mars 2020 rover will carry a suite of environmental sensors named Mars Environmental Dynamics Analyzer (MEDA) to measure air and ground temperature, wind speed and direction, atmospheric pressure, relative humidity and dust size and shape. Among these sensors, the Thermal Infrared Sensor (TIRS) will measure the net infrared thermal radiation at the surface. Currently under development, TIRS follows the experience acquired through the development of the Ground Thermal Sensor (GTS) currently onboard the MSL Curiosity rover on Mars and that continues operations after for more than 1,300 sols (martian days).

TIRS is comprised of a set of five thermopiles to measure VNIR radiation in different bandwidths and orientations. The thermopiles are arranged upward- and ground-looking to enable the calculation of atmospheric and ground temperatures, as well as the net energy balance at the surface from downward and upward longwave IR and shortwave radiation. Novel data provided by TIRS will be used to significantly improve our knowledge of the thermophysics of the materials and the near-surface environment, on the yet to be determined landing site and following rover traverse.

El volumen de hielo de los glaciares de Svalbard determinado a partir de datos de georradar

Ice volume of Svalbard glaciers determined from ground-penetrating radar data

Francisco J. Navarro⁽¹⁾, Javier Lapazaran⁽¹⁾, Alba Martín-Español^(2,3) y Jaime Otero⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Matemática Aplicada a las TICs, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI de Telecomunicación, Av. Compluense, 30, 28040 Madrid

⁽²⁾ School of Geographical Sciences, Bristol University, United Kingdom

francisco.navarro@upm.es

RESUMEN

Según ha puesto de manifiesto el informe del IPCC de 2013, los glaciares sobre la Tierra, a pesar de estimarse que contienen menos del 1% del volumen de hielo almacenado por los grandes mantos de hielo de la Antártida y Groenlandia, tienen actualmente una contribución al aumento del nivel del mar mayor que estos últimos (27% vs. 21%). Durante cuánto tiempo continúe esta tendencia depende del volumen total de hielo almacenado por los glaciares, lo que motiva el interés de su cuantificación. Durante el periodo 1999-2014, el grupo de Simulación Numérica en Ciencias e Ingeniería de la Universidad Politécnica de Madrid llevó a cabo numerosas campañas de georradar en Svalbard orientadas al estudio del espesor y las propiedades físicas del hielo de sus glaciares. Las regiones cubiertas abarcaron Nordenskiöld Land, Wedel Jarlsberg Land, Sabine Land y Nordaustlandet. Se presenta en este artículo una revisión de estos trabajos, centrada en los aspectos relativos al cálculo del volumen de hielo de glaciares individuales y su extrapolación al conjunto de glaciares de Svalbard, para el que los autores estiman un volumen de hielo de $6700 \pm 835 \text{ km}^3$, o $17 \pm 2 \text{ mm}$ en equivalente de nivel del mar.

ABSTRACT

As the IPCC 2013 report has pointed out, the glaciers on Earth, in spite of being assumed to contain less than 1% of the ice volume stored by the large ice sheets of Antarctica and Greenland, have currently a larger contribution to sea-level rise (27% vs. 21%). For how long this trend will continue in the future depends on the total volume of ice stored by glaciers, which motivates the interest in quantifying it. During the period 1999-2014, the Group of Numerical Simulation in Sciences and Engineering of Universidad Politécnica de Madrid carried out many ground-penetrating radar campaigns in Svalbard, aimed to the study of glacier ice-thickness and the physical properties of glacier ice. The regions covered were Nordenskiöld Land, Wedel Jarlsberg Land, Sabine Land and Nordaustlandet. We here present a review of these works, focused on the aspects related to the estimate of the volume of individual glaciers and its extrapolation to the entire set of Svalbard glaciers, for which the authors estimate a total volume of $6700 \pm 835 \text{ km}^3$, o $17 \pm 2 \text{ mm}$ in sea-level equivalent.